



LE MAGAZINE

DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

BOUM ! **PYROTECHNIE** **ET MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES**



**P05. Préface du
DÉLÉGUÉ GÉNÉRAL
POUR L'ARMEMENT**
Joël Barre

**P32. MENACE LIÉE AUX
EXPLOSIFS**
par Sylvain Barrot et Augustin Baulig

N° 126 - JUIN 2022



bertin
technologies

WWW.BERTIN-INSTRUMENTS.FR

ÉQUIPEMENTS
DE SURVEILLANCE
OPTRONIQUES



SOLUTIONS DE DÉTECTION
DES MENACES NRBC



SYSTÈMES DE CAPTEURS
DÉPOSÉS

MOT DU PRÉSIDENT

L'Ukraine et les Ingénieurs de l'Armement

Le récent conflit ukrainien a fait ressortir des méandres de l'histoire une situation que nos concitoyens et, avouons-le, même nous, ingénieurs de l'armement, avions crue résolue depuis longtemps : un conflit de haute intensité sur le sol européen. Certes, le dernier livre blanc a adressé un premier signal d'alarme sur la résurgence de ce risque, relayé depuis plusieurs années par les interventions de nos CEMA qui soulignaient la nécessité de s'y préparer. La loi de programmation militaire 2019-2025, dont on peut souligner jusque-là son respect par les autorités politiques, constituait un premier élément de prise de conscience. Cependant, comme nous le savons, les croissances budgétaires les plus importantes sont encore devant nous. De plus, le récent rapport d'information parlementaire Miralles-Thiériot vient de souligner que cet effort n'était pas suffisant et qu'il fallait le poursuivre en l'amplifiant jusqu'en 2030 au moins, précédant en cela les récentes annonces formulées récemment par de nombreux partenaires européens (Allemagne, Italie, Espagne, Scandinavie ...).

La nouvelle équipe gouvernementale et le parlement qui sortira des urnes en juin prochain auront donc la lourde tâche de définir et d'adopter un nouveau livre blanc et une nouvelle LPM afin de répondre au mieux à cette nouvelle donne stratégique. Tous les acteurs de la défense seront donc conduits à soutenir nos autorités politiques dans cette difficile mission : tout d'abord les armées, avec le support de la DGA, dans la définition des futures menaces à prendre en compte et des capacités opérationnelles nécessaires à leur traitement, puis la DGA, avec le support de l'industrie, dans la fourniture de ces capacités opérationnelles par le développement et la réalisation des systèmes d'armes les plus adaptés.

C'est donc à ce titre que nous, ingénieurs de l'armement de la DGA et du Ministère des Armées mais également de l'Industrie, devons remplir au mieux notre mission au profit de nos forces armées et, plus largement de la nation. La responsabilité première incombe naturellement à la DGA et à ses ingénieurs de l'armement, en traduisant les besoins opérationnels exprimés en un document unique de besoin et en assurant avec efficacité leur responsabilité de maîtrise d'ouvrage. L'industrie de défense, où de nombreux ingénieurs de l'armement œuvrent également avec engagement, joue également un rôle essentiel : tout d'abord, en éclairant la DGA sur l'évolution des

capacités technologiques et industrielles pour l'optimisation des spécifications de besoin, puis bien entendu dans le développement et la réalisation effective des systèmes d'armes.



On voit donc ici le rôle éminent que joue le Corps de l'Armement au profit de l'État et de la Nation par ses membres présents, tant au sein de la DGA que de l'industrie. Même si, bien entendu, nous devons faire face quelquefois à des difficultés de réalisation, le système de défense français a démontré son efficacité depuis de nombreuses années par la performance de ses forces armées et par la qualité de ses matériels, largement reconnue en France et auprès de nos clients export.

Cette efficacité est le résultat d'une organisation étatique rodée depuis plusieurs décennies et d'une politique industrielle efficiente reposant notamment sur des relations État-Industrie gagnant-gagnant et globalement équilibrées. Toujours fragile, cet équilibre est indispensable à la réussite de ce modèle. Là encore, les ingénieurs de l'armement ont un rôle essentiel à jouer : ainsi, les IA de la DGA doivent comprendre au mieux les problématiques industrielles de leurs fournisseurs. A ce titre, l'affectation temporaire en début de carrière des IA dans l'industrie est une excellente disposition qu'il convient de maintenir, voire de renforcer. De même, les IA de l'industrie doivent faire comprendre à leurs collègues les contraintes de toute nature, notamment administratives, qui s'imposent à la DGA.

Enfin, comme vous le savez, à l'issue de la remise du rapport Berger – Guillou – Lavenir, l'important projet de réforme des corps techniques de l'État est en cours d'analyse par les services du Premier Ministre. Nous traitons ce sujet dans un article spécifique de ce magazine. **Je formule ici simplement le vœu que les décisions qui seront prises ne conduisent pas à un affaiblissement de cet écosystème défense et de son modèle État-Industrie associé mais au contraire le renforce par une amélioration de l'attractivité du corps de l'armement et une meilleure exploitation de ses membres au service de l'État.** C'est seulement à cette condition que cette réforme aura atteint son objectif ! 📢

Olivier Martin, IGA
Président de la CAIA



SOMMAIRE

MOT DU PRÉSIDENT 1

ÉDITO

par Jérôme de Dinechin 3

PRÉFACE

Joël Barre 5

INTRODUCTION DU DOSSIER

par Pierre Bénard 6

LA SÉCURITÉ PYROTECHNIQUE : ENTRE CONSERVATISME ET SIMPLIFICATION, VISER L'EFFICACITÉ

Interview de Françoise Lévêque 10

QUAND VOTRE EXPLO FAIT BOUM !

par Claude Noisette Narboni 12

A LA DÉCOUVERTE DU SIMU

par Grégory Bonnemains 14

RENCONTRE AVEC ASTRID LE GOFF, PYROTECHNICIENNE 2011

Interview d' Astrid Le Goff 16

TÉMOIGNAGE : LE JOUR OÙ...

par Frédéric Tatout 18

IL ÉTAIT UNE FOIS LES PROPERGOLS SOLIDES

par Daniel Reydellet 20

POLE TECHNIQUE MAN, DES RESPONSABILITÉS MULTIPLES ET EXIGEANTES

Interview de Pascal Marchandin 24

DÉTONIQUE ET EFFETS DES CHARGES CONVENTIONNELLES AU CEA-GRAMAT

par Julien Grunerwald et Patrick Aubourg 26

LES ESSAIS PYROTECHNIQUES À DGA ESSAIS DE MISSILES

par Nicolas Honorat 28

CRÉER LES PYROTECHNICIENS DE DEMAIN

par Bruno Gruselle 31

MENACE LIÉE AUX EXPLOSIFS

par Augustin Baulg et Sylvain Barrot 32

DÉMINEURS À PARIS : TOUJOURS SUR LE PONT !

Interview de Christophe Pezron 34

TKX-50, VI-RDX, ET VI-HMX

par David Toulat 37

FLUX CONTINU ET RAM

par Peggy Lamy 39

MISSILES TACTIQUES : LA PROPULSION SOLIDE INNOVE

par Christophe Jacq et Baptiste Barre 40

LES MATÉRIEAUX RÉACTIFS POUR LES CHARGES MILITAIRES

par Frédéric Paintendre 42

OPTIMISER LES PERFORMANCES PROPULSIVES

par Laurent Tixier et Etienne Galan 44

IMPRIMER DES EXPLOSIFS

par Romain Leglise, Damien Chaveroux, Clara Debiesse, Julien Loyer, Sébastien Cuvelier 46

INNOVER SOUS CONTRAINTE

par Edouard Pinot 48

NOUVELLES MUNITIONS

par François Chiarelli 50

BLINDAGE EXPLOSIF CONTRE CHARGE CREUSE

par Jean-François Legendre 52

INITIATEURS OPTO-PYROTECHNIQUES

par Christian de Villemagne 54

ZENEO®

par Patrick Alexandre 56

DE LA « POUDRERIE » À L'INDUSTRIE 4.0

par Jean-Yves Kermarrec 58

LACROIX

par François Moulinier 60

LA PETITE PYROTECHNIE

par François Degryse 62

PYROTECHNIE MILITAIRE : LES ENFANTS DE SNPE

par Jacques Cardin 64

LA COMBUSTION POUR MA SÉCURITÉ

par Franck Lebaudy 66

LA DYNAMITE AU PLACARD !

par Emmanuel Martin 68

L'INNOVATION ARIANEGROUP AU SERVICE DE LA DESTRUCTION PROPRE DE PRODUITS PYROTECHNIQUES

par Albert Daprà et Guillaume Dupouy 70

LA DÉMILITARISATION

par Luc Regnier 73

LA DÉPOLLUTION PYROTECHNIQUE NE CONNAÎT PAS LA CRISE !

par Xavier Lebacqz 74

PYROTECHNIE FESTIVE

par David Proteau et Alain Jouanjus 76

LA SÉCURITÉ, ADN DU SFEPA

par Jean Frédéric Dartigue Peyrou 78

NOTRE SOUVERAINETÉ SPATIALE PASSE PAR DES TECHNOLOGIES DUALES

Interview de André-Hubert Roussel 82

ÉMERGENCE D'UN CHAMPION EUROPEEN DES MUNITIONS

par Vincent Ginabat 84

FUSÉES DE MUNITIONS SOUVERAINES

par Pierre Bauche et Pierre Andurand 86

SOUVERAINETÉ DES MATÉRIEAUX ÉNERGÉTIQUES

par Thierry Francou 90

LE MSAC AU SERVICE DE LA SÉCURITÉ DES MUNITIONS DEPUIS 1991

par Christelle Collet 92

UN NOUVEAU CONSEIL AU TRAVAIL !

par Olivier Martin 102

POINT SUR LA RÉFORME DES CORPS TECHNIQUES DE L'ÉTAT

..... 103

GALA DE L'ARMEMENT

par Frédérique Paganessi 106

CHANGEMENT DE QUART POUR LE WEBMASTER DE LA CAIA

par Jérôme de Dinechin 107

COTÉ SECTION CARRIÈRES

..... 108

OUVRIR NOTRE LEADERSHIP

par Jérôme de Dinechin 109

TALENTUEUSES :

PLONGÉE EN INTERMINISTÉRIEL

Interview d'Amandine Reix 111

TROIS QUESTIONS À PAULINE GALY 113

MON PÈRE, CE PYRO !

portrait de Robert Guedry par Olivier Guedry 114

DE LA POUDRERIE ROYALE DU BOUCHET AU CENTRE DE RECHERCHES D'ARIANE GROUP

par Michel Dill et Jean-François Guery 116

LU POUR VOUS 119

CAMARADES ÉCRIVAINS 121

LU AU JO 122

CARNET PROFESSIONNEL 123

NOMINATIONS DGA 124

LE MAGAZINE DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

CAIA 16 bis, avenue Prieur de la Côte d'Or,
CS 40300 - 94114 ARCUEIL
Cedex
Site : www.caia.net
E-mail : contact@caia.net
Numéro de dépôt légal : 2265-3066

DIRECTEUR DE PUBLICATION : Olivier MARTIN

RÉDACTEUR EN CHEF : Jérôme DE DINECHIN

RÉDACTEUR EN CHEF DÉLÉGUÉ : Pierre BÉNARD

COMITÉ DE RÉDACTION :
Bruno BELLIER, Amandine REIX, Yves DESNOËS, Flavien DUPUIS, Daniel JOUAN, Benoît DE LAITRE, Monique LEGRAND-LARROCHE, Louis LE PIVAIN, Olivier MARTIN, Dominique MONVOISIN, Denis PLANE, Vincent SOL, Frédéric TATOUT

CRÉDITS PHOTO :
Ariane Group, Nexter, MBDA, Michel Hans, Julien Batard, Titanobel, Palais des Festivals – Dervaux

ÉDITION ET RÉGIE PUBLICITAIRE :
FFE 15 rue des Sablons 75116 Paris
01 53 36 20 40 - www.ffe.fr

DIRECTEUR DE LA PUBLICITÉ : Patrick SARFATI

CHEF DE PUBLICITÉ :
Franck LEVI - 01 40 21 76 23
franck.levi@ffe.fr

Ingrid DUBOCQ - 01 40 09 68
47 ingrid.dubocq@ffe.fr

MAQUETTE :
Matthieu ROLLAT
matthieu.rollat@gmail.com

IMPRESSION :
ESPACE GRAFIC

N° ISSN-L 2265-3066

ÉDITO

Jérôme de Dinechin, *Rédacteur en Chef*



Que faire de sa flamme ?

Nous avons choisi de plonger dans la technique : celle des très fortes densités énergétiques, susceptibles d'être libérées en temps ultra-court.

Expression de la force par excellence, le « Boum » fascine et crée un sentiment de supériorité militaire, de toute puissance sur la nature et les êtres humains.

Alors que la poudre noire a dominé durant presque un millénaire, les chimistes du XIX^e ont créé des compositions de plus en plus performantes : la nitroglycérine, découverte italienne stabilisée par Alfred Nobel en 1860 sous forme de dynamite et de plastic, et la nitrocellulose, découverte suisse synthétisée par l'ingénieur des Poudres Paul Vieille – la fameuse poudre sans fumée – en 1884. Les ingénieurs les ont ensuite mises en œuvre partout : dans les mines, les armes, la propulsion, avec une certaine perfection. Ainsi, quand je vais chasser le sanglier, j'utilise une cartouche 8x57 JRS fonctionnant à la poudre nitrocellulosique à peine différente du calibre militaire « Mauser » de l'armée Allemande de la Première Guerre Mondiale...

L'histoire ne s'arrête pourtant pas là. La course aux matériaux énergétiques est passée par l'hexogène, l'octogène et des molécules dont les plus récentes datent de 2012, mais aussi les propergols solides et liquides qui ont permis autant les déchaînements militaires que l'aventure spatiale.

L'industrie associée à la pyrotechnie contribue à la souveraineté de notre pays, doit rester compétitive et innover tout en intégrant les contraintes particulières de sécurité et d'environnement. Les articles rassemblés en fournissent un panorama qui en montre la grande maturité et la haute qualité.

La puissance ou violence extérieure fait évidemment écho à la violence intérieure, celle qui est au cœur de toute personne. On peut en avoir la preuve en mesurant le succès des films dits d'action, ou celui des jeux vidéos les plus destructeurs, qui créent de véritables phénomènes d'addiction : dans *Counter Strike*, deux équipes s'affrontent pour perpétrer ou empêcher un acte terroriste, et on s'y assassine avec toutes sortes d'armes à feu. Dans GTA, littéralement « vol de voiture », on vit une action-aventure dans une ville fictive sur fond d'actes violents ou immoraux.

Cette violence intérieure, statistiquement et sémantiquement plutôt masculine, a besoin d'être reconnue en soi. Le terme est ambigu et on trouve dans les synonymes aussi bien ardeur, force, vigueur, que fureur, agression, rage... Elle est le moteur de nombre de nos actions. Michel-Ange ou le Caravage auraient-ils pu faire preuve d'une si grande créativité sans être pris d'une exaltation violente, d'une violence créatrice ?

Cette violence intérieure mérite d'être portée à la conscience et valorisée si l'on veut ensuite pouvoir la canaliser et la transformer en action constructive, comme l'illustre le conte suivant : le bandit Angulimal se présenta devant Bouddha en menaçant de le tuer. Il lui dit : « *Comme dernier vœu, j'aimerais que tu coupes cette branche* », et le bandit la trancha d'un seul coup d'épée en riant. Ce à quoi Bouddha répondit : « *maintenant, je te défie de la remettre et que la sève circule.* » Le guerrier répliqua : « *tu me demandes une chose impossible !* » Il lui dit : « *tu te crois tout puissant quand tu détruis, mais quand il faut construire, soigner, faire pousser, tu te montres impuissant !* »

C'est peut-être ce qui poussa Alfred Nobel à léguer son immense fortune à la fondation qui porte son nom et remet chaque année à des personnes illustres les cinq prix Nobel : de physiologie ou médecine, de physique, de chimie, de littérature et... de la paix. ☺



LE LEADER EUROPÉEN DES MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES



**EURENCO est un acteur clé du secteur de la Défense
au service de la Souveraineté de la France et de l'Europe.**

Notre mission c'est de concevoir, produire et suivre, pendant tout leur cycle de vie, des produits et des solutions à haute performance et sécurité dans le domaine des matériaux énergétiques pour la Défense et leurs dérivés pour applications civiles.

www.eurenco.com

PRÉFACE

Joël Barre, *délégué général pour l'armement*

La guerre en Ukraine nous rappelle la nécessité de posséder une artillerie performante dans les conflits de haute intensité. Ce numéro du Magazine des ingénieurs de l'armement consacré aux matériaux énergétiques et à la pyrotechnie met en valeur l'ensemble des acteurs, étatiques et industriels, qui concourent à l'excellence de la France dans ces domaines, que ce soit au travers de l'Exocet d'hier, du CAESAR d'aujourd'hui ou du MHT (Missile Haut de Traje) de demain.

Cette excellence s'appuie sur 3 piliers. Le premier pilier est évidemment l'ensemble de notre industrie de défense, des plus petites PME et ETI jusqu'aux grands maîtres d'œuvre. Cette base industrielle forte garantit notre souveraineté dans le domaine. Nous sommes donc très attentifs à sa santé financière et aux difficultés qu'elle peut rencontrer. D'ailleurs, la situation en Ukraine met en lumière la nécessité de sécuriser nos approvisionnements en matériaux critiques, composants et matières premières. Nous devons ainsi chercher à réduire notre dépendance à des fournitures étrangères et également gagner en agilité et réfléchir ensemble à la construction d'un outil industriel qui soit en mesure d'augmenter ses capacités de production si la situation l'exige. Plusieurs solutions existent, comme par exemple la constitution de stocks stratégiques sur les approvisionnements longs ou sur le chemin critique.

Le second pilier est notre capacité à anticiper les menaces de demain et à innover. Il s'agit de mieux identifier encore les enjeux capacitaires des conflits de haute intensité. La définition de ces enjeux nourrit le processus d'innovation porté par l'AID. L'hypervélocité représente à ce titre l'un des défis majeurs d'innovation auxquels nous devons répondre dans la prochaine décennie, et je sais pouvoir compter sur l'excellence technique de notre industrie de défense et son fort potentiel d'innovation. Je n'oublie pas cependant que ces innovations peuvent posséder un caractère dual, notamment dans le domaine spatial. Les synergies et réussites dans le domaine nucléaire sont également issues de cette dualité, qui doit d'ailleurs être encouragée partout où cela est possible afin de garantir la pérennité de notre BITD et donc, *in fine*, notre souveraineté.

Le troisième pilier c'est l'expertise technique et nos moyens d'essais de la DGA qui nous permettent de dé-



montrer le plus haut niveau technologique. Je prends pour preuve les cinq essais majeurs dans le domaine de la dissuasion qui ont été réalisés depuis 2017, portant à la fois sur notre composante nucléaire océanique et sur notre composante nucléaire aéroportée, qui se sont tous traduits par des succès, démontrant ainsi la crédibilité de notre force.

La souveraineté, nous devons également la construire au niveau européen. La Commission européenne, en liaison avec l'Agence européenne de défense (AED), a analysé, au regard de la crise en Ukraine, les déficits capacitaires existants au sein de l'Union européenne. Il est important que la France, Etat comme industrie, joue un rôle prépondérant dans les décisions qui suivront afin d'assurer l'indépendance de l'industrie européenne de défense et de permettre aux Etats de renforcer leurs capacités en privilégiant autant que possible les armements européens. Le Fonds européen de défense est évidemment une première étape décisive. Le projet d'intercepteur endo-atmosphérique TWISTER en est un exemple concret, mais ces efforts doivent être poursuivis, encouragés, concrétisés.

Ce magazine vous offre un aperçu des enjeux de la pyrotechnie des plus petits « boum » des munitions jusqu'aux grands « boum » de nos missiles et lanceurs. ☺

BOUM !

PYROTECHNIE & MATERIAUX ENERGETIQUES

par Pierre Bénard, ICA

Paris 14 Juillet, par RUGGIERI. Crédit photo : Julien Batard

Le pouvoir du feu appartient à celui qui sait le maîtriser.

Chacun le sait : si la flamme éclaire et réchauffe, elle est aussi dangereuse ; et quand il se transforme en incendie, un feu non géré peut devenir dévastateur.

Culture de sécurité

La pyrotechnie, par étymologie, vise à contrôler le feu mais dans des échelles de temps bien plus faibles : la réaction mise en œuvre, de type combustion, y est quasi instantanée, brutale. En cas d'emballage incontrôlé, la catastrophe est immédiate. Aussi, contrairement à une première intuition, la première vertu d'un explosif n'est pas d'exploser, mais... de ne pas se déclencher quand il ne doit pas exploser !

La sécurité en premier : ce principe fonde la culture des pyrotechniciens, sur lequel, génération après génération, ils ont construit un corpus de règles et de bonnes pratiques. Cela se traduit en France par exemple par les études de sécurité au travail (EST) qui définissent ce qu'il est autorisé de faire ou manipuler, et seulement cela. On peut les relier à la fameuse consigne « Ici, tout ce qui n'est pas autorisé est interdit » (phrase qui, dit-on, aurait provoqué l'ire d'un Ministre de la Défense des années 80!). Aujourd'hui encore, la culture collective est au partage des retours d'expériences, même entre concurrents, comme l'illustrent les bases de données d'accidentologie accessibles à tous, avec une idée simple : chaque accident, ou situation de presque accident, est l'occasion pour tous de progresser. Et les pyrotechniciens partagent avec les pompiers la même patronne protectrice, Sainte Barbe, qu'ils honorent chaque année en se rassemblant le 4 décembre.

Au carrefour des sciences et techniques

La pyrotechnie et les matériaux énergétiques, c'est d'abord de la chimie, science expérimentale par

excellence, pour en comprendre le fonctionnement intime. Une chimie qui s'intéresse à des phénomènes extrêmes : au premier ordre, l'objectif est de délivrer le maximum d'énergie dans le minimum de temps... qu'il faut savoir caractériser avec son cortège de concepts et d'échelles. Tous les BOUMS ne se valent pas ! Entrer en pyrotechnie, c'est commencer par comprendre qu'une détonation n'est pas une déflagration, encore moins une combustion rapide, ni même une explosion pneumatique, même si les différents phénomènes peuvent cohabiter (pour les non-initiés, je recommande à ce sujet la lecture des articles de nos camarades Narboni et Reydelet).

C'est aussi de la mécanique, pour en comprendre les effets. Pendant plusieurs siècles, à l'exception notable des feux d'artifices, l'art de détruire a tiré la discipline et attiré à elle toute l'attention du monde militaire et des exploitants de mines et carrières. Puis au vingtième siècle, l'émergence des matériaux énergétiques permet de nouveaux effets, dont la génération de gaz contrôlée et ses nouvelles applications : propulsion de vecteurs au plus grand bénéfice de l'industrie spatiale et de défense, puis de l'industrie automobile avec le développement des airbags.

Enfin, au tournant de ce siècle, l'électronique y a trouvé aussi sa place, pour des fonctions miniaturisées de transmission d'ordre et de sécurité d'armement.

Les ingrédients du succès

Le sujet est vaste et nous avons reçu de nombreuses contributions : pour construire ce dossier, nous avons choisi de regrouper les articles autour des 4 ingrédients qui font le succès de cette filière.

1. L'Etat en pivot

Premiers concernés, les ingénieurs militaires ont structuré cette discipline et fournissent aujourd'hui le vivier d'expertise de l'Etat en la matière. Et il en a bien besoin, tant les enjeux de l'Etat sont nombreux dans ses différents rôles : régulateur pour la sécurité au travail, donneur d'ordre pour l'industrie de défense, manipulateur de munitions dans l'armée et les forces de l'ordre, protecteur pour l'évaluation des menaces et le déminage, formateur pour garantir la transmission des savoirs aux prochaines générations d'ingénieurs et techniciens...

2. Un flux constant d'innovations

On pourrait croire cette « vieille » industrie endormie : il n'en est rien, et il suffit d'observer le flux d'innovations illustrées dans ce numéro. Qu'il s'agisse de nouveaux matériaux, de procédés industriels, de nouvelles applications ou des activités de dépollution, la créativité est à l'ordre du jour chez tous les acteurs publics et industriels.

Ce numéro contient de nombreux exemples : les munitionnaires travaillent à la sécurité d'emploi de leurs munitions (muration) et à la précision de leurs effets, l'industrie spatiale à améliorer sa fiabilité et à réduire le poids de ses lanceurs, et pour les mines et carrières, grâce à ses deux acteurs nationaux, la France est le premier pays européen à s'être quasiment débarrassé de la nitroglycérine, produit certes efficace mais instable (vous souvenez-vous du « Salaire de la peur » ?). Même le monde de la santé s'intéresse à la pyrotechnie désormais, avec les perspectives ouvertes par l'injection sans aiguille.

3. L'existence de champions industriels

En France, cette filière industrielle représente 15 milliards d'euros de chiffre d'affaires et 45 000 emplois qualifiés, et elle est exportatrice. Elle repose sur plusieurs champions industriels : beaucoup d'entre eux sont représentés dans ce dossier.

Ces entreprises sont les fruits d'une longue tradition. Ainsi, trois des plus grandes pyrotechnies en activité datent du Grand Siècle de Louis XIV : Saint-Médard-en-Jalles, Vonges et Pont-de-Buis, aujourd'hui exploitées par différentes entreprises performantes et qui ont le rare privilège d'écrire à leur tour un chapitre de cette longue histoire.

4. Une autonomie européenne couplée aux enjeux de souveraineté nationaux.

En pyrotechnie, notre *supply chain* dispose d'une bonne résilience à l'échelle européenne : à l'excepti-

on des feux d'artifice, la quasi-totalité des matières premières peuvent être synthétisées en Europe, par plusieurs acteurs. Quant à la souveraineté nationale, elle se décline particulièrement pour toutes les applications relatives à la dissuasion, pour laquelle l'Etat veille à la stricte autonomie nationale. Ce modèle hybride est donc peu soumis aux aléas des longues *supply chains* intercontinentales et véritablement au service de notre indépendance.

Une filière à découvrir.

Sauf événement dramatique, on parle rarement de pyrotechnie et de matériaux énergétiques sur la place publique. C'est une activité habituée à la discrétion, à l'image de ses sites, nombreux mais cachés dans nos paysages : pour des raisons évidentes, les centres, usines et stockages pyrotechniques fonctionnent à l'écart des centres urbains et reçoivent peu de visiteurs, même si ce sont souvent des acteurs locaux bien ancrés et très structurants pour leur territoire. Quant aux acteurs industriels de cette filière, leur production est souvent cachée derrière celle de leurs grands donneurs d'ordre intégrateurs.

Autre signe : il aura fallu attendre 126 numéros de notre magazine pour consacrer enfin un dossier entier à cette discipline. L'occasion de rendre hommage à ces générations d'ingénieurs pyrotechniciens qui ont construit un écosystème souverain, dual, innovant et exportateur : en un mot, performant. 🇫🇷



Pierre Bénard, ICA, VP Commerce France de Thales
Systèmes d'Information et Communications Sécurisés

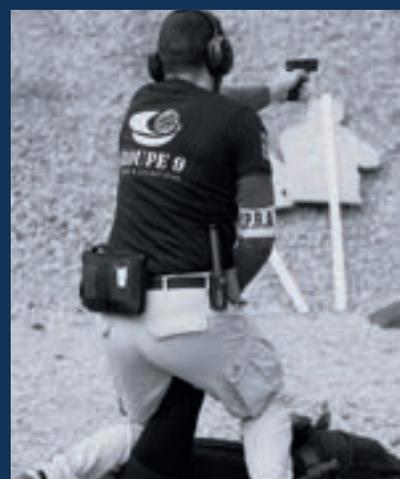
Après des débuts chez DCN, Pierre a dirigé plusieurs établissements industriels pyrotechniques chez SNPE et Thales, pour lequel il a aussi dirigé le site de Rouen-Ymare et celui de l'établissement spatial de Cannes.

Héraclès Protection Rapprochée

Entreprise de Services de Sécurité et de Défense (ESSD) spécialisée dans la protection physique de personnes et la protection rapprochée armée en France et à l'International



Nous assurons la protection physique des personnes ayant besoin de sécurité durant leurs déplacements (véhicules et pédestres) professionnels ou privés dans le strict respect des règles de déontologie et de la loi en vigueur dans leur zone d'évolution



Héraclès Protection Rapprochée
Conseiller - Accompagner - Anticiper - Protéger
En France et à l'International
groupe-h2s.com



Art.8: L'autorisation d'exercice ne confère aucune prérogative de puissance publique à l'entreprise ou aux personnes qui en bénéficient et disposant de l'agrément société numéro : AUT- 075-2118-06-27-20190600006



Partie 1
**L'ÉTAT
EN PIVOT**



LA SÉCURITÉ PYROTECHNIQUE : ENTRE CONSERVATISME ET SIMPLIFICATION, VISER L'EFFICACITÉ

INTERVIEW DE FRANÇOISE LÉVÊQUE, IGA
INSPECTRICE DE L'ARMEMENT POUR LES
POUDRES ET EXPLOSIFS

Par Pierre Bénard, ICA

Françoise Lévêque (X83, docteur en biologie) a mené une carrière dans le domaine des risques chimiques et biologiques au SSA puis au sein de la DRET, de la DSP et à DGA Maîtrise NRBC. Entre 2016 et 2019, elle est adjointe au directeur technique de la DT.

La CAIA : Tu es l'inspectrice de l'armement pour les poudres et explosifs, une figure historique du monde pyrotechnique. Peux-tu nous expliquer ton rôle aujourd'hui ?

Françoise Lévêque : L'Inspection des Poudres et Explosifs (IPE) a effectivement une longue histoire de plus de 50 ans de contrôle de l'industrie de fabrication des poudres et explosifs. Aujourd'hui, l'IPE est le référent technique en sécurité pyrotechnique pour les autorités. Nommée par le ministre des armées, l'IPE a une mission interministérielle originale : la vision globale de la sécurité pyrotechnique. C'est en effet la coordination de l'effort sur les quatre piliers que sont la sécurité au travail, la sécurité de l'environnement, la qualité des produits et la sûreté qui permet la maîtrise de la sécurité pyrotechnique. A l'interface des processus associés à ces piliers, dans un domaine qui a beaucoup évolué technologiquement et un environnement de plus en plus exigeant sur la maîtrise des risques, l'IPE se doit de rester un interlocuteur de référence pour les autorités chargées de la réglementation et du contrôle.

La CAIA : Les critiques pointent une réglementation qui s'alourdirait toujours plus. Qu'en est-il dans le domaine pyrotechnique ?

FL : Le domaine pyrotechnique dispose d'une réglementation ancienne considérée comme précurseur pour les activités à risques. Elle a en effet été élaborée en réaction à des accidents dont le plus dramatique fut l'explosion de la poudrerie de Grenelle en 1794. En 1975, une série d'accidents dans des établissements de fabrication, fut à l'origine d'une évolution forte de la réglementation de sécurité du travail en pyrotechnie avec le décret 79-846 bien connu de générations de pyrotechniciens.

En 2013, la codification dans le code du travail a élargi les exigences réglementaires et surtout documentaires à la plupart des activités pyrotechniques. Certes la réglementation française avait montré son efficacité avec la réduction du nombre de victimes mais cette évolution a entraîné une lourdeur administrative qui montre des limites par rapport à l'objectif d'optimiser la valeur ajoutée de l'effort consacré à la sécurité pyrotechnique.

De son côté, le code de la défense, largement hérité des textes ayant fait suite à la fin du monopole d'Etat sur les explosifs et à la création de la SNPE, présente à la fois de nombreuses obsolescences et un empilement de réglementations instaurées au cours du temps de façon peu coordonnées, rendant sa compréhension et son application complexes à la fois pour les opérateurs pyrotechniques et les administrations concernées.

Aussi, une volonté forte a été affichée par l'Etat pour revoir en profondeur la réglementation pyrotechnique et l'adapter aux besoins actuels, en lien avec les acteurs du domaine.

La CAIA : Peux-tu nous donner des exemples ?

FL : Je citerai les études de sécurité au travail (EST), instaurées par le décret 79-846. Elles constituent la pierre angulaire de la sécurité pyrotechnique depuis plus de 40 ans. L'étude de sécurité traitait à la fois de la sécurité intérieure (les travailleurs) et extérieure (l'environnement) des établissements pyrotechniques. C'était au temps où le

document unique d'évaluation des risques professionnels n'existait pas encore et où les préoccupations relatives à l'Environnement étaient bien moins prégnantes qu'aujourd'hui.

Au début des années 2000, les corpus réglementaires Travail et Environnement ont profondément évolué mais la réglementation en sécurité pyrotechnique est restée relativement en marge des nouveaux concepts, ne s'intégrant que partiellement dans les nouveaux référentiels avec comme effets de cumuler plusieurs référentiels documentaires partiellement redondants.

Tout en gardant une certaine spécificité, une convergence de la réglementation dans le domaine pyrotechnique pourrait être recherchée avec les pratiques générales du code du travail et du code de l'environnement.

La CAIA : As-tu des propositions concrètes ?

FL : Oui, nous publions régulièrement des réflexions dans La Lettre de l'IPE, publication semestrielle accessible sur internet : <https://www.defense.gouv.fr/dga/poudres-explosifs/lettre-lipe>

Des évolutions ont été proposées à la communauté pyrotechnique. Elles sont ouvertes à la discussion, pour évaluer leur faisabilité. Ces propositions reposent sur une approche en rupture avec certaines pratiques actuelles. L'innovation majeure serait de dissocier l'analyse des risques d'effets domino liés à l'implantation des installations de l'évaluation des risques d'exposition des travailleurs.

La CAIA : Tu nous parles beaucoup de documentation. La sécurité, c'est aussi sur le terrain ?

FL : Absolument et le domaine pyrotechnique présente un enjeu : il se caractérise aujourd'hui par une insuffisance de formations qualifiantes, hormis dans le domaine de la dépollution pyrotechnique, de la mise en œuvre des articles pyrotechniques (tels que les artifices de divertissement), et de préposé aux tirs d'explosifs (pour les mines et carrières par exemple). Dès lors, il n'est pas rare de constater que certaines petites entreprises du domaine ne disposent pas de compétences en sécurité pyrotechnique. L'exigence de disposer d'un personnel compétent en sécurité pyrotechnique dans tout établissement pyrotechnique, avec des formations qualifiantes reconnues et régulièrement entretenues permettant d'assurer une garantie minimale de sécurisation des activités est également une proposition que nous avons faite.

La CAIA : Et à l'étranger ?

FL : Une comparaison avec d'autres pays dont l'accidentologie en pyrotechnie est comparable à celle de la France, montre une approche largement basée sur les principes et les règles OTAN déterminant l'implantation des installations pyrotechniques. Ce référentiel est régulièrement amélioré par des expérimentations et nourrit des codes de calcul.

En France, la démarche de conformité à la réglementation est différente. Les règles techniques sont certes simplifiées mais leur application peut présenter des difficultés selon les activités pyrotechniques et surtout, elles

n'ont pas été révisées depuis 1979, malgré l'amélioration des connaissances des effets pyrotechniques.

Nous menons actuellement une réflexion avec les autorités militaires et civiles pour la réintégration dans les pratiques françaises des approches OTAN actualisées.

La CAIA : Que dirais-tu en conclusion ?

FL : L'évolution de la réglementation pyrotechnique en France et son application demande à chacun de se réinterroger sur le sens : c'est ainsi que nous pourrions éviter d'éventuelles accumulations de normes excessives consommatrices de ressources sans gain avéré pour la sécurité. Face à ces enjeux qui pourraient plaider pour un allègement de la contrainte réglementaire, il faut cependant rester vigilant à maintenir une acceptation sociale de ces activités à risque. C'est d'autant plus crucial que nos poudreries historiques, acteurs majeurs de l'armement, sont situées pour certaines au cœur de zones devenues résidentielles. Le maintien de la confiance des citoyens vers l'industrie pyrotechnique nécessite de maintenir une part de réglementation spécifique complémentaire aux réglementations actuelles en rapport avec le Travail et l'Environnement mais aussi une vérification renforcée sur le terrain par des experts de la sécurité pyrotechnique.

Entre conservatisme et simplification, l'évolution de la réglementation en sécurité pyrotechnique est un enjeu d'avenir sur lequel la profession doit encore trouver la voie. ☺

QUAND VOTRE EXPLO FAIT BOUM !

COMBUSTION, DÉFLAGRATION OU DÉTONATION ?

Par Claude Noisette Narboni, IPA

Imaginez. Vous êtes dans la salle de contrôle d'une casemate. Vous attendez fébrilement le déclenchement du tir qui couronnera la campagne d'essais que vous préparez avec amour depuis des mois. Dans une ambiance bon enfant quoique sérieuse, les artificiers lancent les paris sur le résultat du tir. Détonation, déflagration, combustion ?



Onde de choc et boule de feu d'une détonation, photographie du Canada Defense Research and Développement

C'est souvent l'artificier qui gagne... A l'oreille ! Tournant en dérision au passage mon besoin d'ingénierie bégueule de barder l'essai de tous les capteurs possibles et imaginables - et, plaisantaient-ils, ô combien superfétatoires - qui me permettraient péniblement de tirer des conclusions discutables sur le phénomène observé. En attendant d'avoir la chance d'entendre la douce mélodie d'une explosion atténuée par les murs forts d'une casemate de tir, je vous propose quelques considérations théoriques, notamment des définitions tirées du dictionnaire de pyrotechnie du GTPS, la société savante de l'association française de pyrotechnie (AF3P).

Combustion, déflagration, détonation

Commençons par le plus consensuel. Une combustion est une réaction de décomposition exothermique est auto-entretenue d'un matériau énergétique ou d'un mélange oxydo-réducteur. La zone de réaction se propage de façon subsonique dans l'air. C'est un phénomène relativement lent, sans surpression lorsqu'il se produit à l'air libre, dont le dégagement de produits de réaction est progressif. Il s'agit du mode de décomposition fonctionnel des propergols et des poudres.

A l'opposé du spectre de la violence de réaction se trouve la dé-

tonation. Lors d'une détonation, la réaction de décomposition exothermique auto-entretenue par onde de choc se propage à vitesse supersonique dans le milieu, comme illustré dans l'image ci-contre. La réaction est quasi-instantanée. Il s'agit du mode de décomposition fonctionnel des explosifs.

Lors d'une déflagration, phénomène intermédiaire entre la combustion et la détonation, la réaction chimique est pilotée par le transfert thermique par convection et conduction. Elle s'accompagne d'une onde de compression significative dans le milieu. La vitesse apparente de réaction est subsonique dans la matière et supersonique dans l'air. Vous trouverez cependant des experts du domaine qui vous affirmeront que les déflagrations n'existent tout simplement pas et qu'il s'agit tout au plus de combustions très véloces. Et à l'air libre, c'est tout à fait vrai ! Il est très difficile de différencier une déflagration d'une combustion très vive pour un matériau énergétique nu. En milieu confiné, la différence est nette, du fait d'un nouveau critère de caractérisation : la taille des éclats d'enveloppe que je présente infra. C'est pourquoi j'ai indiqué que la combustion était le mode de fonctionnement normal des poudres, alors que confiné dans un canon d'arme, on pourrait arguer que le mode normal de fonctionnement des poudres est la déflagration...

Notons que j'ai indiqué le mode de décomposition fonctionnel de chaque type de matériau énergétique. Mais en cas d'accident, une poudre peut tout à fait détoner - comme de la poudre noire à Pont de Buis en 1975 - tout comme certains explosifs peuvent accidentellement brûler.

Ordres de grandeur des vitesses de réaction :

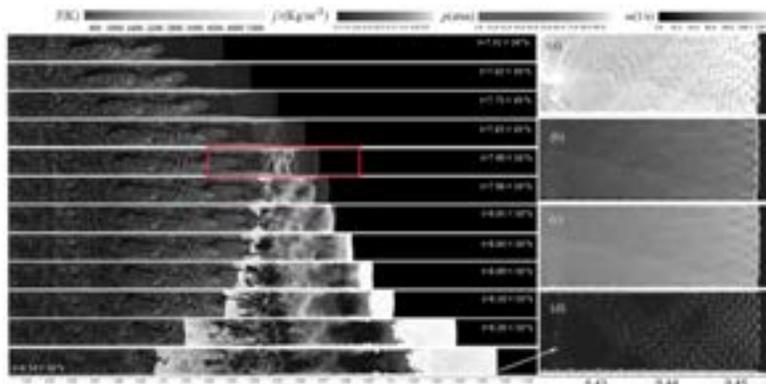
jusqu'à 10 m/s pour une combustion lente
de 10 à 100 m/s pour une combustion vive
de 100 m/s à 1000 m/s pour une déflagration
plus de 1000 m/s pour une détonation

Ordres de grandeur des surpressions :

pas de surpression pour une combustion
jusqu'à 1000 bars pour une déflagration
de 10 bars à quelques 100 000 bars pour une détonation
Oui, ça se recouvre. Vous pensiez vraiment que ce serait aussi simple ?

Confinement et transitions

Cependant, les matériaux énergétiques sont rarement utilisés nus ou à l'air libre. Ils sont souvent confinés : enveloppe de missile, d'obus ou de bombe, corps de propulseur, balle, canon d'arme... Apparaît alors un autre critère que la vitesse de réaction ou l'intensité des surpressions enregistrées : la taille des éclats des enveloppes. Lors d'une combustion, même très vive, on retrouve le conteneur déformé, éventré, plus rarement en plusieurs gros morceaux. Lors d'une détonation, l'enveloppe est pulvérisée en petits morceaux hyper-véloces, jusqu'à quelques km/s pour les plus légers. Lors d'une déflagration, on peut retrouver des morceaux d'enveloppe de taille intermédiaire, souvent propulsés à bonne vitesse



Accélération de flamme suivie d'une transition déflagration – détonation (image issue de la revue Combustion and Flame n°176 (2017) p.289)

et à bonne distance du lieu de l'explosion.

Par ailleurs, un matériau énergétique ne réagit jamais de lui-même. Il lui faut un amorçage comme une étincelle, un apport de chaleur, un détonateur, un arc électrique... Intervient alors l'idée de transition. Un phénomène pyrotechnique, aussi rapide soit-il, n'est pas instantané. Même une détonation ne paraît pas spontanément et doit passer par une phase transitoire avant de se stabiliser. Dans le cas où l'apport d'énergie est suffisant, comme avec un détonateur, on parle de transition déflagration détonation ou TDD. Ce phénomène est relativement bien documenté et des modèles fiables existent pour le modéliser.

Dans les cas d'accidents ou des nouvelles munitions à risque atténué (MURAT), on peut parler de transition combustion déflagration détonation ou TCoDD, bien plus difficile à modéliser.

Pour une approche plus théorique, je vous invite à consulter les travaux de Chapman, Jouguet, Zeldovich et consorts.

Vu du terrain

Nous avons donc vu que nous pouvions départager les trois phénomènes pyrotechniques de combustion, déflagration et détonation selon différents critères purement chiffrés : vitesse de réaction, intensité de surpression, taille des éclats. Mais je laisserai le dernier mot aux artificiers

qui ont une autre échelle d'analyse : les chances de survie. C'est seulement dans le cas d'une combustion pas trop vive que vous pouvez avoir le temps de vous échapper et de vous en sortir indemne. C'est d'ailleurs tout l'enjeu des munitions muratisées : brûler au lieu de directement détoner ou déflagrer en cas d'accident pour laisser le temps aux opérateurs de se mettre hors de danger et de déclencher les dispositifs de sécurité (comme le noyage) avant la transition vers la catastrophe. Dans le cas d'une déflagration, l'expérience combinée à de la chance et des réflexes surhumains peuvent vous aider à vous en sortir vivant, mais la probabilité est grande de vous retrouver salement amoché. Dans le cas d'une détonation, vous n'avez tout simplement pas le temps de fuir. N'en déplaise aux plus grands héros cinématographiques qui ont à peine besoin de se recueillir sous le souffle des dizaines d'explosions qu'ils esquivent de justesse à chaque coin de rue... ☹



Claude Noisette Narboni, IPA

Chargée d'expertise matériaux inertes non métalliques, DGA/MCM.

Après une thèse et un premier poste dans le domaine des matériaux énergétiques, Claude Noisette Narboni a rejoint la DGA pour suivre les projets amont matériaux, notamment en support des programmes missiles.

A LA DÉCOUVERTE DU SIMU

POINT DE VUE D'UN INGÉNIEUR MILITAIRE

Par Grégory Bonnemains, ICETA

Créé il y a 11 ans pour renforcer l'efficacité du soutien munitions, le SIMu a su prendre sa place pour l'acquisition, la gestion, le stockage, le maintien en condition opérationnelle, la délivrance et le retrait de service des munitions au profit des armées en tout temps et tous lieux.

Pourquoi la pyrotechnie... et le SIMu ?

Entrer au service de la France et des armées, c'est avant tout une vocation mais c'est aussi pour faire quelque chose de spécial, que l'on ne trouve pas en dehors du ministère. Choisir la formation en pyrotechnie, c'est entrer dans un microcosme tourné quasi exclusivement vers le secteur de la défense, que ce soit au niveau de l'Etat, comme dans le secteur privé. Vingt ans plus tard, à la sortie de l'école de guerre, quoi de plus naturel pour un pyrotechnicien que de rejoindre le service interarmées des munitions. Le challenge proposé par le SIMu, en tant que chef des responsables du soutien en service, était motivant. Ce poste allie les aspects techniques des munitions et le management d'une équipe de cadres expérimentés. Il se situe dans le plus petit service de soutien, au sein d'une direction resserrée, mais au cœur des problématiques opérationnelles et programmatiques en lien avec la DGA, les états-majors et l'industrie.

Redécouverte des munitions

Ce qui transparait au SIMu, c'est un fort engagement de son personnel au profit des armées. Le SIMu est un service technique, qui s'appuie sur le savoir-faire et l'expérience de ses pyrotechniciens pour gérer les munitions tout au long de leur vie. Cela commence dès le développement et les commandes, en lien avec les états-ma-

Le SIMu, naissance il y a 11 ans, le 25 mars 2011

Le 25 mars 2011, le service interarmées des munitions est créé. Il regroupe au sein d'un service unique les organismes propres à chaque armée en charge des munitions. L'objectif affiché est une meilleure efficacité de la fonction munitions au profit des armées, en rationalisant et harmonisant les compétences et savoir-faire pyrotechniques auparavant disséminés.

Aujourd'hui, le SIMu, rassemble 1400 personnels, répartis au sein d'une direction à Versailles, 14 dépôts interarmées de munitions en métropole et 9 en outremer et à l'étranger.

jors et la DGA, et se termine par les opérations de retrait de service (cessions ou éliminations).

Deux projets structurants

Le SIMu apporte son conseil pour que les plans d'acquisition et les stratégies de soutien ne soient pas considérés comme une variable d'ajustement et pour faire « entrer l'édredon dans la valise ». Le SIMu a encore besoin de s'affirmer dans ce rôle auprès de ses interlocuteurs.

Une fois développées par l'industrie, qualifiées par la DGA et acceptées par les armées, les munitions vont être stockées au SIMu. Il s'agit là d'une exigence de sécurité qui revêt une importance majeure aujourd'hui. Que les munitions soient simples ou complexes, il est nécessaire de maîtriser leur environnement. En premier lieu, il s'agit de suivre la température à laquelle elles sont soumises mais, pour les plus sensibles, des données plus complexes telles que les chocs et les vibrations

subis doivent également être surveillées. Cet enjeu pour les armées se traduit au SIMu par la mise en place d'un projet dédié à la maîtrise de l'environnement des munitions qui passe par l'amélioration des lieux de stockage, l'utilisation de conteneurs climatisés, notamment en opérations extérieures et le déploiement de capteurs pour enregistrer les conditions de stockage. En parallèle, toutes les nouvelles munitions complexes font l'objet d'une démarche « HUMS » avec la DGA. Il s'agit de prévoir, dès la phase de développement, des capteurs qui vont enregistrer les paramètres vitaux de la munition. Ces paramètres permettront au SIMu, à la DGA et aux armées de suivre le potentiel réel des munitions au cours de leur vie afin d'optimiser leur utilisation, de sécuriser leur emploi et d'ajuster leur durée de vie par rapport à leur profil de vie réel.

Le SIMu est également en charge de la gestion des munitions au profit des armées. L'objectif est

Le SIMu est-il résilient ?

Ces dernières années, le SIMu a été confronté comme tout le monde à la crise sanitaire et à la guerre en Ukraine.

Le constat dressé au niveau de la direction du SIMu révèle que le service a supporté ces crises. Aucune munition n'est restée bloquée dans les dépôts du SIMu.

Toutefois, ces crises permettent de mettre en lumière que certains choix programmatiques ne sont pas adaptés à ces situations. Ainsi, la logique d'approvisionnement en flux tendu, parfois auprès de fournisseurs étrangers, a démontré son manque de robustesse. La notion des stocks objectifs a permis de limiter l'impact de ce cas de figure. Encore faut-il pouvoir être en mesure de les constituer à temps puis de les entretenir.

D'autre part, le SIMu assure dans ses ateliers la maintenance et la surveillance technique des munitions des armées. Il s'agit de capacités essentielles qui permettent d'optimiser la disponibilité des munitions, tout en gardant une autonomie stratégique vis-à-vis de fournisseurs français ou étrangers dans certains cas.

Certes cet outil de soutien a un coût pour l'Etat et il pourrait donc être décidé de le confier à l'industrie. Mais, entre autonomie stratégique et économie, il faut trouver le bon équilibre dans un contexte marqué à la fois par de fortes contraintes budgétaires et de vives tensions internationales.



Le logo du simu est hérité de celui du service des poudres.

de connaître à chaque instant les quantités de munitions disponibles, leur état technique et opérationnel. Deux projets structurants pour le service sont en cours : la mise en place d'une chaîne logistique moderne pour optimiser les flux de munitions entre les différents dépôts du SIMu et le développement d'un nouveau système d'information

logistique (SI@Mu), outil essentiel pour pouvoir suivre les munitions gérées par le SIMu. Cet outil, qui se veut moderne et évolutif, doit permettre à l'ensemble des acteurs de la communauté munitions d'accéder aux informations dont ils ont besoin. Pour le SIMu, il doit permettre une gestion unifiée des munitions classiques comme des munitions complexes et l'ouverture vers d'autres systèmes d'informations des armées et à terme ceux des industries partenaires.

Enfin, le SIMu est également responsable de la fin de vie des munitions, une fois qu'elles ont été déclarées sans emploi par les armées. Quand elles n'ont pas pu être tirées en opérations ou à l'entraînement ou cédées à un pays ami, les munitions sont positionnées sur des marchés d'élimination pilotés par le SIMu. Depuis sa création, le SIMu a réalisé un nettoyage considérable des magasins en ramenant le

chiffre de 20 000 à 7 000 tonnes de munitions à détruire. Cette démarche reste essentielle pour limiter les risques pyrotechniques liés au stockage de munitions anciennes, mais aussi réduire la place occupée par des munitions inutiles aux armées. Mais elle est difficile à mettre en œuvre parce que les filières d'élimination sont très restreintes, en particulier en raison du haut niveau d'exigences réglementaires imposé pour les opérations de démantèlement.

Et l'avenir...

Jeune service de soutien interarmées, le SIMu s'affirme comme un acteur incontournable en matière de gestion et de délivrance des munitions. Fort de l'expérience acquise en temps de paix, en temps de crise comme en opérations, le SIMu continuera à contribuer, aux côtés des armées et de la DGA, à l'élaboration des politiques d'acquisition et des concepts de soutien du domaine munitions. Ses projets de transformation, intégrés dans la feuille de route SIMu 2025, doivent lui permettre d'être toujours plus performant au service de l'engagement des forces. ☺



Grégory Bonnemains,
ICETA, chef de la division des parcs du SIMu

Pyrotechnicien de formation, il rejoint en 2020 le Service Interarmées des Munitions après avoir suivi la scolarité de l'école de guerre. Il occupe le poste de chef de la division des parcs à Versailles, où il encadre les responsables du soutien en service de l'ensemble des munitions conventionnelles des armées.



RENCONTRE AVEC ASTRID LE GOFF, PYROTECHNICIENNE

Par Pierre Benard, ICA

IETA de spécialité pyrotechnie, Astrid a effectué son stage de fin d'études chez Nobel Sport en 2020 avant de prendre un poste de responsable d'atelier au sein d'un établissement du SIMu. Plongée dans la technique, le management et bien sûr l'ingénierie de la sécurité.

La CAIA : Quelle est ta mission ?

Depuis ma sortie de l'ENSTA Bretagne en septembre 2020, j'occupe un poste de chef de groupe au sein du Service Interarmées des Munitions (SIMu) à la Pyrotechnie Saint Nicolas située à Guipavas.

Le SIMu employant du personnel civil et militaire, d'origine Terre, Mer, Air et DGA, a pour mission d'acquiescer, gérer, maintenir, stocker et éliminer des munitions des armées. Il est constitué de plusieurs établissements dont l'Etablissement Principal des Munitions (EPMu) Bretagne : ce dernier regroupe le Groupement Munitions (GMu) de Brest situé à la Pyrotechnie Saint Nicolas et la section munitions de Coëtquidan.

Le groupe atelier maintenance des munitions classiques, dont je suis responsable, fait partie de la section Maintenance du GMu de Brest. L'enjeu de mon poste est de nature à la fois technique et managérial. Il s'exprime en la capacité à piloter la réalisation des activités techniques : maintenance des munitions classiques (d'infanterie, d'artillerie, roquettes, grenades, artifices de démolition, artifices de signalisation, artifices de sécurité à durée de vie limitée, etc ...), fabrication des munitions NEDEX, expertises et élimination dans plusieurs ateliers, dans un environnement particulièrement contraint au plan réglementaire, où la sécurité est primordiale.

Les activités relatives à ce poste sont très variées.

Il s'agit de superviser l'exécution des tâches relatives aux opérations liées aux munitions classiques, tout en s'assurant du maintien en état des infrastructures et matériels. La notion d'ingénierie de la sécurité est aussi importante dans mon poste, car ce dernier inclut la conduite de projets annexes aux activités principales, dans le but d'améliorer les conditions de travail et notamment les conditions de sécurité (recherche de systèmes adaptés aux travaux).

Au plan sécurité, il s'agit de garantir le respect des réglementations, en validant ou rédigeant les documents de travail et de sécurité, puis en veillant à leur mise en œuvre rigoureuse. Dès que des anomalies sont notées, il est de ma responsabilité de faire remonter les informations et de lancer les actions correctives pour y remédier.

Il y a également un aspect managérial, puisque j'encadre une vingtaine de personnels, pour lesquels je dois veiller au bon fonctionnement de l'équipe, tout en contribuant à sa motivation et à sa cohésion. Le travail, mettant en jeu la sécurité des personnels, demande une attention particulière au suivi des habilitations et au maintien ou à l'acquisition des compétences. La gestion de l'équipe comporte aussi des aspects RH, qu'il s'agisse des notations, de

l'avancement mais aussi de la discipline qu'il faut réussir à imposer.

La CAIA : L'enjeu de sécurité est au cœur d'une pyrotechnie. Comment cela se traduit-il au quotidien ?

La sécurité au sein d'une pyrotechnie se base sur plusieurs principes primordiaux : évaluations des risques, respect des règles imposées, formation de personnels, respect du cadre professionnel (discrétion sur les activités du site).

Au sein du site, aucune opération pyrotechnique n'est réalisée sans rédaction et approbation d'une analyse préalable, ainsi que de modes opératoires précis. Ainsi, nous retrouvons un nombre important de documents de sécurité régissant les activités faites sur site, dans le but de déterminer les risques potentiels, d'imposer les mesures préventives adéquates et de décrire les travaux autorisés. Ils sont utilisés quotidiennement car ce sont eux qui autorisent ou non chaque opération, matériel et produits pyrotechniques, nombre de personnel maximum dans les installations, etc... Des règles de conformité entre les différentes installations sont vérifiées dans ces études, afin de limiter au strict nécessaire les personnes exposées.

Toutes les règles mentionnées sont à prendre en compte au quotidien en atelier : port des équipements

Exemple d'accident survenu à la suite d'une prise d'initiative sur la pyrotechnie, le 16/03/1948 :

L'atelier était en charge de la démolition de cartouches, c'est-à-dire séparation du projectile et désamorçage de la douille. Dans certains cas, la cartouche étant déformée, il était prévu (par ordre verbal) de la découper grâce à l'emploi d'une cisaille suivant une génératrice. Ce jour-là, les opérateurs ayant du mal à exécuter ce découpage, décidèrent d'utiliser un burin et un marteau pour découper la douille, ce qui provoqua l'inflammation de la charge contenue à l'intérieur ! Un opérateur a été blessé à la main et le deuxième au visage (plaies contuses).

de protections individuelles, règles d'accès de personnels, précautions contre l'électricité statique, matériels interdits en zones pyrotechniques, outils à jour des contrôles de sécurité et maintenance, etc. ... Elles permettent de réduire les risques d'événement pyrotechnique et de limiter les effets dans le cas où un événement se produirait.

Des formations trimestrielles relatives à la sécurité sont dispensées à tous les personnels et des contrôles périodiques sont effectués afin de s'assurer que les mesures de sécurité sont bien respectées. Le rôle du chef de groupe passe par le maintien et le perfectionnement des connaissances de son équipe dans le domaine des risques pyrotechniques et leur prévention.

Dans les pyrotechnies, chaque personne a son rôle à jouer quand il s'agit de sécurité pyrotechnique, que ce soit en terme d'exécution, de contrôle, d'analyse ou de validation des mesures de sécurité.

La CAIA : On peut lire à l'entrée de certains sites pyrotechniques : « Ici tout ce qui n'est pas autorisé est interdit ». Dès lors, peux-tu prendre des initiatives ?

Concernant les initiatives à l'intérieur d'un site pyrotechnique, aucune n'est permise. Dès lors que nous souhaitons effectuer une modification liée à une opération une demande vers l'Ingénieur Sécurité Pyrotechnie (ISP) doit être faite pour validation. Une fois l'accord de l'ISP,

une analyse doit être réalisée puis validée par différentes personnes (rédacteur, chef de groupe, chef de section, chef GMu, ISP, directeur) pour pouvoir effectivement appliquer cette modification.

Lorsqu'une situation imprévue ou exceptionnelle se présente, les opérateurs s'arrêtent et avertissent la hiérarchie afin de définir les procédures à suivre. Si rien n'est prévu, une nouvelle analyse est à réaliser. Le RETEX montre que des accidents / incidents sont arrivés à la suite de prises d'initiatives d'opérateurs, c'est pourquoi il est important sur des sites pyrotechniques comme la Pyrotechnie Saint Nicolas, de ne pas réaliser d'opérations non prévues, car cela signifie qu'elles n'ont pas été analysées collégialement sur le plan de la sécurité.

L'exemple présenté dans l'encart montre bien que la prise d'initiative – dans ce cas les changements d'outillage et de mode opératoire – sur des opérations mettant en jeu des munitions, présentent un risque important dans le domaine pyrotechnique.

Les enseignements retenus suite à ce type d'accident telle que la rédaction d'instructions de services, qui n'était pas systématique à l'époque, sont toujours présents aujourd'hui.

Au-delà de l'évolution de la réglementation dans l'histoire de la Pyrotechnie, le RETEX des incidents / accidents constitue aujourd'hui une base de données importantes de bonnes pratiques en matière de

sécurité pyrotechnique. Des documents relatifs à ces pratiques sont d'ailleurs diffusés et utilisés dans les établissements pyrotechniques (notamment le Guide défense de bonnes pratiques en pyrotechnie et le guide de bonnes pratiques en pyrotechnie du Syndicat des Fabricants d'Explosifs, de Pyrotechnie et d'Artifices).

La CAIA : En quelques mots, qu'est-ce qui te motive dans ton travail ?

L'objectif opérationnel du SIMu consiste à assurer l'approvisionnement en munitions des forces armées. Cette mission est d'autant plus significative pour moi du fait de mon statut militaire.

Concernant le travail au quotidien, la supervision des activités et les responsabilités qui y sont liées sont des points très valorisants et qui me motivent tous les jours.

Ce poste me permet d'être directement au cœur de l'action. Je vois des munitions tous les jours, que ce soit en configuration nominale, en cours de confection, ou même préparées avant que les opérateurs ne les fassent fonctionner. Le côté technique aussi proche de l'action est très appréciable, surtout en début de carrière dans le domaine militaire.

Je dois parfois traiter des dossiers particuliers lors de situations exceptionnelles, ou de besoins spécifiques en matériels.

Cette facette dans mon travail, de recherche de solutions, est une des tâches que j'affectionne particulièrement.

L'aspect RH m'apparaissait comme un défi en sortie d'école, dans le sens où j'arrivais avec un bagage technique mais en aucun cas des compétences managériales, et de plus dans un environnement majoritairement masculin. L'esprit d'équipe qui règne dans le service que je supervise est excellent, ce qui fait partie des aspects positifs et motivants du poste que j'occupe. ☺

TÉMOIGNAGE : LE JOUR OÙ...

COLLECTIVEMENT, NOUS AVONS RÉINVENTÉ LES COMMANDES DE MUNITIONS

Par Frédéric Tatout, ICA

Avec les fameux « dividendes de la paix » issus de la chute du Mur, la commande publique de munitions était devenue non seulement minimaliste, mais aussi une simple option soumise aux ajustements budgétaires annuels, entraînant de très coûteux « Stop & Go » et une envolée du prix unitaire des munitions. Comment sortir de cette situation ?

Printemps 2008. Conséquence, ou pas, de la révision générale des politiques publiques lancée par le président Sarkozy, l'Etat-major des armées souhaite que la DGA pilote un groupe de travail sur la supply-chain des munitions terrestres. Je suis sur le pont au titre des affaires industrielles, avec un collègue de SASF.

Séance tenante à l'Ecole Militaire, le sujet est cadré et le mandat rédigé. Il tiendra une place de choix dans nos agendas respectifs, pour l'année à venir. Rapidement s'impose à nous, l'existence d'un phénomène de « stop-and-go » des flux à la faveur (ou au détriment) de manœuvres budgétaires plus ou moins opportunistes, qui se combinent en aval avec les recompléments partiels de stocks et de régulation des consommations, sur différentes strates.

Il en résulte, chez les opérationnels des armées, une visibilité éparse ou incertaine, parfois variable selon le point de vue où l'on se place. En miroir, les fabricants regrettent le caractère erratique des commandes, qui peut rendre périlleux les projets d'investissement ou d'optimisation de l'outil de production.

Il n'est pas facile de partager un tel constat, et c'est même inutile, si l'on ne sait pas quantifier les écarts et leurs impacts, et proposer des pistes de remédiation. L'écart considérable entre la quantité maximale produite et la consommation en cas de « surge » en situation de crise ou de guerre, sort du mandat : le niveau

des stocks de survie résulte d'un calage savant qui ne saurait en aucun cas être remis en cause au niveau du groupe de travail ; pour autant, il est essentiel que ce niveau soit effectivement atteint, aspect qu'il est permis d'évoquer à la marge.

C'est dans ce contexte à la fois contraint et peuplé d'incertitudes sur la caractérisation des flux, que nous devons patiemment tisser nos évaluations de besoin en recomplètement aval.

Au bout d'une année d'efforts pour naviguer entre les informations émanant de diverses strates de l'armée de terre, en comptant sur le soutien vigoureux d'un général en contrat de différence, émerge une épure chiffrée pour un schéma optimisé de commande publique. Ce schéma fait appel notamment à un mécanisme de commande pluriannuelle permettant aux deux côtés de la chaîne logistique d'avoir une meilleure visibilité et de stabiliser en amont l'approvisionnement de composants parfois difficiles à sourcer, en aval, l'effort d'utilisation en entraînement, ainsi que l'effort d'investissement industriel et d'adaptation de l'outil de production au besoin. La régularisation du flux produit mécaniquement une amélioration substantielle sur le long terme, du point de vue financier et de la maîtrise de l'ancienneté du stock.

L'argumentation, présentée avec l'assentiment clair d'opérationnels pleinement convaincus, est bien reçue par les autorités de contrôle de

la commande publique ; le schéma pluriannuel entérine l'idée que les munitions ne sont pas des consommables banals. La mise en place de la commande n'est pas de notre ressort, mais nous aurons grand plaisir à la voir aboutir au bout d'une bonne année de plus.

J'en tire deux enseignements.

Le premier est que la maîtrise de la supply-chain ne doit jamais être négligée, a fortiori si elle est sujette à des écarts de rythme considérables et si l'outil industriel est dépendant de la commande publique, comme dans notre exemple ; c'est une clé de la satisfaction des forces, au même titre que la maîtrise des technologies.

Le second est la nécessité de cerner tous les ressorts du besoin de la personne publique, y compris la supply-chain amont, pour optimiser l'application du Code des marchés publics. Dans notre exemple, c'est comme plonger sous le niveau de l'eau pour voir le dessous d'un iceberg. ☺



Frédéric Tatout,
ICA

Docteur en mathématiques appliquées. Après un début de carrière à des postes techniques au CEA et à la DGA, il rejoint le ministère de l'industrie pour le développement des usages et technologies numériques, puis réintègre la DGA en 2006, aux affaires industrielles puis pour initier des projets transverses d'amélioration de performance. Depuis 2018, il œuvre à des projets innovants faisant une large place à l'exploitation de la donnée.

MAÎTRISER LES INSTANTS-CLÉS *DE VOS MISSIONS*



IL ÉTAIT UNE FOIS LES PROPERGOLS SOLIDES

Par Daniel Reydellet, IGA

De quoi s'agit-il ? (Maréchal Foch X 1871)

Les propergols solides sont à classer dans la catégorie des matériaux énergétiques, à côté des poudres pour armes et des explosifs, dans la classification poudrière classique. Comme tous ces matériaux, ils se décomposent en produisant une grande quantité d'énergie, sans avoir besoin d'avoir recours à l'oxygène de l'air. Leur mode de décomposition normal est la combustion convective, appelée aussi « déflagration »... Attention ne pas confondre avec la détonation, mode de décomposition normal d'un explosif, où la réaction se propage à l'intérieur du matériau par une onde de choc supersonique... Terminologie « moteur fusée à propergol solide. » On dit aussi « moteur à poudre », en Anglais : Solid Rocket Motor SRM
Attention : motor = propergol solide
Engine = ergols liquides

Voilà à peu près ce qu'on peut lire dans l'introduction des meilleurs cours des meilleures écoles... pas vraiment attractif ! Et pourtant, il s'agit d'une aventure extraordinaire, à la fois industrielle, technique, et ...humaine. Cet article n'a rien d'académique. Il s'agit tout au plus d'un témoignage de l'auteur, qui a trempé dans la marmite du propergol à la fin des années 60 à la PNSM (poudrière nationale de saint-Médard en Jalles)...et qui ne s'en est jamais remis...

À quoi ça sert ?

Un propergol, ça sert à propulser...sans utiliser l'oxygène de l'air¹ (rocket propulsion)...en produisant

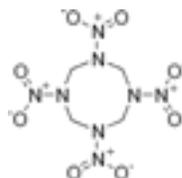
des gaz éjectés dans une tuyère à col sonique... Mais attention, les propergols solides ont des concurrents : les ergols liquides qui exigent d'être injectés dans une chambre de combustion...le bloc de propergol solide est lui-même la chambre de combustion.

Comment ça marche ?

La combustion se fait en couches parallèles. C'est l'apothéose de la géométrie ...la loi de poussée est inscrite dans la géométrie initiale... obtenue par des procédés de moulage/usinage adéquats. L'architecture obligatoire pour les gros SRM est « le moulé collé » Le bloc est placé à l'intérieur d'une structure qui supporte la pression, elle-même protégée par une protection thermique. Il existe des propulseurs segmentés (les très gros : SHUTTLE, ARIANE) ou monoblocs (les gros, les moyens et les petits : missiles balistiques, lanceur VEGA, missiles tactiques)

Quelles technologies pour les propergols ?

En des temps reculés, la poudre noire servait à la fois d'explosif, de poudre pour armes et de propergol. Aujourd'hui, les matériaux sont plus spécialisés, encore que si on raisonne au plan énergétique, la meilleure réponse est l'octogène (HMX)...pour les trois applications



Le plus énergétique : Monseigneur HMX (octogène)

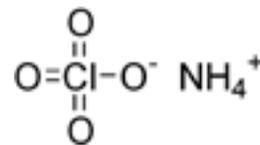
Mais il n'y a pas que l'énergie dans la vie ...il faut faire des arbitrages, qui conduisent aux solutions suivantes

Les plus populaires pour les missiles tactiques :

Poudre SD (sans dissolvant) nitrocellulose + nitroglycérine avec un gélifiant non volatil)
Poudre EPICETE, double base, (nitrocellulose + nitroglycérine flegmatisée)

Et pour l'espace et les missiles stratégiques :

Propergol composite classique : élastomère + perchlorate d'ammonium+ aluminium en poudre (combustible).



Le roi de la combustion : sa majesté le perchlorate d'ammonium NH₄ClO₄

Si on veut encore plus de performances, on passe aux doubles bases composites (nitralanes) nitrocellulose + nitroglycérine + octogène + aluminium... Beaucoup d'explosifs.... Warning !

Pourquoi un tel succès ?

Simplicité, facilité d'emploi...super pour les missiles tactiques...et, en même temps, compatibilité avec un emport dans un sous-marin : dans le match ergols liquides vs propergols solides, ces derniers sont vainqueurs par KO à la première reprise. Ils ont donc été adoptés par la quasi-totalité des missiles balistiques stratégiques.

¹ : On passera sous-silence les « semi-propergols », pour « statos à poudre ». Un seul cas d'application opérationnelle connu : missile air-air METEOR.

MAIS SURTOUT, quelles difficultés ?**Faut que ça brûle... régulièrement****Une histoire de combustion...stable ou pas stable ?**

Si la vitesse de combustion augmente trop avec la pression, le moteur n'a pas de point de fonctionnement stable ... les premiers efforts ont donc consisté à rechercher des compositions « à palier de pression »... Mais ce n'est pas tout ! On peut rencontrer des régimes vibratoires par couplage entre la combustion et les modes de cavité, ce qui entraîne des niveaux vibratoires élevés dans des fréquences de quelques centaines d'hertz...Un programme US, le Poséidon C3 et un programme français le M1 ont rencontré ce problème durant leur développement... problème d'autant plus vicieux qu'il dépend des lots de matières premières. En revanche, les modes vibratoires des P230 qui ont longtemps empoisonné l'utilisation d'Ariane 5 ne doivent rien à la combustion : il s'agit de perturbations d'écoulement liées au comportement d'une protection thermique du segment arrière...Le souvenir de ces ennuis, pourtant parfaitement résolus a failli empêcher l'utilisation de SRM pour Ariane 6 ! Les gens sont méchants...

Faut que cela ne soit pas trop dangereux... en fabrication et en utilisation**Propergol...ou explosif ?**

Certains propergols sont de vrais explosifs : la détonation en masse d'un missile US lors d'un essai en vol en est la preuve : un banal incident de propulsion (perte de tuyère) qui se transforme en apocalypse. En France, ces compositions « nitralanes » ont fait l'objet d'études et ont conduit à l'achat d'un vaste terrain sur la commune de Saint-Jean d'Illac, terrain qui permet aujourd'hui à l'activité SRM de continuer, malgré l'urbanisation de la zone. Ces nitralanes n'ont pas été retenues pour le M5, car les études ont montré que les propergols butalanes associés au grand diamètre autorisé par le SNLE Type le Triomphant avaient de meilleures performances coût/efficacité : pour utiliser la nitralane, il eût fallu redimensionner complètement toute l'infrastructure industrielle et opérationnelle pour la mise en œuvre des missiles. Prohibitif !

Faut que la fabrication soit fiable et reproductible...**Une question de polymérisation**

Les polymères, il faut que ça polymérise, suffisamment, mais pas trop vite...

Suffisamment : dans la première génération de missile balistique, il y avait un mystère : un propulseur bi-composition avait un taux de remplissage tellement élevé que les calculs montraient qu'il aurait dû se fissurer en refroidissement... or il n'en était rien...Un jour, on s'est aperçu que la polymérisation était incomplète...et donc qu'il finissait la cuisson à 20 °C.

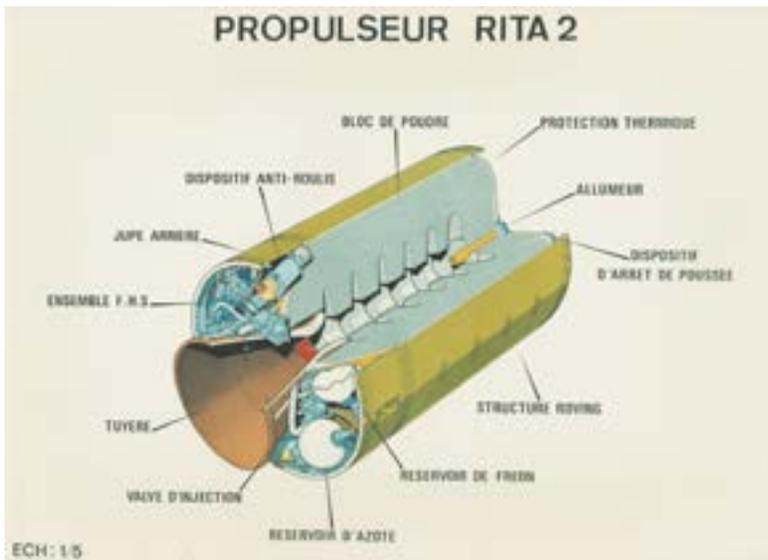
Sauf que, pour certains lots de matières premières, le propergol restait à l'état pâteux. Il a fallu modifier la composition pour augmenter...mais pas trop, la cinétique de polymérisation

Mais pas trop vite : Concernant les P230 d'Ariane 5 des difficultés de coulée ont été rencontrées au cours du programme : la cinétique de polymérisation était trop rapide...et la pâte commençait à prendre en masse pendant la coulée avec certains lots de matières premières. Il a fallu changer de composition au milieu du programme, pour ne pas s'exposer à de graves ennuis en production industrielle. Sage décision !

Faut que les propriétés mécaniques soient suffisantes**Pour être un bon poudrier, il faut savoir manier les codes aux éléments finis**

Un bloc moulé-collé doit résister au retrait thermique et à la mise sous pression...les premières versions du propulseur 6 tonnes RITA 2 ont conduit au début des années 70 à de très belles explosions à l'allumage, par rupture en fond de dent (il s'agissait d'un bloc usiné axisymétrique)...Il fallait donc redessiner le bloc, mais sur quelles bases ? Un calcul par élément fini était la solution...mais le propergol est incompressible, le coefficient de Poisson étant voisin de 0,5...Et, dans le programme, l'inversion des matrices de Hooke élongation/contrainte conduisait à un moment à une division ...par zéro. Il a fallu inventer un artifice mathématique ad hoc pour contourner ce problème inédit... Bravo les matheux !

Faut que le vieillissement soit maîtrisé tout au long de la durée de vie ...ce qui n'est pas le plus facile ...les mécanismes de vieillissement obéissant à la loi d'ARRHENIUS comme toute réaction chimique qui se respecte...



Le célèbre RITA2, deuxième étage M2/M20/S3 : 6 tonnes de propergol isolane 40/13... qui a permis aux SNLE de patrouiller dans le golfe de Gascogne

Le passé, le présent et l'avenir.

Depuis au moins 60 ans les propergols solides occupent le haut du pavé dans les applications militaires...et ce n'est pas fini...

Au début des années 1960, la Direction des Poudres a relevé le défi de la grosse propulsion, ce qui n'était pas gagné... Son héritage est encore vivant à notre époque, dans une industrie qui s'est largement optimisée au cours des temps. Le S2, le S3, le M1, le M2/M20, le M4, le M51... avec ces différentes versions « point quelque chose »... Superbe lignée. On n'a fait appel qu'à des propergols composites classiques à liant élastomère inerte (polyuréthane, polybutadiène...), NH_4ClO_4 , Al, ce qui est très sage : pas de risque de détonation, même soumis aux agressions accidentelles ou malveillantes les plus extrêmes.

Mais la propulsion à poudre a été battue au moins pour une application : le missile ASMP ; la portée de ce missile et les contraintes d'encombrement et de masse liées à l'emport sous l'avion d'armes MIRAGE 2000 ont conduit à adopter un mode de propulsion aérobie : le

statoréacteur...mais pour arriver à la vitesse de fonctionnement, ledit stato a recours à un accélérateur à poudre logé élégamment dans sa chambre de combustion ...où on ne trouve pas d'accroche-flamme, grâce au savoir-faire de l'ONERA.

Pour l'espace, c'est un peu plus compliqué : la catastrophe de Challenger a porté un préjudice certain à l'utilisation pour des vols habités, ce qui n'a pas empêché ARIANE 5, avec deux booster à poudres segmentés de 230 tonnes d'y avoir recours, bien qu'initialement, ce lanceur ait été censé mettre sur orbite l'avion spatial HERMES...abandonné pour des raisons économiques par la suite.

Par ailleurs, le lanceur VEGA constitue un bel exemple d'utilisation des SRM monoblocs pour des petits lanceurs.

Enfin, la première version d'ARIANE 6 s'appelait PPH (poudre-poudre-hydrogène), soit des moteurs à poudre pour les étages principaux, H_2/O_2 pour l'étage supérieur. Pour des raisons principalement industrielles, cette version a été abandonnée au pro-

fit de la version actuelle PHH, dans laquelle le moteur cryogénique Vulcain constitue le noyau central, accolé à des propulseurs à poudre, qui ne sont autres que le premier étage de VEGA... Superbe synergie... Mais beau défi économique pour baisser les coûts du moteur Vulcain. La dernière méga commande d'Amazon semble montrer que le pari est en voie d'être gagné. Il n'y a plus qu'à terminer le développement, et produire dans les enveloppes de coût visées...

Pour l'avenir, l'essor du marché des petits lanceurs pour les constellations de satellites ouvre un champ d'applications important.

De plus, aujourd'hui, les propergols solides sont présents dans les applications les plus diverses quand il s'agit de générer des gaz rapidement et sûrement (airbag par exemple).

Ceux qui croient qu'ils ont dit leur dernier mot se trompent lourdement. Lesdits propergols sont prêts à répondre aux défis d'aujourd'hui, défis économiques bien sûr...mais aussi écologiques, notamment en éliminant des produits de combustion les éléments nocifs (HCl, Al_2O_3 ,...). Pas de raison d'en douter. ☺



Daniel Reydellet
IGA

Affecté d'abord au Service des Poudres, Daniel Reydellet a conduit à la DGA les programmes de propulseur des premières générations de missiles balistiques. Ensuite directeur de programme MSBS, puis directeur des programmes de constructions neuves à DCN, il a été directeur des programmes de la DGA avant d'être nommé Directeur des centres d'expertise et d'Essais. Il dirige actuellement un cabinet de conseil, intervenant dans les domaines technique, organisation et stratégie.



SATELIT ODYSUR

TRANSPORT • DOUANE • LOGISTIQUE



02 48 23 60 00

satelitodysur@satelitodysur.fr

165 rue Louis Mallet - 18000 Bourges

www.transport-matiere-dangereuse.fr



POLE TECHNIQUE MAN, DES RESPONSABILITES MULTIPLES ET EXIGEANTES

INTERVIEW DE PASCAL MARCHANDIN, ICETA



Propos recueillis par Dominique Monvoisin, JGA

Pascal Marchandin (ENSTA Bretagne), a exercé différentes responsabilités en lien avec la pyrotechnie, les munitions et les missiles au sein de la DGA et au sein du MSIAC à l'OTAN. Il a en outre apporté sa contribution à la création de la SIMMT en 2010 et à la transformation du SIAé.

La CAIA : Vous assurez la responsabilité du pôle technique MAN au sein de la DGA. Comment définiriez-vous les principales facettes et les enjeux majeurs de ce poste ?

Pascal Marchandin : Le pôle de compétences MAN (Missiles Armes et munitionNs) regroupe au sein de la DGA plus de 800 personnes, dans des profils d'architectes ou d'experts, intervenant au profit des directions de programmes de la DO (direction des opérations) ou dans divers profils liés aux essais au sein des centres d'essais ; ce pôle couvre de nombreux métiers relatifs principalement aux missiles, tactiques comme stratégiques, aux armes et munitions ainsi qu'à la propulsion, la pyrotechnie, aux matériaux énergétiques de défense, à la sécurité pyrotechnique et à la sûreté nucléaire.

Je me dois ainsi de mettre à disposition les bonnes compétences techniques au bon moment pour satisfaire les besoins des programmes, et de les anticiper au regard des besoins futurs.

Je dois également élaborer, en coordination avec l'Agence de l'innovation de Défense et les entités impliquées de la DGA, la politique technique du domaine à moyen et

long termes, notamment dans la perspective de l'étude ou du développement de nouveaux systèmes d'armes, par exemple au travers de la montée en maturité d'un nouveau matériau énergétique. Cette politique est ensuite présentée au délégué et formellement approuvée par lui.

J'exerce par ailleurs deux responsabilités qui dépassent le cadre de la DGA : d'une part, celle d'autorité technique en charge – au-delà d'un avis sur la sécurité des personnes et des biens pour tout système pyrotechnique développé par la DGA – de valider, notamment sous l'angle de la sécurité pyrotechnique, l'emploi par les forces armées, les forces spéciales ou les unités NEDEX, de munitions et explosifs acquis en dehors de la DGA ; d'autre part, celle d'homologuer des matériaux énergétiques pour emploi dans les munitions françaises, fabriqués en France ou à l'étranger.

La CAIA : Qu'est-ce qui vous a le plus surpris depuis 2 ans dans cette fonction ?

PM : Mon expérience la plus marquante s'est déroulée au sein de l'OTAN dans l'actuel MSIAC (Munitions Safety Information Analysis Center), dédié à la sécurisation des

munitions. Elle m'a permis pendant 6 ans de côtoyer les meilleurs experts mondiaux du domaine et de montrer que la France pouvait, du fait de ses compétences étatiques et industrielles, jouer un rôle de premier plan sur le sujet.

J'ai progressivement appréhendé l'étendue d'un domaine que je n'imaginai pas aussi vaste et surtout j'ai pris conscience d'exercer cette responsabilité à un moment historique où des évolutions majeures se profilent, avec en particulier l'arrivée de l'hypervélocité, de munitions téléopérées, ou de drones armés ou munitions en essaim.

La CAIA : A quelles évolutions significatives doit-on s'attendre dans ce domaine dans les années à venir ? Y-a-t-il encore de la place pour l'innovation ?

PM : S'agissant des charges militaires, après plusieurs années d'effort sur leur muratisation¹, les besoins opérationnels conduisent à privilégier la recherche de performances, alliées à des objectifs d'insensibilisation. Les prochaines charges utiliseront des explosifs tout à la fois moins sensibles et performants, et la technologie des éclats réactifs deviendra envisageable.

¹ : Ce terme, dérivé du mot MURAT pour MUnitions à Risques Atténués, caractérise la réduction de la sensibilité des munitions aux agressions accidentelles (incendie, ...) ou délibérées (impact par balle, ...)

Pour ce qui est de la propulsion tactique à courte et moyenne portée, la modulation de poussée (voir l'article du magazine) bientôt accessible avec des propergols solides permettra une plus grande compacité et une meilleure manœuvrabilité du missile.

Concernant les missiles à longue portée, leur vitesse va s'accroître et la projection d'un futur missile antinavire supersonique avec statoréacteur de type ramjet est un impératif.

Les munitions futures seront guidées, téléopérées mais devront être à bas coût.

Pour résumer, du fait de notre environnement de défense qui évolue fortement et très vite, la recherche à la fois de vitesse, de portée, de manœuvrabilité et de performances va guider le futur du domaine missiles et munitions. Enfin, face à des menaces potentielles de type essais de drones kamikazes, le canon a encore de beaux jours devant lui.

La CAIA : Doit-on s'attendre à des inflexions en matière de souveraineté nationale ou européenne ?

PM : La conception, le développement, la production et le MCO des missiles à haute valeur opérationnelle ou considérés de souveraineté nationale sont et devront rester totalement sous maîtrise nationale ; avec la crise sanitaire récente et la guerre en Ukraine nous allons réinterroger notre politique actuelle, en précisant à nouveau ce qui peut être partagé, délégué au niveau européen ou ce qui doit rester sous maîtrise exclusivement nationale.

Mais l'Europe de la défense reste toujours présente dans nos décisions dans la mesure où c'est bien là que se situe l'avenir de la filière missiles. Le système d'armes Twister, appelé à succéder au système Aster actuel, ne deviendra une réalité que sous la bannière européenne, avec un premier niveau de coopération qui se dessine notamment entre l'Allemagne, l'Italie et la France.

Dans le domaine industriel, le projet Phenix, élaboré par Eurenco pour son site de Sorgues en vue de moderniser son outil de production d'ex-

plosifs, devrait être décidé après des années de retards, et le ministère des armées prendra sa part dans le financement correspondant.

La CAIA : Comment sont prises en compte les préoccupations environnementales, lors de la fabrication et en fin de vie, lors de l'élimination de ces produits pyrotechniques ?

PM : Depuis les années 2000, une norme OTAN spécifique (STANAG) demande que les exigences liées à la démilitarisation d'une munition soient intégrées lors de son développement, sachant que la réglementation européenne REACH nous contraint par ailleurs à traiter de nombreuses évolutions de matériaux, dans le cadre du développement ou de la production d'un produit pyrotechnique.

En termes de réduction de l'empreinte environnementale du domaine, nos industriels, qui sont tous certifiés ISO 14001, inscrivent leurs actions dans la récupération, la réutilisation, ou le recyclage (R3) des produits nécessaires à la réalisation de ces objets pyrotechniques. ArianeGroup met ainsi en œuvre de façon industrielle, un procédé d'élimination de propergols par l'action de bactéries appropriées. L'utilisation prochaine des microréacteurs et des procédés Résonance Acoustique Magnétique (RAM) en production pyrotechnique va, quant à elle, contribuer à réduire la consommation énergétique de leur production ainsi qu'à limiter fortement les déchets.

La CAIA : Est-il possible de conserver demain au sein de l'Etat et de la DGA, une expertise réelle sur un domaine aussi vaste et comment l'entretenir et la pérenniser ?

PM : Tout d'abord la DGA fait partie des organismes qui suscitent un réel intérêt auprès des jeunes qui souhaitent travailler dans des métiers liés à la pyrotechnie et aux missiles et munitions, et à ce titre le pôle MAN demeure attractif. En complément de ses propres ressources, la DGA fait aussi appel à des compétences étatiques de haut niveau qu'elle finance, au sein de l'ONERA (statoréacteur, aérodyna-

mique, propulsion) et du CEA/DAM/Gramat (défense conventionnelle – expertise létalité des têtes militaires).

De façon à renouveler et pérenniser les compétences d'expert ou d'architecte au profit des directions de programme, quelques jeunes ingénieurs militaires peuvent, en sortie d'école ou après un premier poste à la DGA, acquérir une expérience complémentaire de deux ans dans l'industrie des missiles et de la pyrotechnie. Ainsi, cet été, la DGA réintégrera 5 ingénieurs qui auront bénéficié de cette expérience au sein de MBDA, ArianeGroup et EURENCO.

Les ingénieurs peuvent occuper successivement jusqu'à trois postes techniques sur 10 ans en moyenne au sein du pôle MAN, et passer d'une fonction d'expert avec différents niveaux accessibles, à une fonction d'architecte ; les ingénieurs civils peuvent pour leur part accéder à des postes d'expert sur un domaine pointu, voire d'expert technique de très haut niveau (ETHN) avec une vision transverse des domaines d'expertise indispensables pour un missile ou une munition.

Pour avoir la qualification et la reconnaissance d'expertise à un haut niveau, un ingénieur doit montrer une bonne maîtrise de son domaine d'intervention et présenter devant un jury ad-hoc un mémoire et un programme de travaux de développement de ses connaissances sur 5 ans dans le domaine concerné. Son expertise s'entretient et se parfait par la suite, dans le cadre des échanges qu'il peut avoir avec d'autres experts étatiques ou industriels, au niveau national et international, ou de ses responsabilités d'élaboration de programmes d'études amont.

En recrutant ses futurs grands experts et architectes, principalement à Polytechnique, l'ENSTA (Bretagne et Paris) et à l'ISAE, la DGA, grâce à l'attractivité du domaine et à la politique de ressources humaines qu'elle pratique, reste confiante dans sa capacité à conserver une expertise de haut niveau, à même de satisfaire les besoins futurs de ses programmes et opérations d'armement. ☺

DÉTONIQUE ET EFFETS DES CHARGES CONVENTIONNELLES AU CEA-GRAMAT

Par Julien Grunenwald, ICA, et Patrick Aubourg, CEA DAM

Depuis l'origine, le Centre d'Etudes de Gramat (CEG), aujourd'hui CEA-Gramat, a développé ses compétences et son expertise en détonique, vocable regroupant l'ensemble des études sur la physique des explosifs et leurs effets, via une démarche scientifique alliant modélisation, simulation numérique et validation expérimentale. Cette expertise unique est notamment mise au profit de la Défense pour l'évaluation souveraine de l'efficacité des armements conventionnels.

CEG : une histoire singulière

La géologie particulière du Lot a conduit l'État, à la fin de la seconde guerre mondiale, à envisager l'utilisation du gouffre de Bèdes près de Gramat comme site d'essais. Initialement imaginé pour tester les moteurs des fusées V2 récupérées en Allemagne, le site a finalement été dédié à la réalisation d'expériences de détonique indispensables pour la compréhension et la maîtrise de la phase pyrotechnique initiale du fonctionnement d'une arme nucléaire. Site expérimental de la Section atomique de la Direction des Etudes et Fabrications d'Armements (DEFA, ancêtre de la DGA) dès 1951, le CEG est officiellement créé le 31 décembre 1959.

Parallèlement, à partir de 1965, débutent les activités de durcissement. Il s'agit d'étudier la tenue des matériels et installations aux effets militaires des explosions nucléaires : effets de souffle puis effets thermiques, élargis aux effets électromagnétiques à partir de 1975. A la fin des années 70, le CEG a ainsi développé de nombreux outils de simulation numérique et de validation expérimentale. Naturellement, ils sont alors exploités pour des applications conventionnelles, les compétences scientifiques associées étant duales.

Transfert du centre vers le CEA et élargissement de son champ d'expertise

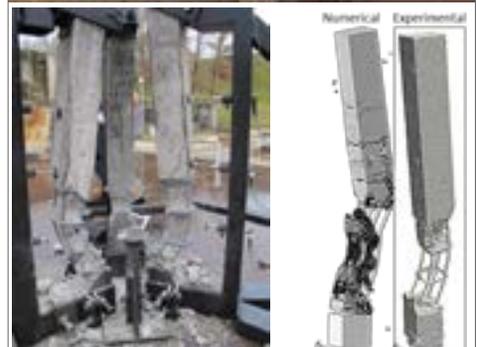
Dans le cadre de la révision générale des politiques publiques, le CEG et

ses activités d'expertise sont transférés le 1^{er} janvier 2010 de la DGA au CEA et rattachés à Direction des Applications Militaires.

Au-delà des activités sur le nucléaire de défense, les activités d'assistance à maîtrise d'ouvrage auprès de la DGA et d'expertise étatique au profit de la Défense dans le domaine conventionnel sont désormais conduites dans le cadre d'une convention CEA/DGA qui couvre deux domaines : les charges militaires et les armes à énergie dirigée, électromagnétique ou laser. Cette activité constitue désormais une nouvelle mission du CEA/DAM.

L'action du centre porte à la fois sur l'évaluation de l'efficacité des armements et sur la vulnérabilité de systèmes d'armes ou d'infrastructures face à leur emploi potentiel.

Au travers d'une démarche concertée, prospective et structurée avec la Défense, le CEA-Gramat participe à la préparation de l'avenir en aidant à la spécification des charges des futurs armements pour les dimensionner au regard des effets recherchés. Il apporte également aux forces armées son expertise pour les armements en service en vue

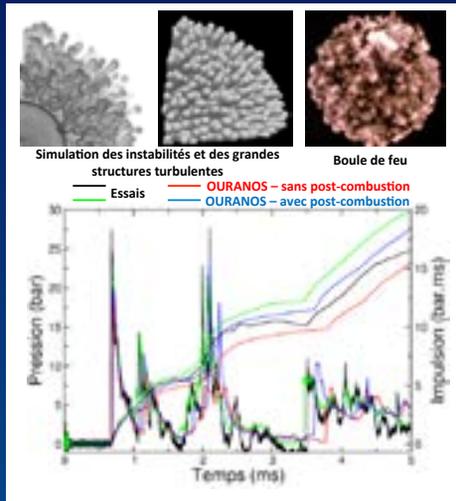


Comparaison expérience/simulation pour une configuration de détonation d'une charge explosive à proximité d'éléments structuraux de type poteaux en béton armé.

d'anticiper et de maîtriser leur emploi sur les théâtres d'opérations.

Dédié historiquement au domaine des armements du combat aérien (missile de croisière, missiles air/air, bombes d'aviation...), et sur demande de la DGA, le domaine d'action est élargi en 2021 au domaine aéroterrestre. Le CEA-Gramat devient en conséquence le centre d'expertise étatique pour l'ensemble des armements conventionnels en service ou en développement.

Modélisation des explosifs à effets de souffle renforcés (thermobariques)



Les phénomènes de post-combustion (combustion anaérobie d'additifs métalliques en aval du front de détonation et combustion aérobie de ces additifs et des produits de détonation avec l'oxygène de l'air) peuvent représenter jusqu'à trois fois l'énergie de détonation pour les explosifs thermobariques. Leur modélisation est donc essentielle. Des simulations fines d'écoulements turbulents de type Large Eddy Simulation ont permis de comprendre et modéliser la zone de mélange située en bordure de la boule de feu, siège d'instabilités hydrodynamiques pilotant le mélange air-produits de détonation. Un modèle réduit de mélange turbulent a ainsi été implémenté dans OURANOS pour améliorer la simulation de la post-combustion des produits de détonation. Les travaux de recherche se focalisent désormais sur la modélisation de la combustion des additifs métalliques.

La plateforme de simulation des effets des charges conventionnelles

Pour entretenir et développer son expertise dans le domaine des charges conventionnelles, le centre adopte une démarche de simulation – démarche scientifique itérative de modélisation physique, de simulation numérique et de validation expérimentale inspirée de celle qui est mise en œuvre au profit des armes nucléaires. Cette démarche

est basée sur l'utilisation d'une plateforme de simulation pour l'expertise des effets et de la vulnérabilité des systèmes.

Tout d'abord, les modèles physiques, décrivant les mécanismes d'amorçage des explosifs, la propagation de la détonation et le comportement dynamique des matériaux connexes, sont affinés et calibrés en s'appuyant sur des expérimentations maîtrisées et fortement instrumentées, utilisant des métrologies de pointe pour mesurer précisément des phénomènes ultra-rapides et extrêmes. Pour ce faire, le centre dispose de « dalles pyrotechniques » permettant de mettre en œuvre plusieurs dizaines de kilogrammes d'explosif, ainsi que des lanceurs permettant de couvrir une large gamme de sollicitations. Les enjeux principaux concernent la compréhension des phénomènes de transition réactive des explosifs sous sollicitations mécaniques ou thermiques, de post-com-

bustion (cf. encadré) et de fragmentation dynamique des matériaux connexes.

Ensuite, ces modèles sont intégrés dans des logiciels de simulation numérique. Deux codes de référence sont notamment développés au CEA/DAM et mis à la disposition de la communauté Défense : le code de thermochimie SIAME, permettant de décrire l'explosif et l'état de ses produits de détonation, et

le code de dynamique rapide OURANOS, permettant de simuler le fonctionnement d'une charge conventionnelle ou l'interaction d'une munition avec sa cible.

L'exploitation maîtrisée de ces logiciels sur des moyens de calcul « hautes performances » permet de traiter des situations de plus en plus complexes et de mieux concevoir les configurations expérimentales capables d'apporter les validations ou les démonstrations souhaitées. Le nombre de configurations d'essais de qualification peut ainsi être limité au strict nécessaire.

L'expertise du centre en détonique, essentielle pour la Défense, couvre un vaste ensemble de compétences dans des domaines scientifiques et techniques passionnants dont nous ne pouvons qu'encourager les jeunes IA à en appréhender certaines facettes à l'occasion d'une période d'ouverture au CEA-Gramat. ☺



Patrick Aubourg,
Chef de projet –
CEA/DAM

Issu de l'Ecole de l'air (promotion 1980) et après 30 ans de carrière au sein de l'armée de l'air, Patrick Aubourg rejoint la Direction des applications militaires du CEA en 2010 pour piloter, en tant que chef de projet, l'ensemble des activités d'expertise au profit de la DGA dans le domaine des effets des armements conventionnels.



Julien Grunenwald,
ICA – CEA/DAM
Gramat

X2001, Julien Grunenwald débute sa carrière au Centre d'Etudes de Gramat où il occupe différents postes dans le domaine du durcissement des systèmes stratégiques puis du comportement dynamique des matériaux. Il est actuellement adjoint d'un service d'expertise portant sur la détonique et les effets mécaniques et thermiques des armes.

LES ESSAIS PYROTECHNIQUES À DGA ESSAIS DE MISSILES

UN SAVOIR-FAIRE AMÉLIORÉ ET MAÎTRISÉ DEPUIS PLUS DE 60 ANS

Par Nicolas Honorat, IPETA

DGA Essais de missiles, centre référent pour les essais au sol et en vol de systèmes de missiles, réalise à la fois les essais en vol de système d'armes dans tous les milieux (terre, air, mer et sous-marin) et les essais au sol (en statique et en dynamique), le tout en assurant la sécurité des personnes, des biens et de l'environnement. Il est implanté sur 3 sites principaux : Biscarrosse (40), Toulon-Ile-du-Levant (83) et Saint-Médard-en-Jalles (33).

Ce centre met en œuvre et réalise au quotidien des essais pyrotechniques au sol avec la possibilité de simuler certaines ambiances de vol¹, qui sont indispensables dans le développement et le suivi en service des missiles stratégiques et tactiques de la Défense. Ils contribuent à la fois à la sécurisation et à l'évaluation de la vulnérabilité des munitions ainsi qu'à l'évaluation de leurs performances.

Tous ces essais font appel à des techniques particulières de pyrotechnie ainsi qu'à une excellence dans l'expertise des objets pyrotechniques, un savoir-faire amélioré et maîtrisé par DGA Essais de missiles depuis plus de 60 ans.

« Mener des essais avec la matière pyrotechnique, c'est un défi au quotidien, que ce soit pour les essais au sol ou les essais en vol. Notre métier à DGA Essais de missiles demande une rigueur remarquable et des compétences techniques et managériales fortes pour accompagner les équipes, et faire en sorte que chaque essai réponde aux exigences des clients tout en maintenant une priorité majeure : la sécurité des personnes et des biens. C'est grâce à l'expertise et à la passion de chacun des personnels de DGA Essais de missiles que



Tir « tuyère vers le bas » d'un premier étage M51

nous sommes un centre référent en Europe en matière d'essais pyrotechniques. », précise l'IGA Corinne Lopez, Directrice de DGA Essais de missiles.

Plus de 30 tonnes de propergol à maîtriser

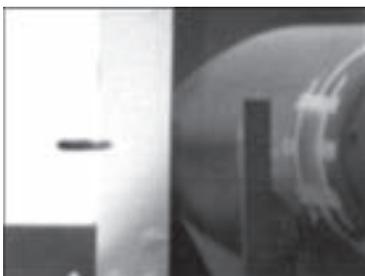
En 2021, DGA Essais de missiles (DGA EM) a réalisé un essai sur un premier étage propulsif du M51. Cet essai nécessite des manipulations pyrotechniques exceptionnelles compte tenu des caractéristiques de l'engin : plus de 30 000 kg de propergol qui développent une poussée de plus de 100 tonnes, pour plus d'une minute de fonctionnement avec un flux thermique à plus de 3 500K.

La réalisation d'un tel essai au banc dans une configuration proche d'un départ missile nécessite donc une approche méthodologique rigoureuse. Chaque personnel intervenant dans le périmètre proche de ce propulseur est habilité en pyrotechnie suivant son degré d'intervention tout en respectant des procédures strictes. Avant toute intervention, chaque opération est décrite dans une analyse de sécurité. Après transfert physique du spécimen fourni par ArianeGroup (AGS) vers DGA EM en présence des contrôleurs qualité et pyrotechniciens, les opérateurs de DGA EM interviennent alors pour préparer le propulseur : équipement mesures (traçage, préparation de surface, collage de plus de 600 capteurs), équipement d'un harnais mécanique pour réaliser le transport jusqu'au pas de tir. Le convoi routier pour acheminer le propulseur équipé est exceptionnel avec son gabarit « hors norme » (masse = 250 tonnes, 28 m de long et 4 m de large). Après un cycle de préparation de 4 à 6 mois sur le banc d'essai et son conditionnement climatique, le jour J arrive enfin. Un pyrotechnicien procède au montage final des inflammateurs, dernière barrière physique de la chaîne de mise à feu. « 3,2,1, mise à feu », le tir est initié et piloté à distance à plus de 1 km du pas de tir, depuis le poste

1 : Voir encart sur le Moyen d'Essai en Simulation d'Altitude (MESA)



Essai d'échauffement lent sur propulseur



Essai impact de balle sur propulseur

de conduite de tir où près de 1000 mesures sont envoyées. Certaines de ces mesures, dites innovantes, ont d'ailleurs été développées par DGA EM (voir plus bas).

Au total, pour un essai de cette nature, les personnels de DGA EM interviennent à hauteur de 19 000 heures. Les compétences mises en œuvre sont complexes et très diverses : pyrotechniques, mesures physiques, mécanique, optique, optronique, météorologique, climatique, hydraulique, management, informatique, transport...

Ces essais majeurs pour la Défense sont une fierté pour les équipes.

« Arrivée en 1991 à l'âge de 25 ans au CAEPE (Centre d'Achèvement et d'Essais de Propulseurs et Engins) »

- raconte Françoise, pyrotechnicienne et responsable d'essais à DGA Essais de missiles, « j'ai eu la chance de connaître le début du démantèlement M45 en même temps que l'arrivée des essais de muratation. De bons souvenirs lorsque les pyrotechniciens de Toulon sont venus avec moi pour s'assurer de la respirabilité du banc d'essai après tir; nous étions munis d'un appareil respiratoire isolant (communément dénommé ARI) avec chacun 2 bou-

teilles d'oxygène dans le dos, c'était une première pour moi ! (Contrairement à eux qui avaient l'habitude) jusque-là rien de compliqué a priori sauf que j'ai consommé les 2 bouteilles d'oxygène quand ils n'avaient pas fini d'utiliser leur 1ère !!! Être pyrotechnicien n'est pas forcément commun car nous ne sommes pas très nombreux à exercer ce métier et être pyrotechnicienne l'est encore moins... »

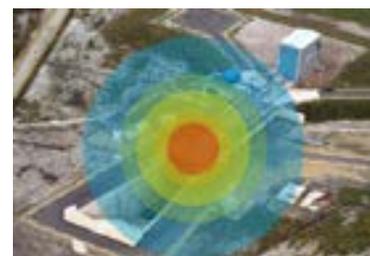
Unique centre français labellisé OTAN pour les essais de sécurité

Dans le cadre de ses activités, DGA EM site Gironde est l'acteur référent dans l'évaluation de la vulnérabilité des munitions face à des agressions accidentelles ou malveillantes pouvant intervenir durant leur vie opérationnelle. Le site est labellisé OTAN dans la politique MURAT (concept OTAN visant à s'assurer d'une vulnérabilité faible des munitions) et contribue à l'homologation au transport des munitions en soutien de l'inspection des poudres et explosifs. Pour répondre à ces objectifs, il s'agit par exemple de tester la réaction d'une munition lorsqu'un incendie se déclare dans une soute, lorsqu'elle chute lors d'opérations de manutention ou lorsqu'est impactée par un projectile. Certains de ces essais permettent de s'assurer que l'objet pyrotechnique est suffisamment sûr pour être transporté par voie routière. En complément, DGA EM dispose d'outils et de compétences pour simuler numériquement chaque type d'agressions et ainsi contribuer à l'évaluation des effets occasionnés.

Ces essais de sécurité mobilisent les équipes pyrotechniques de DGA EM, qui interviennent en amont (préparation des munitions, configuration du moyen d'essai), pendant l'essai (mise à feu notamment) et après l'essai (cartographie des projectiles et élimination éventuelle des matières pyrotechniques).

Vincent, pyrotechnicien à DGA Essais de missiles en témoigne :

« Au cours de mes études, lorsqu'il a été question d'orientation, je savais qu'un métier alliant réflexion et pratique serait fait pour moi. Le domaine de la pyrotechnie m'a permis d'acquérir des compétences spécifiques et m'ouvre de belles perspectives. DGA EM me permet d'accroître mes connaissances dans ce domaine grâce au large panel d'activités (vieillessement, expertise, essai tactique et balistique...). Maintenant, pouvoir porter et suivre des projets de la toute première réunion jusqu'au traitement final du spécimen donne vraiment un sentiment de satisfaction et d'apporter une pierre à l'édifice des différents programmes nationaux. Et je suis fier d'appartenir au cercle restreint des pyrotechniciens, c'est vraiment un métier à part ! »



La simulation en appui de la sécurité pyrotechnique

La sécurité des biens et des personnes est la première priorité de DGA EM. Pour assurer cette sécurité, et en conformité avec la réglementation en vigueur, bon nombre de mesures sont mises en place face aux différents risques liés aux essais. A ce titre, des simulations réalisées en interne viennent en appui de la sécurité pyrotechnique. Ainsi, face aux risques d'explosion, qu'elles soient accidentelles ou provoquées lors des essais de sécurité, la réglementation française nous impose de définir des zones d'effets pyrotechniques qui délimitent les périmètres de sécurité. Cette réglementation autorise par ailleurs le recours à l'évaluation quantitative du risque (EQR). C'est cette voie qui a

Tirs dynamiques au rail, un environnement d'essai unique en Europe



DGA Essais de missiles site Landes dispose d'un vaste complexe d'essais sol sécurisé et instrumenté comportant deux rails d'essais dynamiques et les moyens capables de faire atteindre à des charges militaires de plusieurs tonnes des vitesses relevant du domaine aéronautique (subsonique et supersonique).

Tous les types de charges militaires, qu'elles soient inertes ou actives, peuvent être évalués au sol avant leur intégration dans le système d'arme utilisateur. Il est ainsi possible de visualiser le comportement de ces dispositifs, en mesurer les performances puis les qualifier dans des conditions réalistes et maîtrisées.



Des essais pyrotechniques en simulation d'altitude



DGA Essais de missiles site Gironde dispose d'un moyen unique en Europe occidentale lui permettant de réaliser des essais sur des 3^e et 4^e étages propulsifs du M51 en vol simulé. L'objectif du banc d'essai MESA (Moyen d'Essai en Simulation d'Altitude) est de recréer les conditions de vol rencontrées par les propulseurs hors atmosphère, jusqu'à 50km d'altitude.

Le fonctionnement est assez simple : il s'agit de faire le vide dans un caisson, dans lequel est installé le propulseur, grâce à l'effet venturi. Fonctionnement simple certes, mais les essais pyrotechniques en simulation d'altitude sont complexes à mettre en œuvre et témoignent des savoir-faire uniques

d'augmenter le catalogue des mesures pour les besoins des essais, DGA EM a mis en place une entité de recherche et développement de nouvelles techniques de mesures. Elle a pour vocation de monter en maturité des techniques qui permettront une visualisation du comportement d'un propulseur, que ce soit pour des applications externes ou internes au moteur afin d'améliorer, entre autres, les codes de prédiction des performances propulsives.

Les objectifs principaux de l'innovation dans l'instrumentation sont l'amélioration des performances de capteurs, l'amélioration de leur mise en œuvre et la miniaturisation afin de pouvoir intégrer les technologies dans des endroits non accessibles de nos jours. En terme de rupture technologique, on pourra citer la mesure de l'érosion d'un col de tuyère ou bien la mesure de phénomènes physiques à l'intérieur d'un moteur, sans fil. Dans le domaine de la mise en œuvre des chaînes de mesures, certains capteurs nécessitaient 48h pour être installés correctement ; aujourd'hui ils ont été remplacés par des capteurs que nous collons en 1 minute ! ».

Ces techniques développées par DGA Essais de missiles montrent une des voies d'innovation intrinsèque au centre et cette expertise a également été mise à profit dans le domaine spatial. ☺

été entreprise par DGA EM avec le développement en interne des logiciels CRONOS (explosion au banc d'essai, logiciel validé sur essais échelle 1) et EVREST (explosion en configuration de stockage, logiciel issu des meilleures méthodologies de l'OTAN). Ainsi, en tenant compte des propriétés explosives particulières de nos munitions et de leurs conditions spécifiques de mise en œuvre, DGA EM procède à chaque fois à la modélisation du danger la plus pertinente possible et favorisant une gestion des coactivités optimale tout en garantissant la sécurité des biens et des personnes.

« Véritable fil rouge de ma carrière d'expert à la DGA » précise Yanick Garcia, Expert DGA Essais de mis-

siles en vulnérabilité des missiles, concepteur des logiciels CRONOS et EVREST, « les effets pyrotechniques des explosions de propulseurs et de charges militaires, et en particulier les travaux de modélisation relatifs aux projections d'éclats, bien qu'initiés il y a plus d'une trentaine d'années, restent d'une modernité remarquable vis-à-vis de la sécurité des biens et des personnes. »

Innovation en matière de mesures

Témoignage de François, responsable des mesures innovantes à DGA Essais de missiles :

« Appréhender les phénomènes physiques lors d'un essai au banc passe automatiquement par une qualité sans faille de la mesure. Afin



Nicolas Honorat,
Responsable de la
division Expertise
Programmes à
DGA Essais de
missiles

L'IPETA Nicolas Honorat a débuté sa carrière DGA au Centre d'Analyse Technico-Opérationnelle de Défense, puis a rejoint la direction technique où il a contribué aux travaux amont du SCORPION et à la qualification/mise en service opérationnelle du Lance-Roquettes Unitaire. Il rejoint ensuite le service industriel de l'aéronautique en tant que responsable du programme TP400 (moteur de l'A400M). En 2021, il prend la tête de la division expertise programmes à DGA Essais de missiles

CRÉER LES PYROTECHNICIENS DE DEMAIN

ENSTA BRETAGNE : UNE FORMATION UNIQUE AU SERVICE DE LA DÉFENSE

Par Bruno Gruselle, ICA

La formation d'ingénieurs pyrotechniciens d'ENSTA Bretagne est unique en France. Elle porte sur la connaissance des phénomènes physiques rapides, ondes de choc et détonation, et comprend les aspects réglementaires. Cette formation est adossée à une équipe de recherche qui travaille au quotidien avec les acteurs industriels et institutionnels du domaine.

Depuis sa création en 1971, ENSTA Bretagne forme des ingénieurs généralistes notamment pour la défense. Si elle est connue pour ses cursus dédiés à l'architecture navale, à l'hydrographie ou aux systèmes embarqués, l'école propose également depuis sa création un parcours sur les « systèmes pyrotechniques ». Chaque promotion compte une vingtaine d'ingénieurs pyrotechniciens, dont certains sont ingénieurs des études et techniques de l'armement. L'école accueille également des ingénieurs de l'armement de l'Ecole polytechnique en année d'application dans ce domaine.

Une filière unique dont le caractère stratégique est universellement reconnu

Recrutés sur le concours commun Mines-Télécom, adossé au concours commun Mines-Ponts, les élèves du cursus « systèmes pyrotechniques » se préparent à l'analyse et à la conception de systèmes explosifs ou à combustion rapide destinés à être intégrés dans des systèmes mécaniques afin, par exemple, de générer leur propulsion. Ils reçoivent également des enseignements, prodigués par des professionnels des entreprises, du commissariat à l'énergie atomique ou de la DGA, portant sur la sécurité des installations pyrotechniques.

Les applications de ces enseignements couvrent la défense, l'aérospatiale (propulseurs de fusée, déploiement de satellites), l'automobile (airbags), les travaux publics ainsi que la prévention des risques industriels.

La demande de ces différents secteurs industriels, tout comme celui de la direction générale de l'armement ou du CEA, pour des ingénieurs pointus ayant une vocation opérationnelle immédiate s'avère forte. Il lui répond un engouement constant des élèves qui intègrent ENSTA Bretagne pour une filière dont ils identifient immédiatement le caractère stratégique. Nombreux sont celles et ceux qui aspirent à la rejoindre pour « concevoir des fusées ou des avions ». Mais tous y reconnaissent une spécialité d'exception dont les applications sont essentielles pour l'industrie française et les forces armées.

Une formation d'excellence adossée à une recherche originale au service des acteurs du secteur

Les enseignants-chercheurs qui interviennent dans cette formation mènent des recherches sur les matériaux énergétiques, plus écologiques et plus sûrs pour leurs utilisateurs ainsi que sur l'atténuation des effets de souffle et d'impacts pour protéger les personnes, l'environnement ou encore les moyens engagés par les forces. Le traitement de ces problématiques est intégré au cursus et fait l'objet de travaux de recherche sur le campus, dans le cadre d'un laboratoire « unité mixte de recherche » du CNRS membre de l'institut Carnot ARTS : l'institut de recherche Dupuy de Lôme.

C'est par exemple le cas pour ce qui concerne l'atténuation des effets de détonations sous-marines par des rideaux de bulles. Depuis plusieurs années, les chercheurs de l'école

se sont intéressés à la modélisation de rideaux de bulles – comme, par exemple, Hervé Grandjean dans sa thèse « Atténuation des effets d'une explosion sous-marine par rideau de bulles » – précisément dimensionnés pour atténuer les conséquences des explosions sous-marines à la fois sur la faune mais aussi sur les systèmes déployés dans cet espace.

Les travaux de recherches sont réalisés en partenariat avec de nombreux organismes et entreprises françaises et internationales : école royale militaire de Belgique, Armasuisse, ISL, Nobel Sport, Livbag, SNECMA, Ariane Group, ou encore MBDA.

ENSTA Bretagne dispose pour cela d'importants moyens expérimentaux dédiés à l'étude des phénomènes rapides : machine de choc (compression, torsion et tension), canon de Taylor, barres d'Hopkinson, laser de puissance à impulsion. Depuis cette année, elle peut exploiter une zone pyrotechnique lui permettant de manipuler des matériaux énergétiques non détonants. ☞



Bruno Gruselle,
ICA
Directeur général
de l'école nationale
supérieure de
techniques
avancées Bretagne

L'auteur a exercé diverses fonctions dans le domaine des affaires stratégiques et de diplomatie de défense. Affecté à la FRS, il est l'auteur de nombreuses études sur la prolifération des missiles, la défense antimissiles et la cybersécurité. Il a été conseiller diplomatique adjoint puis conseiller pour les affaires industrielles de Jean-Yves Le Drian de 2013 à 2017. Il est directeur général d'ENSTA Bretagne depuis 2020.

MENACE LIÉE AUX EXPLOSIFS

UNE APPROCHE INTERSERVICES EFFICACE ET DURABLE

Par Augustin Baulig et Sylvain Barrot

Dans le domaine de la menace liée à l'emploi d'engins explosifs improvisés (EEI) utilisant des matières actives commerciales ou de fabrication artisanale, la France s'est dotée depuis 2008 d'un outil innovant pour en réaliser la caractérisation technique, outil qui s'incarne dans un groupe de travail piloté par le secrétariat général de la défense et de la sécurité nationale (SGDSN).



Fig. 1 : exemples de précurseurs de MAFA facilement accessible sur Internet

Ce groupe associe des services de renseignement, des services de déminage et de police technique et scientifique, le laboratoire central de la Préfecture de police de Paris (LCPP) ainsi que les grands laboratoires nationaux experts dans le domaine des explosifs issus notamment de la direction générale de l'armement (DGA) et du commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), ainsi que l'institut de recherche franco-allemand de Saint-Louis (ISL).

Les objectifs principaux de ce groupe sont d'identifier et d'analyser les procédés artisanaux de fabrication de matières actives, d'analyser les modes opératoires de mise en œuvre de ces matières et d'essayer de détecter les signaux faibles de la menace future dans ce domaine. Le groupe peut également conseiller les opérateurs de terrain en cas de découvertes ou de saisies de produits lors d'actions préventives de nos services spécialisés.

La majorité des travaux concerne les matières actives de fabrication artisanale (MAFA) qui semblent

exercer une fascination sur une certaine partie de la population. Passés les mythes et autres fausses informations, de quoi parle-t-on ? Les MAFA sont toutes les matières actives qui peuvent être fabriquées plus ou moins facilement à partir de produits accessibles à

tout un chacun dans le commerce (fig. 1) permettant ainsi de contourner les réglementations existantes destinées à limiter l'accès aux matières actives ou à leurs précurseurs.

La fabrication de telles matières est bien évidemment interdite et parfois délicate mais cela n'empêche pas certains de s'y frotter. Qui a donc intérêt à se plonger dans ces manipulations qui peuvent se révéler dangereuses pour soi comme pour les autres ?

Les profils sont assez variés et les dernières années, des motivations différentes ont pu mettre en évidence. Si certains semblent réaliser ces matières dans un but « ludique », comme les chimistes amateurs qui se mettent au défi ou les pratiquants d'airsoft ou de paintball, d'autres le font dans un but malveillant pour mener à bien des actions de banditisme voire des actes à caractère terroriste (fig. 2 et 3). Pour ces derniers, il semblerait que cette pratique soit généralisée quelle que soit l'obédience d'appartenance, de l'ultra gauche à l'ultra droite, en passant par les survivalistes ou l'écoterrorisme sans



Fig. 2 : exemple de fabrication de MAFA par des adolescents

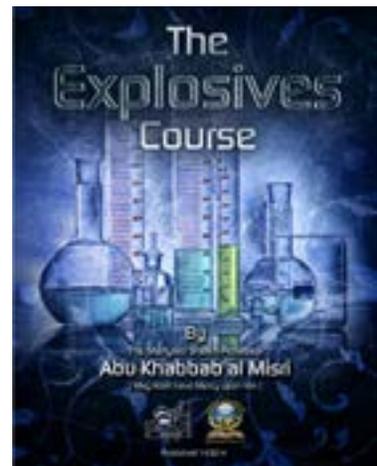


Fig. 3 : exemple de manuel jihadiste décrivant la fabrication de MAFA

oublier l'islamisme radical. La discrétion qui est de mise avec la réalisation d'actes malveillants convient parfaitement aux MAFA.

Les MAFA sont nombreuses et d'une grande variété ce qui fait de ce sujet un véritable défi pour la sécurité nationale (fig. 4). En fonction de la possibilité d'approvisionnement en précurseurs, de la sensibilité souhaitée, du mode de décomposition et du but recherché, la liste est aussi longue que celle du dictionnaire de la pyrotechnie en y ajoutant des produits ou mélanges exotiques. Il



Fig. 4 : exemples de différentes formes de MAFA

ressort tout de même que certaines matières sont plus souvent utilisées pour des raisons de facilité de synthèse ou d'efficacité. Les peroxydes sont bien évidemment en tête de liste dans nos pays européens mais ils ne sont pas les seuls.



Fig. 5 : exemple d'un laboratoire clandestin de fabrication de MAFA découvert en France lors d'une action préventive

Cet engouement impose aux différents services de l'état, notamment aux forces de sûreté intérieure qui sont les premières à intervenir, d'être vigilants. Ceci concerne tout d'abord les services de déminage mais aussi les groupes d'interventions ou les unités de secours qui sont, par la force des choses, moins sensibilisés à la problématique. La sécurité des personnels civils et militaires confrontés à ces produits impose une parfaite maîtrise technique des risques et donc une caractérisation fine de la menace. Cette caractérisation est aussi un outil important pour le recueil des preuves dans le cadre du traitement judiciaire des affaires où se retrouvent de tels produits (fig. 5).

Pour ces caractérisations, le SGDSN dispose de budgets dédiés pour financer les travaux des laboratoires. Les travaux financés permettent notamment de vérifier si un procédé de fabrication est fonctionnel ou

non, de déterminer les paramètres de sécurité pyrotechniques et les propriétés détoniques des matières actives et d'évaluer les effets des EEL d'intérêt. Ces financements ont également permis de faire évoluer les infrastructures d'essais des laboratoires partenaires pour conserver une capacité d'expertise sur toutes les matières actives, y compris les plus sensibles en termes de manipulation. Enfin, l'expertise ainsi entretenue a contribué à alimenter les travaux européens sur la réglementation de la commercialisation des précurseurs d'explosifs.

Les experts du groupe participent également à des coopérations internationales leur permettant d'avoir connaissance des menaces n'ayant pour le moment pas encore été observées sur le territoire national ou de conforter ses analyses en échangeant des résultats de tests avec de grands laboratoires étrangers de renommée mondiale.

Parmi les matières actives d'intérêt aujourd'hui, outre les MAFA au premier rang desquelles se trouve les explosifs à base de peroxydes, nous retrouvons les explosifs manufacturés qui peuvent faire l'objet de vols ou de trafics notamment via des filières spécialisées venant de l'étranger.

Les EEL identifiés en France sont souvent techniquement assez rudimentaires (fig. 6) mais utilisent de plus en plus des techniques de leurrage pour échapper aux contrôles mis en place par les autorités et intègrent désormais des systèmes de déclenchement largement employés dans



Fig. 6 : exemples d'EEL retrouvés en France

des zones de conflit extérieures au territoire national.

Tous ces travaux font appel à une expertise de pointe qui est finalement peu répandue en France mais qui participe largement à notre sécurité nationale. ☞



Augustin Baulig

Augustin Baulig est docteur en toxicologie, formation initiale qu'il a complétée par un cursus en pyrotechnie et en criminologie. En poste au SGDSN depuis 2008, il est chef du pôle d'analyse des risques et des menaces liées aux agents biologiques, chimiques et aux explosifs. Il anime notamment les travaux interministériels sur la caractérisation de la menace liée aux explosifs.



Sylvain Barrot

Sylvain Barrot est diplômé de l'ENSTA Bretagne. Ingénieur principal, il est adjoint au chef du laboratoire « intervention spécialisée et développement capacitaire » au LCPP (Laboratoire central de la Préfecture de police de Paris). Régulièrement engagé sur le terrain dans le cadre de l'activité opérationnelle du laboratoire, il est le représentant du LCPP au sein du groupe de travail piloté par le SGDSN.



DÉMINEURS À PARIS : TOUJOURS SUR LE PONT !

Depuis plus de 140 ans, le Laboratoire central de la préfecture de police (LCPD) apporte un appui scientifique et technique aux forces de sécurité intervenant à Paris et dans la petite couronne, sur une large palette d'activités, notamment les risques de type explosif, chimique et incendie : colis piégés, Bataclan, incendie de Notre-Dame de Paris, etc.

Comment une si petite structure (moins de 200 personnes) peut-elle relever ce défi et contribuer dans ces domaines à la préparation des JO de 2024 ? Entretien avec son directeur, Christophe Pezron.

Propos recueillis par Frédéric Tatout, ICA

Christophe Pezron, ICT, a exercé des responsabilités techniques (programme SECOIA), opérationnelles et de direction (CEB, SRTS et directeur adjoint des opérations) à la DGA avant de prendre la direction du LCPD en 2018.



Robot lourd de déminage dans la cour du labo

La CAIA : qu'est-ce qui permet au Labo d'être à la pointe sur des sujets comme le déminage et la menace incendie, biologique, chimique ou radiologique ?

Le Laboratoire central est une structure originale au sein d'une entité elle-même atypique, la Préfecture de Police, créée par Napoléon pour garantir la sécurité de tous dans le département de la Seine à l'époque, soit actuellement Paris et la petite couronne. Cette dimension reste d'actualité et le préfet, rattaché directement au ministre de l'intérieur, dispose de plus de 43000 agents dont 27000 policiers et 8500 sapeurs-pompiers.

A l'origine, on trouve le Laboratoire Municipal de Chimie, créé en 1878 sous l'égide du préfet Gigot pour réduire la fraude alimentaire qui perdurait depuis la Commune. Le directeur du Laboratoire, monsieur Girard, montre rapidement son efficacité malgré les critiques des contrevenants. Afin de les faire taire, le préfet de police crée un conseil scientifique auquel Louis Pasteur en personne participait.

Rapidement, le Laboratoire est chargé d'étudier en outre les incendies catastrophiques comme celui de l'Opéra-Comique ou du Bazar de la Charité. Il participe à l'élaboration de nouvelles réglementations pour la sécurité incendie dans les lieux recevant du public.

Les attentats anarchistes d'alors conduisent à une nouvelle extension des missions avec la création en 1893 du « service des explosifs », premier service de déminage civil en France. La mission de surveillance alimentaire sera transférée à la répression des fraudes en 1905, le Laboratoire

Municipal de Chimie conservant toutefois la responsabilité des analyses.

Cet historique est à l'origine de notre ADN : forte imbrication entre les activités de terrain, de laboratoire et les travaux scientifiques. Aujourd'hui, les interventions et enquêtes représentent 45% de notre activité, le laboratoire 40 %, et la prévention (incendie et pyrotechnie) pour 15%.

Nous assurons également trois permanences 24 heures sur 24, sur Paris et la petite couronne :

- la Permanence Déminage traite chaque année près de 2000 interventions sur des engins explosifs improvisés et des munitions, et 500 missions de sécurisation et prévention ;
- la Permanence Incendie Explosion, dont la mission est de déterminer les origines et la cause (flagrance) de ces sinistres, à la demande des officiers de police judiciaire (2 interventions par jour en moyenne – N.D de Paris et rue de Trévise par exemple) ;

L'organisation des JO 2024 sollicite plusieurs activités du LCPP.

En amont, cela concerne la sécurité incendie des infrastructures olympiques et des systèmes à usage de transport ainsi que la définition des stratégies de sécurisation des sites.

Pendant l'évènement, et après la phase de réception technique des bâtiments, nos équipes de permanence seront fortement sollicitées pour la sécurisation des sites au regard des menaces « explosifs » et RBC. Enfin, le point d'orgue de cette mobilisation sera la cérémonie d'ouverture, pour laquelle nous sommes consultés à plusieurs titres. D'abord concernant la sécurité incendie de l'évènement, puis en tant qu'acteur de la phase de sécurisation, à la fois terrestre et subaquatique, et, enfin par l'application de ses travaux de R&D, en termes de modélisation numérique des foules, pour identifier des situations à risque en lien avec les flux très denses de personnes transitant sur les quais de Seine.



Sur le toit de Notre-Dame

- la Permanence Chimie Biologie et Radiologie apporte en urgence des éléments de réponse aux autorités, pour caractériser des substances chimiques, biologiques et ionisantes.

La CAIA : il faut donc une forte implication des membres ...

Tout à fait. Non seulement, tous nos experts physico-chimistes ont forcément un pied entre le laboratoire et l'opérationnel, mais aussi une part importante doit être disponible sans délai en cas d'alerte. De même, les démineurs sont constamment mobilisables, sinon, comment pourrions-nous intervenir en 20 mn en moyenne sur des bagages oubliés dans le métro de ma-

nière à ce qu'il puisse repartir dans l'heure ? Nous disposons pour cela de véhicules équipés spécifiquement, disponibles en permanence dans notre cour intérieure.

Nous avons aussi la chance de disposer de moyens très performants pour décupler notre efficacité. Cette situation, confortée par la confiance de nos autorités, constitue en elle-même une forme de reconnaissance de la forte implication de nos membres.

La CAIA : au-delà de ces caractéristiques, qu'est-ce qui permet au LCPP de rester en pointe ?

Essentiellement l'étude de l'évolution de la menace (y compris celle induite par les nouvelles technologies) et l'adaptation en continu de ses capacités d'intervention et d'analyse.

Par exemple, à la suite des attentats à l'explosif en Europe, nous avons lancé des travaux d'identification et de caractérisation des explosifs artisanaux. De même, nous menons plusieurs activités de recherche appliquée en lien avec les écosystèmes scientifiques de référence, comme le comportement des foules, la définition des termes sources incendie, nécessaire aux modélisations, la recherche de

nouveaux polluants. Les capacités scientifiques du LCPP sont aussi engagées pour accompagner le développement capacitaire de la BSPP (ndlr : Brigade de Sauteurs-Pompiers de Paris).

Nos partenariats, notamment avec la DGA sont particulièrement riches et fructueux, et nécessaires pour nous permettre de nous adapter à l'évolution de la menace et des technologies. Le meilleur exemple est le dialogue étroit noué avec DGA maîtrise NRBC qui nous a conduit à l'acquisition d'automates de diagnostic par amplification de l'ADN pour identifier un agent biologique de la menace.

Nous sommes également fiers d'innovation pour augmenter notre capacité d'intervention et d'analyse. Après une réflexion sur les nouvelles menaces, l'unité de déminage a acquis un robot de très forte capacité. Déployé pour la première fois sur le terrain pour sécuriser le défilé du 14 juillet 2021, en commun avec la sphère de confinement*, il intervenait deux jours plus tard sur une voiture suspecte.

* *Sphère de confinement* : moyen permettant de confiner une explosion d'une charge de 10 kg d'équivalent TNT de manière complètement étanche et de contenir toutes les substances.

La CAIA : souhaitez-vous faire passer un message particulier à l'attention des IA ?

Bien volontiers. Comme je l'ai déjà évoqué, pour travailler au LCPP, il faut aimer avoir un pied dans le laboratoire et l'autre sur le terrain, et s'investir fortement. Nous avons largement de quoi combler les attentes de jeunes IA, surtout s'ils sont fiers d'innovation de recherche appliquée (nous accueillons déjà quatre thésards) ou des IA plus expérimentés pour compléter nos compétences. ☺

Partie 2

INNOVATIONS



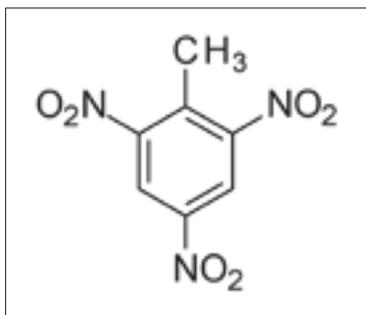
TKX-50, VI-RDX, ET VI-HMX

UNE NOUVELLE ÈRE POUR LES EXPLOSIFS MILITAIRES ?

Par David Toulat, ICETA

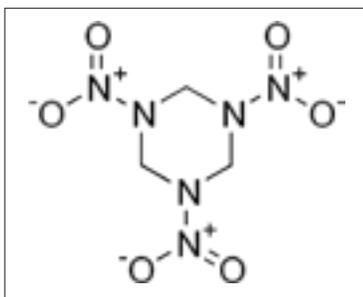
Depuis 2014, la DGA finance des études de nouvelles molécules énergétiques avec pour objectif d'améliorer le compromis performance - insensibilité - coût - conformité réglementaire. Le TKX-50 est peut-être enfin la molécule miracle pour le plus grand bénéfice des munitions du futur : performante, insensible, économique et pérenne !

Le célèbre **TNT** (trinitrotoluène, C₇H₅N₃O₆, première adoption en 1902) ou encore le **RDX** (hexogène, C₃H₆N₆O₆) et le **HMX** (octogène, C₄H₈N₈O₈), inventés et utilisés lors de la seconde guerre mondiale, sont toujours en service dans les munitions actuelles. Offrant un excellent ratio performance - coût, ces produits sont indétrônables sans autres exigences de conception.



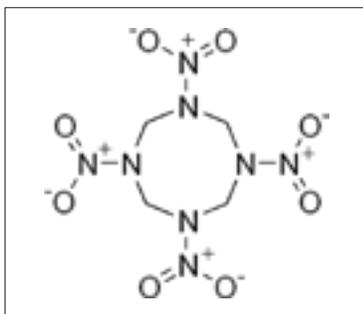
Le TNT, découvert en 1863 par le chimiste allemand Julius Wilbrand et utilisé notamment dans les torpilles durant la Première Guerre Mondiale

A la fin du XX^e siècle, en application de la politique MURAT (MUnition à Risque ATtenué), des explosifs insensibles, c'est-à-dire offrant une réponse atténuée à des agressions normalisées (impact de balle ou de fragment, incendie, etc.) ont été utilisés pour la conception, par exemple, de munitions embarquables sur des porteurs nucléaires de surface ou sous-marins. Cette exigence a permis à l'ONTA (NTO, nitrotriazolone, C₂H₂N₄O₃) d'entrer en service opérationnel dans les années 2000. Cependant, ses performances sont moindres que celles du RDX ou du HMX.



Le RDX ou hexogène, synthétisé en 1899 par Georg Friedrich Henning et utilisé comme explosif à partir de 1920, largement utilisé durant la Seconde Guerre Mondiale. Très puissant, sa vitesse de détonation est de 8750 m/s

Les exigences de conception concernant les matériaux énergétiques se complexifient sans cesse posant des problématiques de pérennité au regard des contraintes réglementaires, environnementales et toxicologiques, ou de sécurisation des approvisionnements (ITAR, end-user...).

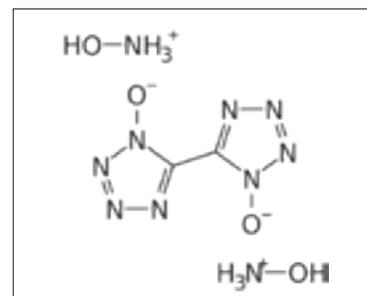


Le HMX ou octogène, a été isolé accidentellement en 1940 par un anglais, Werner Emmanuel Bachmann sous forme d'un sous-produit lors de la synthèse du RDX. Sa vitesse de détonation est de 9100 m/s.

Développement industriel du TKX-50

Deux marchés successifs d'étude amont, portés notamment par la

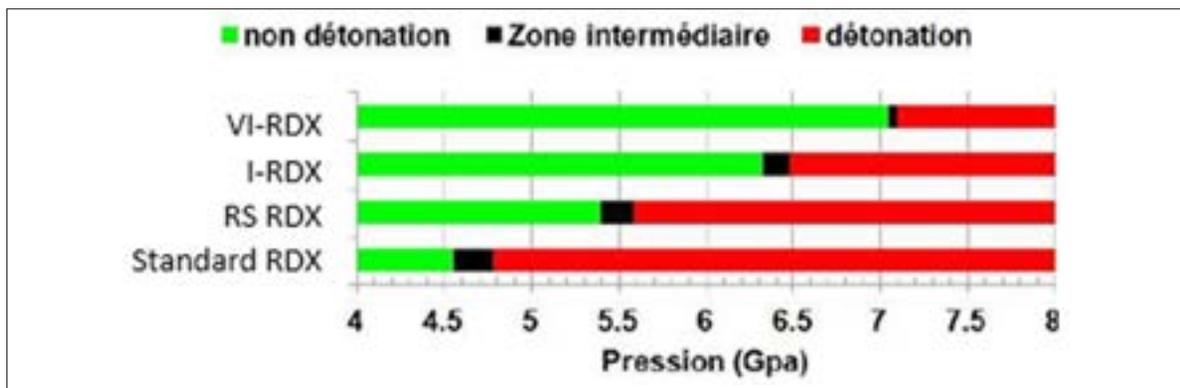
société EURENCO avec notamment pour objectifs une amélioration des procédés, des performances de sécurité et une écoconception, ont permis l'identification, l'optimisation et la caractérisation à l'échelle du laboratoire du **TKX-50 (dihydroxylammonium 5,5'-bistrazole-1,1'-diolate)**, une molécule inventée par le professeur Klapötke de l'université de Munich (LMU).



Le TKX-50 n'a fait son apparition qu'en 2012 dans la presse scientifique et a un grand potentiel comme explosif secondaire.

Cette molécule combine à la fois une performance équivalente au HMX (la molécule la plus performante actuellement en service) et une insensibilité équivalente à l'ONTA (la molécule la plus insensible actuellement en service).

Avec de telles propriétés, l'introduction du TKX-50 dans la composition B2214 (composition en service dans les bombes aéroportées CBEMS - Corps de Bombe à Effets Multiples Sécurisé - et dans la tête militaire du missile de croisière naval) en substitution de l'ONTA apporterait un gain en vitesse de



détonation de l'ordre de 15% et un gain en pression de détonation de l'ordre de 30%. La composition la plus chargée en TKX-50 de type B2273 (avec seulement 10% de liant) conduit à une augmentation de 25% de la vitesse de détonation et de 60% de la pression de détonation en comparaison à la composition en service.

Concernant l'aspect économique, la synthèse du TKX-50 se réalise en seulement deux étapes au sein d'un même réacteur, en 30 heures, avec un rendement proche de 100%, l'ensemble des composants, réactifs et solvant, étant conforme à la réglementation. Une prouesse !

Dans cette optique, la DGA a notifié en décembre 2021 aux deux industriels français EURENCO et ARIANEGROUP, un marché

d'étude amont de développement du TKX-50 avec deux objectifs principaux : la montée en maturité jusqu'à l'échelle industrielle (TRL 5) et la démonstration des performances du TKX-50 en objets représentatifs des munitions en service.

Amélioration du RDX

Fort de ce premier succès, la DGA poursuit ses recherches de produits et de procédés innovants également sur le RDX, en coopération avec les laboratoires de l'Institut Saint Louis (ISL) et d'EURENCO.

Le VI-RDX, pour *Very Insensitive RDX*, est une molécule de RDX modifiée par un procédé novateur inventé par l'ISL qui consiste en une étape de recristallisation sans défauts suivi d'une étape de sphérisation.

Le VI-RDX et son procédé de fabrication ont été transférés à l'échelle industrielle chez EURENCO sur financement DGA. Cet explosif est désormais disponible par centaines de kilogrammes et dans différentes classes granulométriques pour la formulation de matériaux énergétiques.

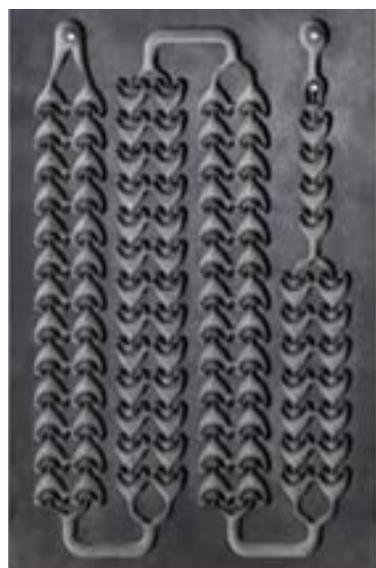
En composition hexocire, l'impact de projectile 20mm permet de discriminer sans commune mesure les différentes qualités de RDX en sensibilité (voir schéma plus haut).

Le VI-RDX apporte des gains significatifs en insensibilité au choc et permet par sa forme arrondie de diminuer la rhéologie des com-

positions, ce qui autoriserait une augmentation du taux de charge et donc de la performance de la charge militaire. Le VI-RDX est disponible à l'échelle industrielle et pour les programmes d'armement. Son prix serait supérieur à celui du I-RDX selon une première analyse technico-économique.

Innovation dont va bénéficier le HMX

Parallèlement, le VI-HMX est en cours de développement à l'ISL sur la base de l'expérience acquise sur le VI-RDX. Les premiers résultats de cristallisation et de caractérisation à l'impact de projectiles 20mm sont à la hauteur de ceux du VI-RDX. Le transfert du VI-HMX chez EURENCO est actuellement envisagé par la DGA. ☺



Microréacteur Corning (cf article suivant)



David Toulat,
ICETA,
Responsable
métier PES à la
DGA

Diplômé de l'ENSTA Bretagne, spécialité « pyrotechnie et matériaux énergétiques », David a débuté à la DGA à Toulon dans le domaine des effets des armes sur les bâtiments de la Marine Nationale, pour prendre ensuite la responsabilité de la sécurité nucléaire des munitions conventionnelles du Charles de Gaulle. Il rejoint à Balard le pôle technique MAN, et devient responsable adjoint du segment et du métier « Sécurité et Expertise Nucléaire (SEN) », puis responsable du segment d'ingénierie et du métier « Propulsion, matériaux Energétiques de Défense, Sécurité pyrotechnique et nucléaire (PES)

FLUX CONTINU ET RAM

RÉVOLUTION DANS LA SYNTHÈSE

Par Peggy Lamy, docteur en sciences

Les procédés innovants ne sont plus l'apanage des grandes industries comme celles de la pétrochimie et de l'agroalimentaire. L'utilisation de nouveaux équipements tels que les micro et méso-réacteurs, et les mélangeurs par résonance acoustique, se développe dans le domaine des matériaux énergétiques. Et les avantages sont nombreux !

L'abandon des procédés batch :

La chimie en flux continu est un domaine qui se développe de plus en plus. Adoptée en premier par les industries produisant de gros volumes, cette technique s'est répandue dans les domaines pharmaceutique et de la chimie fine depuis une dizaine d'années, et arrive dans le domaine de la synthèse de molécules énergétiques. Le développement des réacteurs micro-fluidiques (micro et méso-réacteurs) offre l'opportunité aux industriels de la pyrotechnie d'abandonner, tout du moins pour certaines productions, les procédés par batch utilisés depuis toujours.

Un microréacteur est un réacteur de synthèse composé de canaux dont les dimensions sont de quelques dizaines à quelques centaines de micromètres. On parle de méso-réacteurs lorsque la dimension des canaux est de l'ordre du millimètre. En réduisant la taille du système réactionnel, le rapport surface sur volume augmente de manière importante avec pour conséquences d'améliorer les échanges thermiques. Les réactions chimiques sont plus rapides, le contrôle de la pression et de la température peut être réalisé de manière plus fine. Ce procédé est bien moins énergivore ; et, en terme de sécurité, la limitation du volume réactionnel réduit les risques chimiques et pyrotechniques : réduction du risque d'emballement thermique, réduction des zones de danger, diminution des quantités de solvants utilisés, diminution des dégagements gazeux...

Comment réduire les temps de mélanges :

La technologie du mélange par résonance acoustique (RAM) consti-

tue une rupture technologique dans le domaine du mélange et du malaxage de formulations énergétiques. Ce type de mélangeur génère un champ acoustique à basse fréquence. Composé d'une cuve de mélange et d'un arrangement de masses et de ressorts, le système de mélange entre ainsi en résonance mécanique. Les particules entrent en collisions dans la totalité de la cuve à la différence des mélangeurs classiques (planétaire ou pâle en Z) dans lesquels le mélange ne s'opère que dans les régions localisées autour des pâles. Les temps de mélanges sont ainsi drastiquement réduits (de plusieurs heures à quelques dizaines de minutes) et l'homogénéité accrue ce qui permet d'atteindre des taux de charge plus importants. Ce procédé de mélange permet même d'aller plus loin en réalisant des chargements in situ : les mélanges sont réalisés directement dans l'enveloppe de la charge (aussi bien pour de l'explosif, du propergol ou de la composition pyrotechnique).

Comment réduire les coûts de production :

Quasiment, tous les acteurs de la pyrotechnie française sont équipés à minima d'un LabRAM.

La DGA et l'AID soutiennent financièrement le développement de cette technologie prometteuse auprès notamment des sociétés EURENCO et ROXEL dans un objectif de montée en maturité jusqu'au malaxage en échelle RAM5 (~35Kg) de propergols et d'explosifs ; et des laboratoires d'ARIANEGROUP et du CRB (Centre de Recherche du Bouchet)

dans l'objectif de mettre au point des méthodes de développement rapide des matériaux énergétiques de défense (MED) à l'échelle laboratoire (screening) et aussi de développer un modèle numérique de compréhension et de modélisation des phénomènes physico-chimiques intervenant dans le mélange acoustique des MED.

ROXEL, qui dispose d'un moyen à l'échelle pilote de type RAM5, a exploité cette nouvelle capacité, réalisant une première coulée de propergol sans aucun défaut notable par RX, et effectuant avec succès un tir de propulseur représentatif d'un kit d'augmentation de portée d'AASM.

En 2021, la dernière étape cruciale de ce marché fut la réalisation de ce même propulseur in situ, c'est-à-dire en plaçant le corps de propulseur directement sur le RAM5 en guise de contenant, et en mélangeant les ingrédients directement en son sein.

Le niveau de TRL6 est atteint, et la technologie est disponible pour les programmes d'armement à venir. ☺



Peggy Lamy,
responsable
innovation, AID et
DGA/MAN

Après une thèse de doctorat en sciences des matériaux au CNRS d'Orléans et à GIAT Industries, Peggy LAMY intègre la direction technique de Nexter Munitions où elle prendra la direction du département « Etude des Matériaux Energétiques ». Elle rejoint ensuite DGA/TT en tant qu'expert référent matériaux énergétiques, au sein de la division Armes et Munitions. Elle est aujourd'hui adjointe études amont du pôle technique MAN de la DGA et responsable innovation du domaine Chimie en Energie de l'AID.

MISSILES TACTIQUES : LA PROPULSION SOLIDE INNOVE

LA TECHNOLOGIE BI-PULSE ET LA MODULATION DE POUSSÉE BIENTÔT DISPONIBLES ?

Par **Christophe Jacq**, IETA, et **Baptiste Barre**, ICT

La propulsion solide, incontournable dans les futures applications Défense

Les nouveaux acteurs privés du spatial (*Space X* et *Blue Origin* en tête), tout comme les fabricants des lanceurs *Soyouz* et *Proton*, ne jurent que par la propulsion liquide pour lancer des satellites dans l'espace. Les nouveaux entrants aux États-Unis, ou les start-up français dans le cadre de France 2030, mais aussi ArianeGroup au-delà d'Ariane 6, privilégient cette technologie pour de nouveaux lanceurs réutilisables. Cependant, dans le domaine militaire, force est de constater que la France et d'autres pays continuent de privilégier la propulsion solide pour les missiles.

La propulsion liquide présente en effet plusieurs obstacles pour le domaine de la défense, et ce qui s'applique au spatial n'est pas toujours transposable. Le conditionnement des ergols liquides impose pour un missile l'utilisation d'ergols « stockables », ergols qui se présentent naturellement sous forme liquide (conditions normales de température et de pression).

La famille des missiles russes *SCUD* utilise ce type d'ergols, dits « hydrocarbures », kérosène et acide nitrique et le moteur *Viking* (*Ariane 4* notamment) fonctionnait avec une combinaison UDMH/N₂O₄ dans le spatial. Compte tenu des législations européennes en vigueur, ces ergols très toxiques ne pourraient être utilisés dans un missile français (hors problématiques de sécurité).

La propulsion avec ergols liquides reste opérationnellement coûteuse, complexe et trop contraignante pour présenter un intérêt pour des moteurs de missiles tactiques.

L'avenir de la propulsion solide passe par l'accroissement du potentiel énergétique des propergols solides et par leurs capacités notamment à permettre de la modulation de poussée ou des cycles allumage-extinction (propergols extinguisibles¹).

Rappelons que dans le domaine militaire, certains missiles utilisent du carburant liquide pour la phase de croisière² : ce sont les statoréacteurs et les turboréacteurs. Ces technologies ont été retenues en France pour les missiles de croisière et certaines versions de missiles antinavires.

L'innovation en propulsion solide, une réponse face aux menaces et défenses futures

Depuis des décennies, la recherche en propulsion solide vise un accroissement des performances allié à une maîtrise des coûts. Les voies actuellement explorées portent sur des méthodes de production plus efficaces (mélange par résonance acoustique), des propergols plus performants et une flexibilité opérationnelle accrue permise par la mise en œuvre de la modulation de poussée.

L'étendue des missions demandées impose actuellement la conception de deux moteurs dis-

tincts pour assurer les fonctions de mise en vitesse (accélérateur) et de maintien en vitesse (croisière) d'un missile. Le profil de poussée est aujourd'hui imposé par la nature et la géométrie du chargement, il ne permet donc pas de s'adapter à la manœuvrabilité accrue des nouvelles menaces.

La modulation de poussée ou l'utilisation de propergols extinguisibles permettraient en revanche de réaliser les phases accélération et croisière avec un unique propulseur solide, réaliser des manœuvres en phase de pénétration, enchaîner des cycles phase propulsée – phase balistique (type extinction – rallumage d'un moteur à ergols liquides), etc.

Diverses opportunités seraient ouvertes pour les futurs besoins opérationnels.

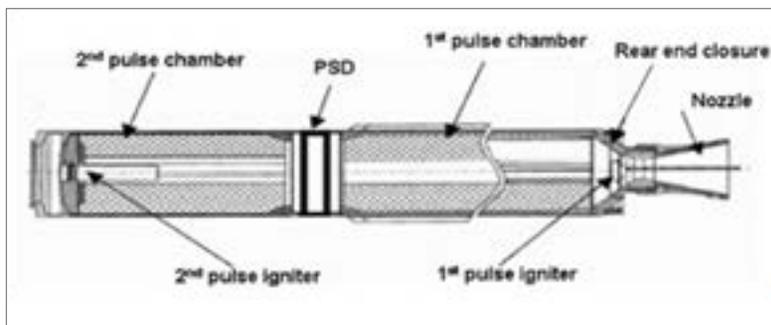
Le propulseur bi-pulse

L'avant-projet d'un missile anti-aérien futur (2012-2016) a apporté la première brique technologique de la modulation de poussée à la propulsion solide. L'objectif de ce projet, destiné à préparer l'arrivée du missile air-air MICA NG (premières livraisons prévues en 2026) tiré depuis Rafale, était triple :

- conserver les dimensions et interfaces du missile anti-aérien actuel ;
- augmenter substantiellement la portée du missile ;
- accroître sa manœuvrabilité à proximité de la cible, et donc sa capacité d'interception.

1 : Qui peuvent être allumés et éteints

2 : Pour la mise en vitesse, ce type de missile requiert parfois des propulseurs d'accélération (booster ou accélérateur intégré) utilisant du propergol solide



Un PSD, *pulse séparation device* permettant à un 2^e réacteur de fournir un complément de poussée pour augmenter la portée et accroître la manoeuvrabilité près de la cible

La solution technologique proposée a été un propulseur bi-pulse, composé d'un premier propulseur (*pulse*) placé à l'arrière d'un second propulseur, les deux étant séparés par une cloison intermédiaire. Cette paroi isole le second chargement du fonctionnement du premier, tout en laissant ultérieurement passer les gaz de combustion générés par ce second chargement.

Les principaux défis technologiques se situent au niveau de la cloison intermédiaire qui doit :

- être suffisamment robuste pour résister aux contraintes de pression (> 100 bar) et température (> 3000 K) générées par la combustion du premier *pulse* ;
- permettre un désopercutage « doux » de la cloison intermédiaire lors de l'allumage du second *pulse*, afin de ne pas endommager les équipements du missile placés à proximité.

Les essais de développement de cette cloison intermédiaire sont en cours chez ROXEL, responsable du propulseur. Le missile MICA NG développé depuis 2018 par MBDA sera le premier missile français à bénéficier de cette technologie bi-pulse.

Technologie DVT (*Discrete Variable Thrust*)

La DGA et l'AID prévoient de financer très prochainement l'industrie sur cette technologie de modulation de poussée d'un moteur à propergol solide.

L'intérêt de cette technologie DVT réside dans la capacité à faire varier par paliers la poussée d'un moteur à propergol solide avec une très forte différence d'amplitude entre les phases d'accélération et de croisière, grâce à une variation d'aire au niveau du col de la tuyère. Pour un système simple de type roquette sol-sol, les gains attendus sont un doublement de la portée opérationnelle du système.

Dans ce contexte, le marché DVT a pour objectif la maturation technologique :

- d'un dispositif de variation d'aire au col, avec évaluation des gains de performance, opérationnels voire économiques par comparaison avec les solutions actuelles de dimensionnement des moteurs à propergol solide ;
- d'un moteur à propergol solide de nouvelle génération intégrant ce dispositif, afin d'étudier les bénéfices de cette architecture au niveau missile.

Il permettra d'établir les perspectives d'intégration de cette technologie dans les futurs missiles à l'horizon 2030 et d'adapter selon les résultats obtenus la feuille de route des technologies de management de la poussée. Le niveau de maturité technologique (TRL) visé varie entre 4 (pour le moteur complet à propergol solide) et 5 (pour le dispositif de variation d'aire au col).

Pourra-t-on aller plus loin ?

Deux barrières restent à lever : disposer d'un matériau pour le pointeau capable de résister pendant un temps suffisant à la température des gaz de combustion proche de 3000 K et disposer de propergols éteignables. Dès que la brique technologique DVT sera acquise et que les nouveaux propergols seront suffisamment matures, il deviendra possible de moduler la pression de sortie à la demande et ainsi d'accéder à la brique technologique CVT (*Continuous Variable Thrust*).

Le propulseur bi-pulse, les technologies DVT et CVT constituent des innovations qui pourraient à terme être autant d'outils à disposition de nos armées pour répondre aux menaces actuelles et futures... ☺



DVT, une variation du flux entre la phase d'accélération et la phase de croisière qui permettra un doublement de la portée



Christophe Jacq,
IETA
Architecte
propulsion solide
sur missiles
tactiques

Diplômé de l'ENSTA Bretagne, option systèmes pyrotechniques, Christophe Jacq a débuté sa carrière en 2015, à DGA/EM site Gironde comme expert en sécurité des missiles et munitions, avant de rejoindre en 2020 son affectation actuelle à DGA/IP.



Baptiste Barre,
ICT,
Architecte
propulsion solide
sur missiles
tactiques et CNA

Diplômé de l'ESTACA/ISAE-SUPAERO, spécialité spatial, Baptiste Barré a débuté sa carrière en 2017 chez ArianeGroup site de Vernon comme architecte sur le moteur Vinci d'Ariane 6, avant de rejoindre en 2019 son affectation actuelle à DGA/IP.

LES MATÉRIAUX RÉACTIFS POUR LES CHARGES MILITAIRES :

UNE NOUVELLE ÉTAPE DANS L'EFFICACITÉ TERMINALE !

Par Frédéric Paintendre

Il y a quelques années, une revue de la Business Intelligence de MBDA a identifié les matériaux réactifs comme une technologie de rupture en plein développement aux États-Unis. Des travaux de conception et de développement sont alors initiés au sein des entités de MBDA (UK, Fr, It et Ge) pour mettre au point une nouvelle génération de charges militaires capables d'augmenter les performances terminales sur les cibles des systèmes d'armes tout en minimisant les dommages collatéraux.

L'amélioration de l'efficacité terminale des charges militaires fait depuis longtemps partie des objectifs de MBDA, en particulier du Centre d'Excellence Fédéré Charges Militaires Complexes. Un domaine d'activité qui pourrait bien être bouleversé par les avancées majeures d'un projet de recherche et développement interne (IRAD) initié depuis quelques années au sein de MBDA. Ce projet vise à mettre au point et produire des charges militaires basées sur des matériaux réactifs pour des charges anti-aériennes par l'utilisation de générateurs d'éclats à base de matériaux réactifs ou des charges de pénétration cinétique par l'utilisation d'inserts en matériaux correctifs correctement définis. Ces deux types de charges militaires diffèrent par le lieu et l'instant de réaction des matériaux réactifs ; dans le cas d'éclats réactifs, la réaction s'initie généralement au moment de l'impact sur la cible, tandis que dans le cas d'inserts réactifs, cette dernière survient au moment de la détonation du chargement explosif, à proximité de la charge militaire.

Dans les deux cas, il a été observé que l'effet réactionnel généré a pour résultat d'augmenter considérablement l'effet létal sur les cibles à neutraliser.

En effet, les phénomènes mis en jeu produisent un certain nombre de réactions, et celles sur lesquelles nous nous concentrons portent essentiellement sur l'oxydation des métaux réactifs comme par exemple le zirconium ou l'aluminium mais également sur des mélanges de plusieurs matériaux pour obtenir à la fois la densité nécessaire à la perforation des différentes protections des cibles aériennes puis l'effet thermique et de surpression à l'intérieur de la cible (comme par exemple le tungstène avec le zirconium).

La technologie des matériaux réactifs est une technologie pour laquelle les États-Unis semblent avoir considérablement investi au cours des années 2000 avec des applications défense probablement déjà en service.

A cela, la réponse de MBDA s'est voulue internationale, en mobilisant ses quatre entités nationales : le Centre d'Excellence franco-britannique, les équipes en Italie puis TDW, la filiale de MBDA Allemagne. Des universités et des PME font également partie de ce projet, qui doit aboutir très rapidement à une maturité élevée.

« Cette technologie représente clairement un bond en avant et notre objectif consiste à intégrer

« cette technologie au plus tôt dans les futurs programmes de MBDA » souligne Jean-Christophe Antoni, Directeur de Missile Design Group au sein de MBDA.

*« DEUX MODES
D'ACTION :
GÉNÉRATEURS
D'ÉCLATS À BASE DE
MATÉRIAUX RÉACTIFS
POUR PERFORER DES
CIBLES AÉRIENNES, ET
INSERTS EN MATÉRIAUX
RÉACTIFS POUR DES
EFFETS À L'INTÉRIEUR
DE LA CIBLE »*

Travailler avec des partenaires européens motivés et compétents

L'équipe de projet, dirigée par MBDA, travaille actuellement avec une quinzaine de PME européennes, parmi lesquelles Fluid Gravity Engineering (UK), Thiot Ingénierie (Fr), Sinter-Mat (Fr), IMPETUS France, Impact Engineering (DE), etc, des établissements d'enseignement supérieur comme l'Université de Birmingham (UK), l'École polytechnique de Turin (It), des Centres de Recherches



Charge à éclats standards



Charge à éclats réactifs

comme l'Institut de Saint-Louis (Fr/Ge), le Centre de Recherches du Bouchet (ArianeGroup - Fr), etc.

Ensemble, ces partenaires apportent un large éventail de moyens et d'expertises que MBDA ne possède pas forcément en interne : processus de fabrication novateurs, modélisation de la physique de réaction, essais d'impact à grande vitesse et instrumentation complexe associée. Toutefois,

les recherches ne portent pas uniquement sur les propriétés et les effets des charges militaires, elles couvrent principalement leur mode de fabrication.

Nous étudions des procédés de frittage nouveaux qui sont inédits pour la production des éclats réactifs et cette technologie risque fort de changer la donne et ce notamment pour les futures charges anti-aériennes de MBDA. 🐦



Frédéric Paintendre,
Expert charges militaires et responsable du Centre d'Excellence Fédéré Fr charges militaires complexes au sein de MBDA France.

Diplômé de l'ENSTA (Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées, Bretagne) avec un Master en Combustion-Détonique, Frédéric a rejoint le groupe MBDA dès sa formation en 2001 pour y développer son expertise et participer à l'implémentation des technologies innovantes pour les futures charges militaires.

OPTIMISER LES PERFORMANCES PROPULSIVES

ÉPROUVÉES AU SERVICE DES FORCES OPÉRATIONNELLES

Par Laurent Tixier et Etienne Galan, IPA

Roxel, leader européen des moteurs à propergol solide, cherche à proposer à ses clients et aux forces, les systèmes de propulsion les plus adaptés à leurs besoins. Ces dernières années, ces besoins se sont notamment focalisés sur l'amélioration des performances au sens large (gestion de poussée, signature du jet, Muratisation, durée de vie, etc.), mais aussi sur la réduction de la durée des développements pour mettre en service plus rapidement les nouveaux produits.

La gestion de poussée en réponse aux besoins opérationnels de manœuvrabilité et d'agilité du missile

Pendant très longtemps, les missiles ont dû s'accommoder de moteurs à propulsion solide qui délivraient une poussée en une seule fois avec une tuyère souvent fixe. Depuis une vingtaine d'années, la gestion de poussée est devenue un enjeu majeur pour l'industrie des missiles. Roxel, à l'écoute de ses clients et des forces opérationnelles, a donc développé des technologies qui permettent de rendre la fonction propulsion plus agile, afin de pouvoir piloter le missile en tangage, roulis et lacet grâce à des dispositifs de contrôle du vecteur poussée (Thrust Vector Control), et moduler la poussée pour utiliser de façon optimisée l'énergie délivrée par le ou les blocs de propergol.

Les dispositifs de contrôle du vecteur poussée

Les dispositifs de contrôle du vecteur poussée vont permettre d'améliorer la manœuvrabilité du missile. Ils lui donnent, par exemple, des capacités de tir vertical avec formage de trajectoire qui permettent d'écourter le temps d'atteinte de la cible et donc de maximiser l'efficacité de l'énergie disponible. Les angles de braquage accessibles dépendent de la technologie utilisée et permettent de couvrir une plage de 8° à 25° environ. Une butée flexible pilotée par un dispo-

sitif d'activation hydraulique a ainsi été conçue par Roxel pour l'accélérateur du missile ASTER 15. Le système d'Accélération et de Basculement (SAB) du Missile de Combat Naval (MdCN) est, lui, équipé d'une tuyère à divergent mobile pilotée par un dispositif d'activation électrique, alors que les déviateurs de jets du missile air-air MICA lui ont conféré une capacité de lancement vertical (version VL).

D'autres dispositifs permettent une génération de poussée latérale pour piloter le missile en force et/ou compenser les mouvements de la cible en fin de trajectoire (moteur PIF du missile terminal ASTER). D'autres dispositifs permettent de contrôler la stabilité du missile en roulis. Les tuyères rotulées, les déviateurs de jets (AS30 L, HOT, MILAN, ERYX, VSM39, ...) ou de petits impulseurs constituent d'autres technologies capables d'assurer cette fonction d'orientation du vecteur poussée. Roxel maîtrise l'ensemble de ces dispositifs et les systèmes d'activation associés, lesquels sont qualifiés et en service opérationnel depuis maintenant de très nombreuses années.

Les dispositifs de modulation de poussée

La fonction de modulation de poussée doit permettre d'optimiser la poussée délivrée pour, par exemple,



Missile antichar MHT ©MBDA

maximiser la portée du missile ou l'efficacité de la mission.

En effet, une vitesse trop élevée peut générer une traînée importante qui va nuire à l'efficacité du système ou compliquer l'intervention du tireur pour confirmer la cible. Le régime idéal, généralement souhaité par le missilier, est un profil boost – sustain – boost (accélération – croisière – accélération), avec une interruption éventuelle et idéalement pilotable entre les phases sustain et boost. La poussée peut être modulée en :

- jouant sur l'architecture du moteur ou du chargement pour obtenir des profils de poussée de type bi-régime (antichar MMP) ou bi-pulse (missile air-air MICA-NG) ;
- utilisant les technologies DVT (Discrete Variable Thrust) ou CVT (Continuous Variable Thrust) qui permettent d'ajuster la poussée à la demande et en temps réel en faisant varier de façon continue (CVT) ou discontinue (DVT) la section de col de tuyère, et donc le débit massique du moteur.



Tir vertical avec formage de trajectoire du missile Aster 15
©MBDA/Michel Hans

La signature du jet en réponse aux besoins opérationnels d'éviter la détectabilité du tireur et de permettre la communication entre le poste de tir et le missile

Le maîtrise de la signature du jet est à mettre en relation avec les exigences de minimisation du risque de détectabilité du tireur (fantassin, char, avion de chasse...) et de communication entre le tireur et le missile. Roxel dispose d'un catalogue fourni de propergols qui lui permet de proposer les bonnes solutions pour répondre aux besoins exprimés par ses clients en termes de réduction et/ou d'élimination des fumées primaires et secondaires.

La Muratisation en réponse au besoin opérationnel d'assurer la sécurité des personnels et des matériels lors de la manipulation et du stockage des munitions

Les munitions à risques atténués (MURAT = MUnition à Risque ATtenué ou IM = Insensitive Munitions) sont des munitions pour lesquelles la probabilité d'allumage inoppor-

tun, ainsi que la violence de la réaction et les dommages collatéraux qui en découlent, sont amoindris lorsqu'elles sont soumises à une agression physique, thermique ou mécanique. Tout en étant plus sûres, les MURAT continuent de satisfaire aux exigences de performance, disponibilité et de conditions d'utilisation.

Roxel occupe un rang de leader mondial dans les technologies MURAT et travaille activement au développement de solutions toujours plus performantes pour résister aux différentes agressions potentielles (feu de carburant, échauffement lent, impact de balles, impact de fragments, détonation par influence, chute, etc.).

La réduction des délais de développement en réponse au besoin opérationnel de mise en service plus rapide des produits pour renforcer la capacité des forces

Les cycles de fabrication des pièces métalliques structurales constituent très souvent le chemin critique pour la fabrication des moteurs, et donc des premières maquettes. La fabrication additive, au-delà des avantages traditionnels bien connus (fabrication de pièces complexes non accessibles par la fabrication soustractive, fonctionnalisation des pièces, réduction des déchets, allègement des pièces grâce à l'optimisation topologique...), permet également d'écourter très significativement les délais de mise à disposition des pièces lors des développements. Il est donc possible de réaliser beaucoup plus tôt les premiers essais de réduction de risque qui vont permettre de consolider la définition du moteur, ou de réaliser dans un temps court les éventuelles boucles de conception. Cela conduit à une meilleure maîtrise de la durée et donc du coût d'un développe-

ment. Il n'est plus possible de s'appuyer seulement sur l'amélioration des matériaux énergétiques pour augmenter les performances des moteurs à propergol solide. L'architecture des moteurs et des chargements, la gestion de poussée, la discrétion, la Muratisation, la réduction de l'impact du vieillissement du propergol constituent autant d'axes d'amélioration qui permettront de proposer des systèmes propulsifs toujours plus performants et adaptés aux besoins opérationnels.

La performance passe aussi par des cycles de développement raccourcis pour mettre en service plus rapidement les nouveaux produits attendus par les forces. L'un des enjeux de ces prochaines années sera sans doute de concevoir et de mettre en place l'usine de demain, capable de fabriquer à la demande et dans des délais courts, les matériels nécessaires aux missions des forces. ☞



Laurent Tixier

Ingénieur ENSMA (Poitiers), il entre en 1987 à l'AEROSPATIALE, Division Engins Tactiques - département Propulsion comme ingénieur simulations thermomécaniques. En 1997, il devient responsable du groupe «simulations thermomécaniques» de 1997 à 2003 de CELERG, puis responsable du Département Simulations Numériques en 2003 à 2020 chez ROXEL. Depuis 2020, il est Innovation Manager et adjoint du Directeur Technique.



Etienne Galan,
IPA, président de
Roxel

X85, Sup'aéro, Etienne Galan débute à l'AIA de Cuers Pierrefeu où il devient chef de la division avions. En 1995, après un passage à la DSIT (S2IE), il entre dans l'industrie chez Liebherr, puis Snecma en 2000. Après différents postes industriels, il devient directeur qualité et directeur des achats. En 2020, il prend la présidence de Roxel, JV entre Safran et MBDA. Il est Pilote et diplômé de l'AMP INSEAD.

IMPRIMER DES EXPLOSIFS

UN ACCÉLÉRATEUR D'INNOVATION

Par Romain Leglise, Chef de programme développement, Damien Chaveroux, Chef de projet études et développement, Clara Debiesse, Ingénieur d'Etudes R&D, Julien Loyer, Technicien Industrialisation, Sébastien Cuvelier, Expert matériaux énergétiques, poudres et objets combustibles

Si l'utilisation industrielle de fabrication additive s'est fortement développée au cours de la dernière décennie, l'impression 3D de matériaux énergétiques n'est pour sa part maîtrisée que par un tout petit nombre de sociétés dont EURENCO fait partie. Accélération des développements, amélioration des performances et nouvelles utilisations, de nouveaux horizons s'ouvrent pour la pyrotechnie

La fabrication additive appliquée aux matériaux énergétiques est une technologie de rupture que peu de sociétés maîtrisent. Si cette technologie permet de produire des chargements propulsifs ou explosifs à performances accrues dont l'architecture (forme ou empilement de matériaux) n'est pas réalisable par les procédés classiques, elle est également un accélérateur des phases de développement ou de mise en place d'améliorations. En gagnant en agilité et flexibilité, il est ainsi possible de développer et produire différents prototypes à partir d'un même outil sans avoir recours à de long processus de spécification et d'acquisition d'outillages spécifiques.

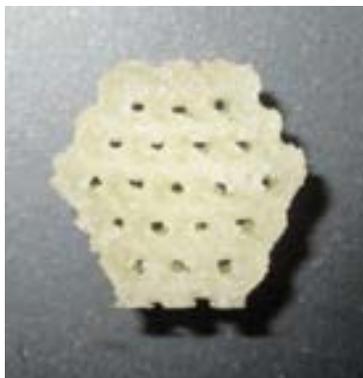
Ces nouveaux modes de fonctionnement doivent néanmoins concilier la capacité dite de « test and learn », que l'on appelle aussi le droit à l'échec, et la sécurité pyrotechnique qui ne permet pas l'erreur. Ils nécessitent de s'appuyer sur des compétences liées aux matériaux énergétiques, à la chimie et physico-chimie, aux propriétés mécaniques, aux phénomènes d'interfaces et d'adhésion entre couches sans oublier la modélisation/simulation. Si ce socle de compétences constitue une barrière d'accès pour de nouveaux entrants, les pratiques des sociétés historiques peuvent aussi constituer un carcan dont il peut être difficile de sortir.

Clara DEBIESSE – Ingénieure d'études en charge du projet au sein de l'IFTH puis au sein de EURENCO pour le transfert.

« Compte tenu de la complexité du projet, détacher une ingénieure d'études sur le développement de cette innovation a permis de monter rapidement en compétence et d'acquérir un haut niveau d'expertise. Le partage des connaissances entre les deux parties (IFTH et EURENCO) tout au long de l'étude a été un élément clé pour atteindre les résultats souhaités depuis le prototype jusqu'à la production industrielle. »



Demi-coque incrément de mortier 60 mm



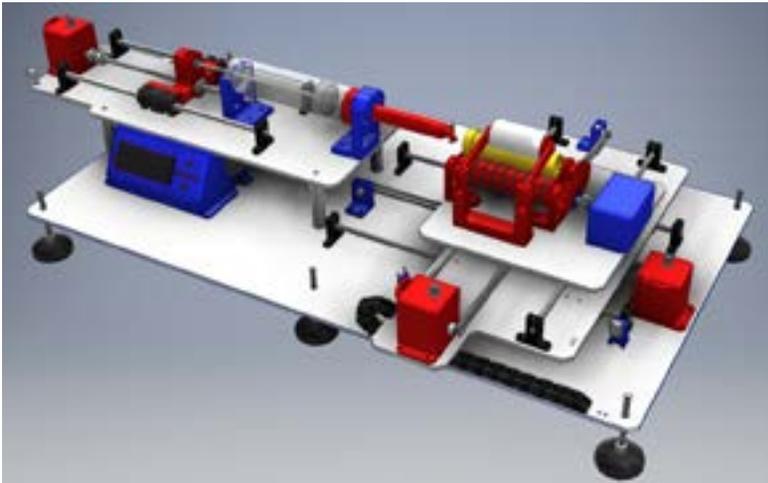
Grain de poudre

Afin d'essayer de répondre à ces injonctions contradictoires, EURENCO a ainsi noué plusieurs partenariats afin d'accélérer la montée en maturité de l'impression 3D de matériaux énergétiques. Le principe



Tube allumeur

est clair : s'ouvrir aux meilleures pratiques tout en assurant la sécurité pyrotechnique. Un partenariat a notamment été mis en place entre Eurenco et l'Institut Français du textile et de l'Habillement (IFTH).



Pièces plastiques (rouges et bleues) de prototypage obtenues en impression 3D FFF

Des premiers prototypes ont été développés afin de mettre en évidence la qualité de définition des objets obtenus au sein de l'IFTH sur des matériaux inertes avant d'implanter, en 2021, un Fab Lab dédié à la fabrication additive de matériaux actifs sur le site d'EURENCO Bergerac.

Du laboratoire à la production de série :

Parallèlement à ces développements novateurs sur l'impression 3D de matériaux énergétiques, Eurenco a mis en application le principe de l'impression 3D pour le développement et la mise en production du Relai Initiateur Chargé (RIC). Ce tube initiateur des charges modulaires pour artillerie de 155 mm, dont EURENCO est l'un des leaders européens, constitue un élément crucial pour le fonctionnement et la performance de ce système.

Une démarche agile et itérative a été mise en place. Elle a fait appel à des compétences d'experts matériaux et produits, dont l'objectif était de fixer un cadre, associés à de jeunes ingénieurs et techniciens « sortant du cadre » du fonctionnement habituel. Une alchimie certaine s'est produite.

Les possibilités de l'impression 3D ont d'abord été utilisées aus-



Atelier de production

si bien pour concevoir et réaliser les prototypes de l'imprimante 3D elle-même. Ce prototype a été conçu à partir d'imprimante 3D plastique mais aussi par la récupération de mécanismes d'anciennes imprimantes 3D. Des tests de répétabilité ont été réalisés afin de préindustrialiser la solution et améliorer le dispositif. Cette démarche incrémentale rendue possible par les multiples possibilités de l'impression 3D ont permis de développer deux fois plus vite et pour trois fois moins cher un produit aux performances accrues. Cet objet fait désormais partie intégrante de la nouvelle charge modulaire MACS 100% conçue et maintenant produite entièrement par EURENCO et en service sur plusieurs systèmes.

Suite à cette phase agile et dynamique, de prototypage, d'industrialisation puis qualification, un atelier industriel a pu être mis en service à Bergerac moins de deux ans après la décision de lancement du programme. ☺

Julien LOYER – Technicien chargé d'industrialisation

« L'utilisation de l'impression 3D et de toutes ses possibilités s'est parfaitement intégrée aux nouvelles méthodes de développement projet (méthode agile) mise en place chez Eurenco, en m'apportant de la flexibilité dans le design des pièces et des gains importants en termes de temps et de coût, principalement pendant les phases de réitération et d'optimisation du concept.

L'équipement issu de cette phase de développement (conception brevetée) permet la réalisation de cordons de matériaux pyrotechniques suivant différentes géométries de dépose »



Les auteurs devant l'atelier industriel de Bergerac

INNOVER SOUS CONTRAINTE

QUAND TOUT CE QUI N'EST PAS AUTORISÉ EST INTERDIT

Par **Edouard Pinot**, ICA

Malgré un cadre qui limite fortement les marges de manœuvre, l'exemple de Thales à la Ferté Saint Aubin (ex-TDA) montre que la pyrotechnie et le secteur munitionnaire sont riches en innovations sur les produits, les procédés de fabrication, la qualification. Un lieu d'expression de créativité pour les personnels qui y travaillent.

Le développement et la qualification d'une nouvelle munition est une opération très lourde, qui demande en pratique au moins une demi-douzaine d'années, ce qui apparaît très long pour un objet qui reste somme toute relativement simple. Cette durée s'explique par les nécessaires exigences de sécurité à respecter sur l'ensemble des environnements, et par les démonstrations prescrites par les standards, les « STANAG », qui demandent un très grand nombre de tirs, les créneaux sur les champs de tir étant rares et chers.

Les opérations de fabrication sont tout aussi contraintes, qu'il s'agisse de l'homologation des matières ou de l'établissement des études de sécurité du travail (« EST ») qui doivent prévoir de façon exhaustive, reproductible et limitative l'ensemble des paramètres propres à chaque opération de fabrication. Et ce qui n'y est pas autorisé est strictement interdit.



RGL - Roquette Guidée Laser, Thales

Innovation sur les produits

Les améliorations recherchées pour les munitions peuvent concerner l'accroissement de leur portée, de leur efficacité terminale, la maîtrise de leurs effets collatéraux et de leur sécurité. Ces améliorations sont recherchées par exemple à travers la mise au point de nouveaux matériaux énergétiques, plus puis-

sants et/ou plus insensibles aux agressions extérieures, ou la mise au point de dispositifs de mise à feu plus sûrs ou déclenché de manière spécifique (proximité, ou airburst par exemple).

Ces briques permettent de développer de nouveaux types de munitions : munitions guidées de différents types, intégrées sur différents porteurs (drones notamment), ou avec de nouveaux usages (lutte anti-drones notamment).

Innovation sur les procédés de fabrication

Pour limiter l'exposition des salariés au risque pyrotechniques, renforcer la maîtrise des opérations de fabrication et leur traçabilité, et aussi pour des raisons économiques, le site de la Ferté Saint Aubin robotise ou automatise progressivement ses ateliers. Des procédés de fabrication pyrotechnique innovants y sont par ailleurs testés. Par exemple le mélange par résonance acoustique « RAM » qui peut permettre de malaxer des composants in situ, c'est-à-dire directement dans le corps de la munition. Cette technologie de rupture permet également de réduire la manipulation de matières énergétiques donc les risques.

Innovation sur les procédés de développement

Si la qualification d'une munition passera inévitablement par un certain nombre de tirs, le processus actuel est encore très empirique et exige plusieurs centaines de tirs, ce qui pour une munition de gros ca-



Atelier d'intégration robotisée des munitions, Thales La Ferté St Aubin

libre est très pénalisant en termes de coûts et de délais.

Le développement des munitions repose sur un savoir-faire empirique. Les dernières décennies ont vu l'émergence de la simulation ; Au travers la caractérisation et la compréhension phénoménologique des événements, le site de la Ferté Saint Aubin développe une capacité de simulation dans différents domaines : la balistique intérieure (dans le canon), la balistique extérieure, la détonique ou le guidage des munitions. L'enjeu sera de pouvoir faire accepter les résultats de simulation comme recevables pour la qualification de la munition, comme c'est le cas depuis longtemps dans le nucléaire civil. ☺



Edouard Pinot,
ICA, Directeur de
Thales VTS France

Après avoir débuté à DCN Toulon, Edouard Pinot a servi à la direction du Trésor, au cabinet du ministre de l'économie puis comme conseiller industriel auprès du ministre de la défense. Il a rejoint Areva, puis Thales où il dirige actuellement le domaine VTS France (l'ex-TDA Armements), qui conçoit et fabrique principalement des mortiers, munitions de mortiers, roquettes guidées ou non.

Explosifs, Forage, Minage, L'EXPERTISE SUR MESURE

TITANOBEL VOUS ACCOMPAGNE AVEC DES SOLUTIONS À LA MESURE DE TOUS VOS DÉFIS

Leader français de dimension internationale, nous apportons aux exploitants de carrières ou de mines ainsi qu'aux entreprises de travaux publics, le plus haut niveau d'expertise dans la production et la mise en œuvre d'explosifs civils.

Forage, minage, nous proposons les compétences, les solutions techniques et les produits les plus pertinents et accompagnons nos clients à toutes les étapes de leurs projets, en France et dans le monde.

Choisir TITANOBEL, c'est choisir l'expertise sur mesure.

titanobel.com

TITANOBEL

EXPLOSIFS • FORAGE • MINAGE

Suivez-nous sur



NOUVELLES MUNITIONS

UNE INNOVATION EN MODE AGILE

Par François Chiarelli, ICETA

En complément des efforts de productivité, de développement de services et de marketing nécessaires pour se maintenir dans un marché hautement concurrentiel, Nexter Munitions a mis en place une démarche d'innovation structurée, avec mode agile, technologies de rupture, produits évolutifs et simulation. Ainsi, l'obus flèche SHARD® a pu être développé en moins de 4 ans contre plus de 10 auparavant.

Pour assurer sa pérennité dans un environnement de plus en plus concurrentiel, Nexter Munitions doit développer ses parts de marchés. Productivité, effort commercial intense pour conquérir de nouveaux pays et entrer dans les services, recherche d'organisation et de modes de fonctionnement plus efficaces, rationalisation des achats... sont quelques-unes des voies empruntées. Une autre clef de la réussite est la mise en place d'une démarche d'innovation structurée.

La production actuelle concerne aujourd'hui des produits dont la faisabilité et le développement ont été initiés il y a 10 à 20 ans, voire plus tôt pour quelques technologies de base... Ainsi en est-il de l'obus d'artillerie LU211, dont les premiers travaux de développement remontent à 1998, de la famille d'explosifs coulés fondus XF® initiée au

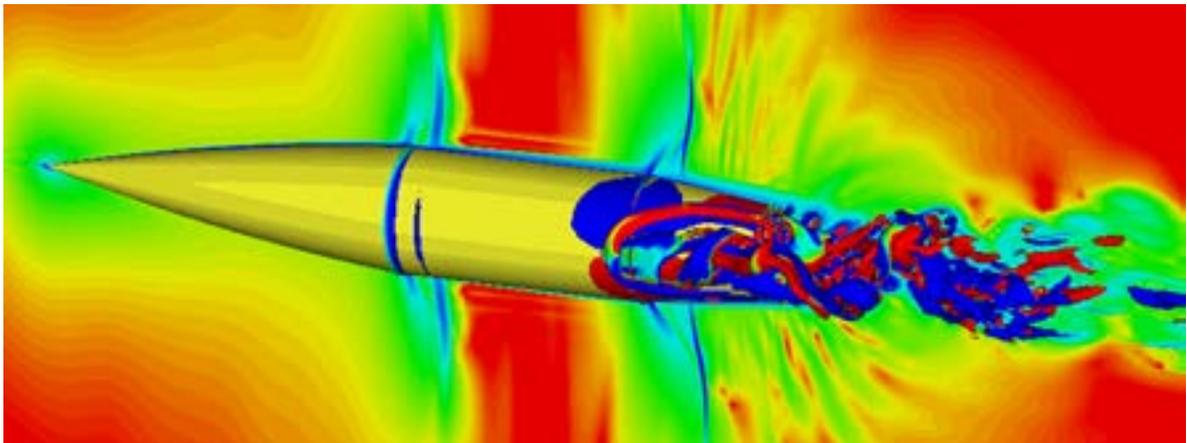
début des années 1990, ou encore des charges modulaires d'artillerie développées avec EURENCO à partir de la même décennie.

Dans l'armement, les cycles de maturation des technologies et de développement des produits se distinguent par des durées longues, souvent supérieures à 10 ou 15 ans. Cela s'explique notamment par des niveaux d'exigences de performances très élevés associés à des efforts financiers importants et des processus de qualification complexes.

La durée de vie des systèmes d'armes étant de l'ordre de 40 ans, la même munition est produite pendant des décennies. Ceci peut laisser le temps aux concurrents d'imiter, voire de contrefaire les produits-phares. Inventer puis déployer une nouvelle technologie est un long processus. Dès

qu'elle est dévoilée, les concurrents peuvent mettre moins de temps à la mettre en place, voire la dépasser. Notre avance est donc provisoire : nous devons avoir toujours « un coup d'avance » par rapport à nos concurrents. Pour cela, il est indispensable d'innover en permanence pour répondre aux besoins nouveaux et futurs du marché.

L'innovation ne repose pas seulement sur la technologie, bien qu'elle en soit le principal moteur. Elle s'appuie sur de nouveaux processus et organisations pour réduire les coûts et les délais, améliorer la qualité, pallier la limitation des possibilités d'essais, capter les technologies, les hybrider, les intégrer et les adapter aux besoins militaires. Elle nécessite des alliances avec des organismes de recherche à la pointe de leurs domaines d'activités – laboratoires universitaires, instituts et PME.



Simulation numérique d'un projectile gyrostabilisé.



Maquette de soufflerie de la munition guidée d'artillerie KATANA®.

La démarche d'innovation technologique et de partenariat doit s'inscrire dans une organisation structurée. Les innovations technologiques explorées en vue d'une intégration produit contribuent à trois objectifs principaux :

- Augmentation de précision
- Augmentation de portée
- Maîtrise et diversification des effets.

Le besoin d'augmentation de précision s'est traduit par l'apparition d'une génération de munitions « intelligentes », dont l'une des caractéristiques est d'embarquer de la « munitronique », c'est-à-dire l'électronique spécifique aux munitions, qui doit allier robustesse, fiabilité et sécurité dans des conditions d'accélération extrêmes (plusieurs dizaines de milliers de g lors du tir). L'obus de 155 mm KATANA® est la concrétisation de cette évolution. Le futur système de combat MGCS sera également équipé d'une munition intelligente apportant une capacité de tir au-delà de la vue directe.

La finalité d'une munition est bien évidemment la neutralisation de l'adversaire. La maîtrise des effets terminaux fait appel à un large panel de technologies et de matériaux. Ainsi, l'initiation de charges explosives par des fusées multimodes se développe. Des fonctions chronométriques ou « retard » donnent aux obus explosifs une efficacité accrue

contre différentes cibles. Là encore, l'apport de la munitronique est décisif. Les nouvelles techniques d'initiation permettent à la fois d'augmenter le niveau de sécurité et de diversifier les effets. Il s'agit des détonateurs électriques générant une onde de choc sans explosif primaire (slappers), de ceux qui utilisent un faisceau laser (optopyrotechnie d'Ariane 6), de systèmes micromécaniques (pyroMEMS®) ou encore de têtes à amorçage multiple.

Les dernières générations d'alliages de tungstène développées ces dernières années confèrent aux obus flèches un niveau de performance comparable à celui des flèches à alliage d'uranium. Des procédés de fabrication non conventionnels ont été imaginés pour les mettre en œuvre.

Les chargements explosifs évoluent : de nouvelles molécules introduites dans les formulations modifient le compromis entre la performance détonique et la vulnérabilité. La variation de leurs effets selon les conditions d'initiation ouvre de nouvelles perspectives en adaptant l'effet au juste besoin pour limiter les effets collatéraux.

La survivabilité des véhicules bénéficie aussi de ces efforts : pour protéger les chars contre les charges creuses et les obus flèches, une nouvelle génération de

blindages réactifs et pro-réactifs est en cours de mise au point.

Enfin, nous avons repensé notre processus d'innovation pour le rendre nativement agile et donc plus efficient. Le développement 3A mis en place depuis quelques années rompt avec les habitudes culturelles issues des approches traditionnelles : spécification figée, cycle en V et financements séquentiels. Il permet de pouvoir proposer rapidement une capacité opérationnelle initiale via un produit dont les performances évolueront au fil des versions. L'un des piliers de cette méthode est le recours au couplage simulation numérique/simulation expérimentale. De nouveaux protocoles et moyens d'essais, des progrès dans les approches scientifiques des problèmes ont été mis en place. Le résultat est probant : l'obus flèche de 120 mm SHARD®, qui surpasse tous ses concurrents, a été développé en moins de quatre ans. ☺



François Chiarelli, adjoint au DT de Nexter Munitions

L'ICETA (er) François CHIARELLI est adjoint au directeur technique de Nexter Munitions, en charge des technologies. Il a commencé sa carrière en 1985 au GIAT dans le domaine des munitions de moyen calibre. Il a occupé plusieurs fonctions hiérarchiques notamment celle de chef d'établissement

BLINDAGE EXPLOSIF CONTRE CHARGE CREUSE

50 ANS DE COMPÉTITION POUR L'ISL

Par Jean-François Legendre, directeur du laboratoire « Protection contre les explosifs et menaces balistiques » de l'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL)

En Ukraine, les blindages explosifs réactifs ne suffisent pas à sauver les chars, pourtant réputés invulnérables. L'ISL, pionnier dans la mise au point de ces systèmes et ayant maintenu des compétences pointues dans le domaine, en poursuit le développement avec de nouveaux matériaux, de nouvelles géométries, des scénarios spatio-temporels en temps ultra-court, pour adapter le blindage à la menace.

Bardée d'une multitude de briques de blindage explosif réactif, la carapace réputée infranchissable des chars russes, surtout sur l'arc avant, a néanmoins révélé ses faiblesses en Ukraine face à l'exploitation du point encore faible des véhicules blindés : le toit. Les nombreuses images de chars à la tourelle éjectée illustrent une vulnérabilité particulière des chars russes : le risque élevé d'initiation des munitions présentes dans le système de chargement automatique dans la tourelle.

Les conflits actuels mettent particulièrement en évidence la vulnérabilité des véhicules blindés, à travers l'emploi intensif de missiles et roquettes antichar à charge creuse, qui projettent un jet de métal hypervélocité aux effets perforants dévastateurs. Des drones de combat équipés de missiles, des munitions routeuses kamikaze et des engins explosifs improvisés vectorisés sur

drones récréatifs civils permettent de démultiplier les attaques par le toit : ces menaces agressent désormais les cibles sur tout l'hémisphère entourant le véhicule.

La protection ne peut reposer sur le seul blindage explosif réactif, même le plus performant contre les charges creuses. Le blindage n'est que l'ultime couche de l'oignon de survivabilité : détecter sans être détecté - ne pas être acquis - ne pas être touché - ne pas être percé - si l'on est percé, survivre. L'amélioration de la survivabilité passe par l'innovation au niveau de toutes les couches : depuis les concepts de manœuvre dans un environnement collaboratif et info-valorisé, jusqu'au blindage, qui n'a pas dit son dernier mot !

Des blindages explosifs réactifs...

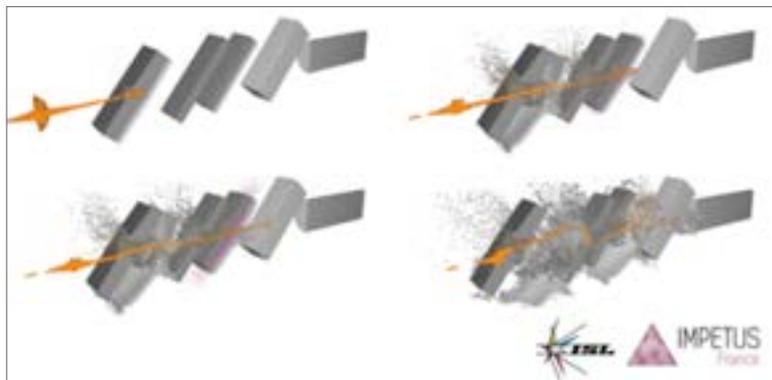
La découverte et la mise au point à l'ISL des blindages explosifs réac-



Char russe T-72B3 détruit en Ukraine

tifs dès 1972 ont marqué un tournant dans la lutte entre les charges creuses et les chars.

Le principe du blindage réactif consiste à disposer sur le passage du jet de charge creuse un sandwich incliné composé de deux plaques métalliques enserrant une feuille d'explosif. Lors de l'impact du jet sur le sandwich, l'explosif entre en détonation et les deux plaques de métal sont mises en mouvement dans des directions opposées. Les interactions multiples entre le jet et les plaques en mouvement perturbent le jet et réduisent son pouvoir perforant. Les blindages réactifs peuvent également être efficaces face aux projectiles-flèche (des barreaux de métal très dense tirés à très grande vitesse) comme cela a été démontré à l'ISL dès 1974 ; dans ce cas il est nécessaire d'utiliser des plaques d'acier plus épaisses que face aux charges creuses et de résoudre certains des problèmes de mise en détonation de l'explosif des sandwiches.



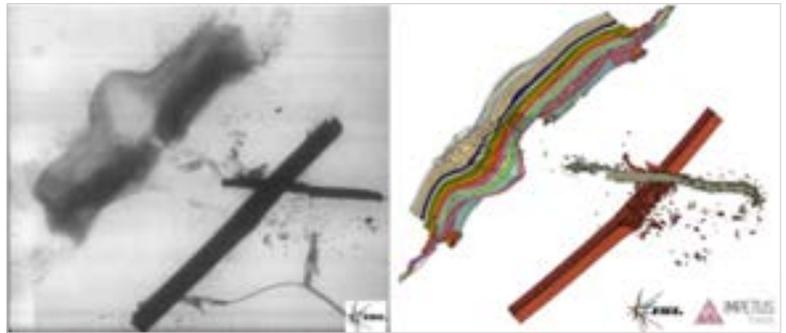
Prototypage virtuel d'une architecture de protection complexe

Si ces blindages explosifs réactifs sont très performants en termes d'efficacité massique, ils présentent quelques inconvénients : par exemple, des limitations vis-à-vis de certains projectiles-flèche, ou encore le risque de dommages collatéraux engendrés par la mise en mouvement des plaques lors de la détonation de l'explosif. En effet, la plaque éjectée à grande vitesse vers l'extérieur du véhicule peut constituer un danger pour les véhicules ou robots amis environnants, tout comme pour les combattants débarqués ou les civils. Ceci peut être limité par l'utilisation de plaques projetées non métalliques ou pré-fragilisées. L'autre point faible est que l'explosif doit être mis en détonation face à un jet de charge creuse, sans être prématurément leurré par des jets ou des projectiles précurseurs (dans le cas de charges tandem) ou par des vecteurs multiples voire initié par la simple mitraille du champ de bataille.

...au « smart-armor »

Les systèmes de protection active, qui projettent des éléments pour neutraliser la menace avant même qu'elle ait touché sa cible, sont complexes, onéreux et ne permettent pas de répondre à toutes les situations. Comment faire de meilleurs blindages explosifs réactifs ? Il faut aller au-delà des solutions largement empiriques déployées jusqu'à présent. Mieux comprendre et décrire finement tous les phénomènes physiques, afin d'exploiter au mieux les vulnérabilités intrinsèques des menaces et minimiser les vulnérabilités des cibles. Choisir le bon matériau avec la bonne géométrie au bon endroit pour la bonne raison.

L'accélération des moyens de simulation numérique actuels permet désormais d'accéder à des moyens de prototypage virtuel de systèmes de protection. Pour au-



Radiographie éclair par Rayons-X et simulation numérique de l'interaction d'un projectile-flèche sur un étage explosif réactif intelligent déclenché par détonateur et à dommages collatéraux réduits

tant, la validité du prototypage virtuel repose sur des expérimentations de calibration préalables très finement instrumentées mettant en œuvre le meilleur de l'état de l'art en métrologie des phénomènes ultra-rapides.

L'ISL est leader dans ce domaine, grâce à des compétences que la période dite « des dividendes de la paix » n'a pas entamées et à l'apport de jeunes chercheurs, ingénieurs et de nombreux doctorants. L'ISL investigate ainsi des architectures de protection novatrices en amont et au profit des développements des industriels.

L'innovation sur ces systèmes de blindages explosifs réactifs réside d'une part dans l'utilisation de matériaux nouveaux et de géométries non conventionnelles, d'autre part dans l'optimisation en temps réel du scénario d'interaction spatio-temporelle entre la menace et les éléments mis en mouvement dans le blindage. C'est rendre le blindage intelligent : le rendre apte à localiser et identifier la menace directement au premier impact, pour qu'il décide soit de laisser la menace initier l'explosif selon le mode conventionnel, soit de déclencher par un détonateur l'explosif du blindage au lieu et à l'instant le plus favorable selon le type de menace. La maîtrise précise de la chronométrie d'initiation commandée de l'explosif peut être facilitée par la technologie ISL de Déto-

nateur Opto-Pyrotechnique qui permet une plus grande précision de déclenchement, une meilleure capacité d'amorçages multiples et une faible vulnérabilité du système. Ce blindage explosif réactif intelligent permet d'optimiser les performances de protection face à un spectre élargi de menaces et facilite la discrimination des leurs. Un challenge consistant à optimiser la boucle de détection/identification au contact a dès à présent été relevé et la faisabilité du système a été démontrée face à un projectile flèche à 1500m/s.

Ces blindages explosifs activables constituent une première famille des blindages intelligents –*smart armor*– qui adaptent la réponse du blindage à la menace. D'autres travaux sont en cours à l'ISL sur la modification en temps réel du mode d'action des éléments de blindage face notamment aux effets de souffle ou aux engins explosifs improvisés. ☞



Jean-François Legendre, Directeur du Laboratoire « Protection contre les explosifs et menaces balistiques » à l'ISL.

Legendre est ingénieur de formation et titulaire d'un doctorat l'Université de Poitiers, spécialité énergétique. Il a rejoint l'ISL en 1989 pour se consacrer la course de vitesse entre le Glaive et la Cuirasse. Tout d'abord du côté de la létalité avec les explosifs non conventionnels et les projectiles-flèche antichar, il passe en 2004 du côté de la survivabilité avec les activités de protection des systèmes d'armes terrestres puis navals à aériens.

INITIATEURS OPTO-PYROTECHNIQUES

POUR APPLICATIONS SPATIALES ET MILITAIRES

Par **Christian de Villemagne**, ICA

L'amélioration des sources laser et l'augmentation continue de la puissance disponible par unité de volume et de poids permettent d'envisager de nouvelles applications dans lesquelles l'énergie laser est utilisée pour initier des réactions pyrotechniques. L'Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis (ISL) a ainsi développé des initiateurs opto-pyrotechniques pour des applications spatiales et de défense, en particulier pour la mise en œuvre de systèmes de protection active ou réactive intelligente. Les avantages de ces systèmes sont nombreux, notamment en termes de sécurité.

L'ISL développe des systèmes d'initiation opto-pyrotechniques (détonateurs et allumeurs) depuis les années 1990, initialement à la demande du CNES.

L'objectif était de remplacer les dispositifs d'initiation électriques à fil chaud du futur lanceur spatial ARIANE utilisés pour déclencher divers mécanismes pyrotechniques par un système alternatif, améliorant la sécurité et la fiabilité vis-à-vis de tous types d'agressions électriques, thermiques ou de chocs. Il fallait pour cela utiliser des explosifs moins sensibles, avec une mise à feu plus sécurisée. La première conception d'initiateurs opto-pyrotechniques utilisait des composants optiques spéciaux pour maintenir l'étanchéité du dispositif nécessaire à son bon fonctionnement et pour focaliser le faisceau laser sur le matériau pyrotechnique afin d'assurer des densités de puissance élevées nécessaires à l'initiation thermique. Des exigences supplémentaires ont conduit à une optimisation de la conception opto-mécanique sans composant optique, avec un contact direct entre la fibre optique et le matériau pyrotechnique.

Alors que les premiers prototypes nécessitaient des sources laser coûteuses, les modèles actuels d'initiateurs opto-pyrotechniques fonctionnent avec des diodes laser

bon marché, disponibles dans le commerce, et délivrant une puissance de quelques watts.

Pour les applications spatiales, une petite couche de composition pyrotechnique de haute sécurité est ajoutée au sein de l'opto-détonateur afin de compenser le retrait et l'expansion thermiques des différents matériaux et garantir la fiabilité de l'étape d'initiation laser en environnement thermique extrême (- 110 °C à + 110 °C).

Pour les applications de défense, qui nécessitent un fonctionnement rapide mais dans une plage de température plus réduite, l'ISL a montré qu'il est possible de se passer de composition pyrotechnique et d'utiliser uniquement de l'explosif secondaire, mélangé à un dopant optique dont le rôle est d'absorber le rayonnement laser.

Grâce aux récents efforts d'optimisation de la conception du dispositif, le temps de réponse peut désormais être contrôlé de manière très précise. Par exemple, sur une plage de température allant de - 50 °C à + 70 °C, le temps de fonctionnement moyen pour une puissance laser de 25 W est de 65 µs



Détonateur optopyrotechnique sous licence ISL

avec une dispersion de plus ou moins 5 µs.

Ces excellents résultats ouvrent un tout nouveau champ de possibilités, en particulier pour des applications de protection active ou de protection réactive intelligente. Le développement de tels systèmes est devenu indispensable face à la montée en puissance des armes antichars ainsi que la vectorisation des menaces, qui fait peser une agression hémisphérique sur les plateformes tant terrestres que navales.

*« UN TEMPS DE
FONCTIONNEMENT
MOYEN DE 65µs »*

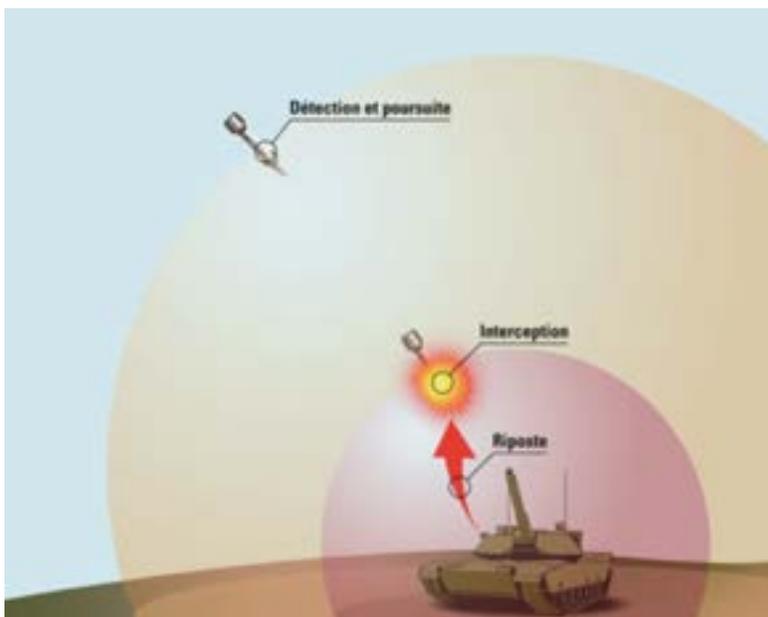
Le principe de protection active consiste à détecter toute menace

en approche et à mettre en œuvre une contre-mesure initiée grâce à une chaîne pyrotechnique. Cette contre-mesure est qualifiée de « hard kill » si elle intercepte la menace pour la détruire ou en réduire le pouvoir perforant. Une protection réactive intelligente détecte une menace au contact et déclenche le blindage explosif de manière optimisée vis-à-vis du type de menace, grâce à une chaîne pyrotechnique.

Le succès de l'interception repose entre autre sur l'optimisation spatiale et temporelle du scénario de rencontre entre la menace et les éléments de riposte.

Dans cette perspective, les derniers résultats obtenus par l'ISL en termes de rapidité et surtout de maîtrise de la dispersion des temps de réponse des détonateurs opto-pyrotechniques, permettent une plus grande précision de déclenchement des contre-mesures, une meilleure capacité d'amorçage de ripostes multiples, une faible vulnérabilité du système tout en garantissant un niveau de sûreté élevé.

Le détonateur opto-pyrotechnique de l'ISL offre de nombreux avantages en termes de réduction des risques. Alors que les technologies classiques de détonateurs utilisent de l'explosif très sensible, contenant souvent du plomb (explosifs dits « primaires »), l'ISL utilise dans ses détonateurs uniquement de l'explosif secondaire. Ceci est un avantage majeur en termes de sécurité, tant lors des phases de fabrication, d'intégration dans le système d'arme que lors de son utilisation. Par ailleurs ces explosifs ne contenant pas de plomb, les détonateurs de l'ISL sont conformes à la directive REACH. Enfin, le détonateur opto-pyrotechnique est par nature insensible aux interférences électriques et aux décharges électrostatiques et sa conception lui



Principe de la protection active « hard-kill »

permet de résister aux essais normalisés d'incendie (test de feu de fuel par exemple) sans détoner.

Cet accroissement du niveau de sécurité permet de simplifier fortement les procédures de montage sur le lanceur Ariane 6 des détonateurs opto-pyrotechniques qui l'équiperont, avec pour conséquences des réductions de coûts et une plus grande flexibilité.

En terme d'intégration système, le dispositif opto-pyrotechnique présente aussi l'avantage d'être compatible avec une architecture d'amorçage multivoie et d'autoriser un déport sur de longues distances entre la source et l'effecteur, grâce aux faibles pertes de puissance des fibres optiques. Pour les applications de défense, il n'y a donc pas de contraintes de localisation de la source laser, qui peut ainsi être logée dans un endroit protégé, où elle ne serait pas détruite lors du déclenchement de la protection active ou réactive intelligente. Le dispositif opto-pyrotechnique se démarque là de la technologie des détonateurs à couche projetée (« slapper detonators ») pour lesquels une

source d'énergie haute-tension est requise et située nécessairement à très faible distance de la fonction terminale.

Les recherches actuelles de l'ISL se concentrent d'une part sur une nouvelle architecture autorisant de nouvelles réductions de coût, d'autre part sur le contrôle de l'étape d'amorçage thermique. L'objectif principal est ici d'améliorer encore la qualité et l'homogénéité des formulations d'amorçage à base d'explosifs secondaires, en étudiant de nouvelles techniques de dispersion. On en attend une réduction supplémentaire du temps de réaction et de sa fluctuation. ☞



Christian de Villemagne, ICA,
Directeur français
de l'ISL

Christian de Villemagne a une longue expérience de coopération européenne en matière d'armement, que ce soit en direction de programme et à un niveau plus politique à la DGA, ou à Bruxelles. A la tête de l'Institut franco-allemand de recherches de défense de Saint-Louis, il lui a choisi une devise « *Frontline Research* », la recherche d'excellence pour la ligne de front » et s'est employé toutes ces dernières années à transformer l'institut à l'aune de cette ambition.

ZENEO®

UN AUTO-INJECTEUR SANS AIGUILLE DÉDIÉ AUX SITUATIONS D'URGENCE

Par Patrick Alexandre, *Crossject*

Sa conception innovante et unique au monde repose sur la combinaison de la science pyrotechnique et de la pharmacie.

Utiliser la pyrotechnie pour sauver des vies

C'est au sein des laboratoires Fournier, à la fin des années 1990, que Patrick Alexandre développe l'idée de créer un dispositif d'injection sans aiguille pré-rempli d'une solution médicamenteuse à usage unique. L'objectif est double ; améliorer la prise de médicament et le confort des patients.

Pour lever les barrières technologiques d'une injection sans aiguille, Patrick Alexandre, en collaboration avec la SNPE, la Société Nationale des Poudres et des Explosifs, se tourne alors vers la science pyrotechnique. L'idée est d'utiliser des matériaux énergétiques pour propulser le médicament à travers la peau. Le défi consiste alors à miniaturiser la technologie éprouvée dans les systèmes de sécurité automobile, afin de remplacer l'aiguille par un système d'air comprimé.

De ce projet naît en 2001 la société CROSSJECT, qui emploie maintenant 100 salariés et dispose d'un portefeuille de médicaments dédiés aux situations d'urgence (épilepsie, migraine sévère, choc allergique, overdose, crise d'asthme...)

Fort désormais de plus de 20 ans de recherche et développement, le dispositif breveté ZENEO®, fonctionne avec un générateur de gaz, avec possibilité de régler la pression en fonction de la future molécule médicamenteuse. Rapide, sûr et efficace, le médicament est injecté en moins d'un dixième de seconde après déclenchement du dispositif, assurant une administration

complète du médicament en toute situation. Grâce à sa simplicité d'utilisation en deux étapes, l'injection peut être réalisée sans aucune compétence médicale, en auto-administration ou par un proche.

L'ergonomie du dispositif, fruit de nombreuses études en facteurs humains (études menées sur un total de presque 1000 personnes), lui permet d'être au plus proche des situations d'urgences vitales, avec un temps d'intervention global après le déclenchement de la crise inférieur à 1 minute.

Crossject repéré par la DGA et le Ministère de la défense

En 2017, CROSSJECT obtient une subvention, dans le cadre du dispositif Régime d'appui pour l'innovation duale (RAPID), mis en place par la Direction générale de l'armement (DGA) et la Direction générale des entreprises (DGE). Cette subvention est alors la reconnaissance de la pertinence de ZENEO® pour les situations d'urgence et la preuve de l'intérêt civil comme militaire du dispositif. Ce projet a également été l'occasion d'adapter ZENEO® pour injecter au travers de vêtements, configuration devenue un standard pour les situations d'urgence.

Deux ans plus tard, en 2019, c'est au tour du Ministère de la Défense des États-Unis et de la BARDA (Bureau du Département Américain de la Santé) de prendre contact avec CROSSJECT, avec également un intérêt dual (en cas d'attaque chimique, d'accident industriel, d'attentat terroriste...).

L'utilisation de la pyrotechnie a



Un dispositif d'injection paramétré en quantité de produit et profondeur d'injection, très facile d'utilisation

permis (de par sa flexibilité et sa capacité à embarquer une énergie importante dans un petit volume) de créer un moyen d'administration de médicaments parfaitement adapté aux situations d'urgence en amont de l'hôpital (i.e. utilisables par un non professionnel de santé avant d'appeler les secours).

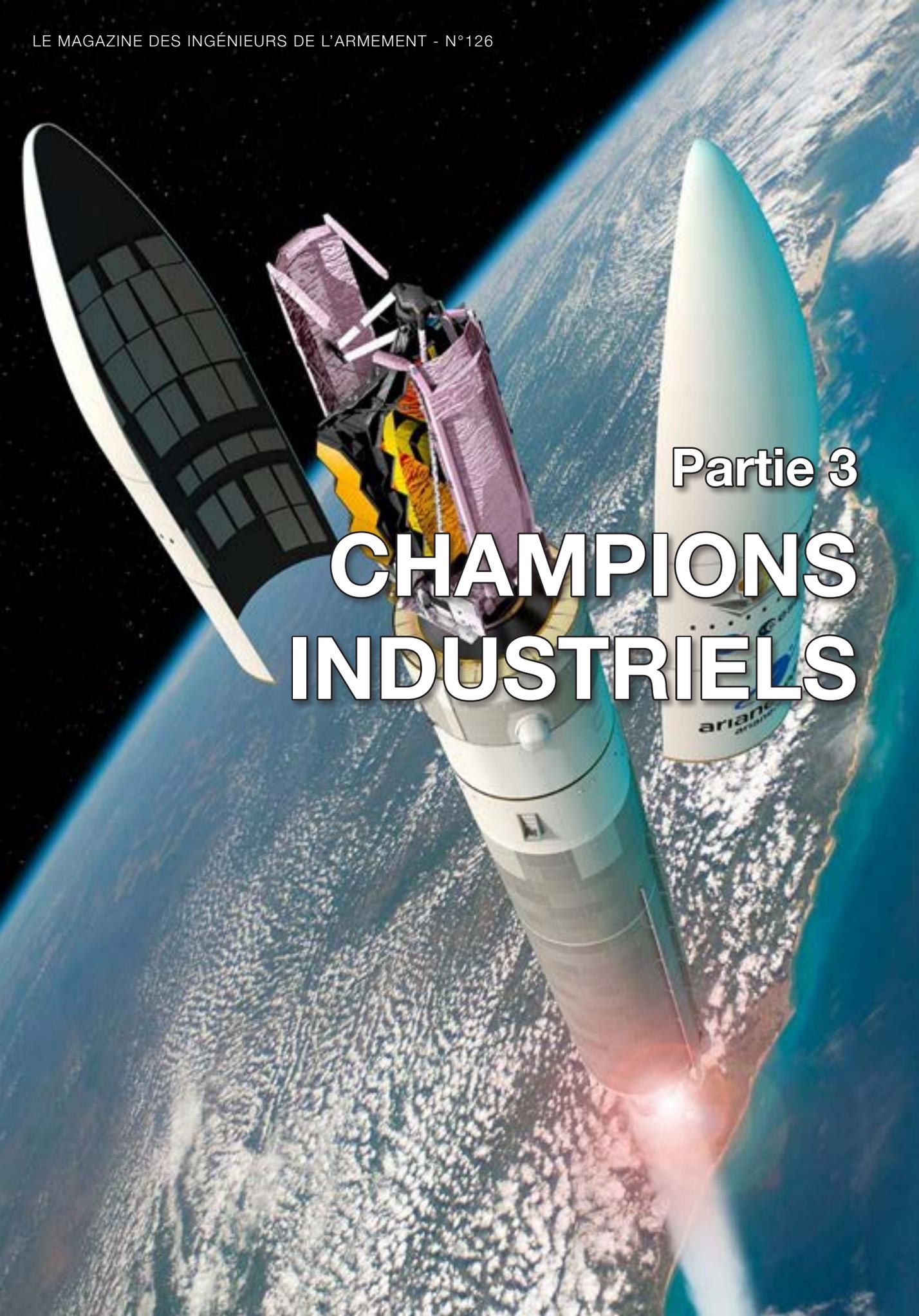
Ainsi après 20 années de développement et d'industrialisation, la société prévoit le dépôt de ses premiers dossiers d'AMM (autorisation de mise sur le marché) durant l'année 2023.

Par ailleurs, CROSSJECT a pu répondre à un appel d'offres de la BARDA, portant sur la fourniture de 776 000 unités de ZENEO® Midazolam (crise d'épilepsie), dont l'instruction et en cours et pourrait déboucher cette année. ☺



Patrick Alexandre,
Président du
Directoire et
Directeur général
de Crossject

Diplômé de Supélec, Patrick Alexandre a été en charge d'équipes de R&D dans le domaine de la sidérurgie pendant plus de 10 ans avant de rejoindre l'industrie pharmaceutique. Il a mené la conception et le développement de la technologie de l'injection sans aiguille au sein des laboratoires Fournier dès 1997. Cette activité est apportée à Crossject à sa création en 2001.

A photograph of an Ariane 5 rocket in space, viewed from a low angle. The rocket is oriented vertically, with its nose pointing towards the top left. The Earth's surface is visible in the background, showing a blue ocean and white clouds. The rocket's main body is white, and the boosters are black. The payload bay is open, revealing various instruments and equipment. The text "Partie 3 CHAMPIONS INDUSTRIELS" is overlaid on the right side of the image.

Partie 3
**CHAMPIONS
INDUSTRIELS**

DE LA « POUDRERIE » À L'INDUSTRIE 4.0

TÉMOIGNAGE SUR 30 ANS D'ÉVOLUTION

Par Jean-Yves Kermarrec, ICETA

Mon parcours à la Direction Générale de l'Armement m'a donné l'opportunité de visiter pendant plus de trente années les différents sites industriels du domaine munitionnaire et pyrotechnique. La France dispose de compétences de premier plan sur tous les aspects de ce domaine, en chimie, en production, en usages. Les filières se sont restructurées et modernisées, comme l'illustre l'automatisation des chaînes et l'introduction du flux continu. La sécurité et l'environnement sont omniprésents, et recouvrent tout le cycle de vie. Une industrie radicalement transformée et bien vivante.



Moyen de destruction biologique des propergols à Saint-Médard-en-Jalles

A la fin des années 80, exception faite des installations liées à la dissuasion ou au spatial, le tissu industriel français dans le domaine de la pyrotechnie est en grande partie vieillissant et surcapacitaire. Cette situation peut alors paraître d'autant plus inquiétante que des tournants majeurs s'amorcent dans la société :

- la fin de la guerre froide ;
- une concurrence mondialisée ;
- des exigences de qualité et de sécurité accrues ;
- de nouveaux enjeux environnementaux ;
- le début de l'ère du numérique...

Certes, depuis, certaines activités ont disparu du territoire national et des sites importants ont été fermés. Cependant, on peut faire le constat global que l'industrie pyrotechnique française a été capable, durant ces trente années de se transformer, de se moderniser, de s'adapter à une nouvelle donne technique et économique.

La grande diversité de nos capacités industrielles

Le premier constat que l'on peut faire, c'est que notre pays dispose aujourd'hui, dans ce domaine, d'un ensemble de capacités industrielles

et de recherche remarquable, probablement le plus large d'Europe. Les produits fabriqués vont d'objets destinés à l'amorçage, qui peuvent ne contenir que quelques mg de produits pyrotechniques, aux boosters d'Ariane 5 qui emportent plus de 230 t de propergols.

Les substances pyrotechniques par leurs capacités à générer différents effets se trouvent associées avec réussite aux développements de nombreux produits. Les piles thermiques qui sont notamment utilisées dans les applications spatiales et missilières en sont un

exemple très intéressant. En effet, ce sont bien des compositions pyrotechniques qui par leur réaction chauffent les électrolytes des piles et ainsi permettent le fonctionnement de ces dernières. La position française est assez remarquable sur ce produit et se développe significativement.

L'utilisation des caractéristiques du fonctionnement pyrotechnique se trouve également dans des produits de notre quotidien et de grande consommation comme les générateurs de gaz pour les airbags des voitures. Cela démontre la capacité de notre industrie à se positionner de façon compétitive sur des segments très concurrentiels.

La profession a également su faire évoluer sa chaîne de valeur en développant des prestations élargies. Dans le domaine des explosifs civils pour mines et carrières, ce n'est plus seulement une quantité d'explosifs qui est vendue mais un service global comprenant des prestations de logistique et d'ingénierie sur le minage.

Une modernisation des capacités de développement et de production

Des progrès considérables ont été faits dans la modélisation du comportement des matériaux énergétiques. Ces nouvelles capacités permettent de réduire significativement le nombre d'essais dans les développements et ainsi de réduire les coûts et les délais de ces derniers. Cela donne au secteur des capacités d'innovation et de réactivité qui n'existaient pas dans le passé.

Ce qui frappe le plus dans une visite d'atelier aujourd'hui, en comparaison d'il y a trente ans, c'est bien évidemment la mise en place de nouveaux moyens de production. L'automatisation des chaînes

de production s'est développée significativement. Ces évolutions ont fait appel à des efforts très conséquents d'ingénierie pour garantir le respect des exigences réglementaires et de sécurité. Cette automatisation a permis d'apporter un accroissement de compétitivité, de qualité et de traçabilité des produits, mais également de sécurité, en mettant les opérateurs à distance des produits pyrotechniques.

Les exemples de ces nouveaux moyens industriels sont nombreux, on peut en particulier mentionner les chaînes de production pour les munitions de moyens et gros calibres, pour les charges modulaires d'artillerie de 155 mm...Le domaine civil n'est pas en reste avec des procédés continus d'extrusion par bi-vis qui permettent de produire des poudres pour la chasse ou le tir sportif. Ce moyen de production en continu permet à notre industrie d'être compétitive, là encore, sur des secteurs très concurrentiels.

« CRÉER UN CAMPUS PYROTECHNIE DU FUTUR À BOURGES »

Une meilleure prise en compte des exigences environnementales

Bien évidemment, la profession a également pris en compte dans ses transformations les nouvelles exigences environnementales, avec la réduction des divers rejets et effluents. Et cela, aussi bien, pour les activités de production que pour celles de destruction et de démantèlement.

Un moyen de traitement biologique avec l'usage de bactéries qui « mangent » les propergols à base de perchlorate d'ammonium a été mis au point pour le démantèlement des gros propulseurs à poudre.

Plusieurs fours de destruction de divers produits pyrotechniques ont été mis en place avec des capacités de récupération et de traitement des fumées issues des combustions.

Bien évidemment, le secteur continue d'évoluer et de se moderniser en permanence. On peut, en particulier, noter les investissements en cours pour la construction d'une nouvelle usine de fabrication d'hexogène, les recherches pour l'utilisation de malaxeurs acoustiques....

Toutes ces évolutions, transforment nos sites de production mais aussi les métiers associés. L'adaptation et le renforcement des compétences techniques des personnels est donc un enjeu majeur pour la profession, d'autant plus que l'on connaît un contexte de turnover des jeunes salariés plus important que par le passé. Ce sont les objectifs des travaux en cours qui concerne la création d'un « Campus Pyrotechnie du Futur » à Bourges. Ce campus aura pour vocation d'apporter, en partenariat avec les autres acteurs de la formation, des solutions concrètes à ces enjeux de compétence. ☺



Jean-Yves Kermarrec,
ICETA, formateur
et consultant

Après son diplôme de l'ENSTA Bretagne, il effectue une carrière de plus de trente ans à la Direction Générale de l'Armement avec des postes en lien avec le domaine munitionnaire : expertise technique, management de projet, politique industrielle, adjoint sécurité pyrotechnique auprès de l'inspecteur pour les poudres et explosifs.

Il est aujourd'hui formateur/consultant pour la réglementation de sécurité pyrotechnique et la gestion de projet en lien avec ce secteur.

LACROIX

UNE ETI FAMILIALE TOURNÉE VERS L'AVENIR AU SERVICE DE LA SOUVERAINETÉ NATIONALE

Par François Moulinier, DGO Lacroix

La société Lacroix, filiale Défense du groupe éponyme, développe depuis une quarantaine d'années des leurres pour l'autoprotection de plateformes militaires. Ses activités prennent racine dans son savoir-faire pyrotechnique, ADN de l'entreprise créée en 1848, et dans les compétences uniques acquises depuis. Dotée de moyens importants en Pyrochimie, Lacroix dispose de capacités de formulation et d'une bibliothèque unique de compositions pyrotechniques appliquées à ses métiers.



Ce n'est pas la tour Eiffel le 14 juillet, mais une séquence de leurrage d'un hélicoptère Tigre

A la fin des années 90, le rachat de l'activité contremesures air de la SNPE donne un essor à Lacroix qui s'appuie désormais sur la gamme de contremesures navales Dagaie et Sagaie, des munitions d'autoprotection de véhicules blindés issues d'une coopération avec Nexter, et une gamme élargie de contremesures air pour la protection d'aéronefs. Au cours de la décennie 2000, l'entreprise redéploie ses activités industrielles du site historique de Muret désormais situé en zone péri-urbaine vers le site de Mazères

situé à 30 minutes de Toulouse, présentant un potentiel plus important de développement industriel.

Montée en gamme

Afin de se rapprocher de ses clients, proposer une offre complète maîtrisée et des concepts d'emploi efficaces, l'entreprise décide de développer les systèmes susceptibles de mettre en œuvre ses propres munitions.

Elle remporte en 2010 un premier contrat aux Emirats Arabes Unis

visant à équiper 900 véhicules du système d'autoprotection Galix, et passe ainsi du statut de munitionnaire à celui d'équipementier pour véhicules blindés. En 2012 un contrat pour l'installation du système de contremesures Sylena sur des patrouilleurs du chantier singapourien ST Marine lui permet désormais de proposer ses propres systèmes de contremesures navales. Depuis plusieurs milliers de véhicules ont été équipés de systèmes Galix, et une trentaine de bâtiments de surface se sont vu équipés de systèmes Sylena.



Les leures navals, de vraies munitions pour protéger les navires

Récemment, Lacroix s'est vu confier par Thales un contrat de développement de charges fumigènes pour obus de mortier de 120mm visant à remplacer les fumigènes classiques au phosphore par des charges fumigènes non toxiques et non incendiaires.

A l'horizon 2030, Lacroix se tourne vers le développement de systèmes d'autoprotection pour aéronaves, ainsi que vers des solutions visant à favoriser la maîtrise des fonds marins.

Leader européen des systèmes d'autoprotection

Dans le cadre de ses nombreux projets, Lacroix coopère avec de grands donneurs d'ordres tels que Naval Group, Thales, Dassault, MBDA, Airbus, Nexter et Arquus, ainsi que des entreprises européennes telles que Fincantieri, Leonardo ou Navantia.

L'entreprise qui se positionne désormais comme le leader européen

des systèmes d'autoprotection Soft-Kill actif ou passif dans les trois milieux, contribue à travers l'excellence de ses solutions et dans le sillage des grands industriels français à la souveraineté nationale. Elle s'appuie pour cela sur son expertise de la guerre électronique, ses activités R&D tournées vers l'innovation représentant 20% de son chiffre d'affaire, 60% de son activité à l'export vers une trentaine de pays, et un site industriel de 60 hectares dans lequel elle investit de manière récurrente.

Tout cela ne serait pas possible sans le soutien actif de la DGA et les nombreux contrats d'étude qui lui sont confiés, comme par exemple l'étude amont confiée par l'AID d'un leurre actif décalé pour la Marine Nationale.

Conclusion

En 2022, fort de son expérience dans les trois milieux, de sa compétence dans les domaines du Visible, de l'IR et de l'EM notamment;

de son évolution de munitionnaire vers systémier du SOFT-KILL ; Lacroix est en mesure de proposer une suite d'autoprotection modulaire et modulable (détecteurs, calculateurs, effecteurs) adaptable à la valeur de la plateforme à protéger.

L'entreprise dispose par ailleurs d'un savoir-faire historique dans le domaine des Pyromécanismes intégrés pour certains à des programmes majeurs relevant de la souveraineté nationale. ☺



**François
Moulinier,**
DGO Lacroix

INSA Lyon 93, passé en production, il rejoint Lacroix en 2000 aux achats avant de s'occuper de commerce (Europe, Moyen-Orient). Il effectue un passage au siège du groupe en charge du Développement International, avant de revenir en 2020 au sein de l'entité défense où il occupe sa fonction actuelle.

LA PETITE PYROTECHNIE

UN DOMAINE ESSENTIEL MAIS TROP FRAGMENTÉ

Par François Degryse, IPA

Avec pas moins d'une dizaine d'acteurs industriels significatifs recensés en France, la petite pyrotechnie est un secteur étonnant : tantôt client, fournisseur ou concurrent, ses acteurs nouent des relations à géométrie variable et à forte imbrication... Notre filière ne manque pas d'atouts : moderne, exportatrice, duale, majoritairement souveraine, elle sert avec brio nos grands programmes d'armement ou spatiaux. Elle doit pourtant s'adapter pour éviter que sa fragmentation ne la fragilise au moment où l'environnement international est devenu beaucoup plus compétitif.



Cordeaux de découpe à enveloppe cuivre pour la sauvegarde des lanceurs – Montée en maturité cofinancée par le CNES



Initiateurs Fonctionnant par Ondes de Chocs (IFOC) – un produit spatial aujourd'hui également décliné pour les missiles tactiques

Née de la fusion des sociétés Pyromeca et Pyrospace, respectivement créées en 1957 et 1987, Pyroalliance s'appuie sur un héritage historique fort de plus de 2000 références produit et fêtera cette année les 25 ans de sa création. C'est une filiale dite « stratégique » de l'État qui exporte 30% de sa production et contribue avec succès aux plus grands programmes de missiles tactiques et de lanceurs spatiaux européens. Nos produits assurent avec une fiabilité incom-

parable des fonctions dites « critiques » pour les systèmes qui les embarquent : allumage moteur, transmission d'ordres, séparations d'étages, actionnements et déploiements d'appendices, neutralisation et sauvegarde, fragilisation de verrières, etc.

Leader français du secteur, Pyroalliance (environ 200 collaborateurs – classe 30 à 40M€ de Chiffres d'Affaires) présente un pedigree assez emblématique des forces mais aussi peut-être les limites actuelles de cette filière sur lesquelles il est intéressant de se pencher...

Les forces de notre filière...

La petite pyrotechnie occupe une place de choix dans un nombre remarquable de systèmes – qu'on peut eux-mêmes qualifier de produits d'exception – depuis les grands programmes de missiles tactiques (Missiles de croisière Scalp / Storm-Shadow, Intercepteurs de la famille Aster, Missiles antinavires de la famille Exocet pour n'en citer que quelques-uns) jusqu'aux programmes de lanceurs spatiaux (avec les familles européennes

Ariane et Vega), en passant par les avions d'armes (comme le Mirage 2000 ou le Rafale). Elle permet d'assurer les fonctions précitées avec une fiabilité à toute épreuve et ceci dans des environnements particulièrement exigeants. Ces grands systèmes comptent et compteront encore longtemps sur la technologie pyrotechnique, en particulier pour ses propriétés de densité énergétique si précieuse pour des systèmes embarqués.

L'industrie française, prise collectivement, maîtrise l'ensemble des technologies associées, et sait les combiner avec succès pour équiper nos programmes. Elle sait également innover et s'adapter aux évolutions des marchés. Pour sa part, Pyroalliance a par exemple su s'imposer dans le très concurrentiel domaine du « new space » en livrant les écrous pyrotechniques qui permettent le déploiement d'une méga-constellation de plusieurs centaines de satellites. Les succès à l'export de notre industrie aéronautique et missilière ainsi que le dernier méga-contrat remporté par Arianespace pour déployer avec le nouveau lanceur Ariane 6 les satellites d'Amazon laissent présager de belles perspectives de productions en série, autant de gages de pérennité pour la filière française.

Enfin, notre filière bénéficie d'un soutien institutionnel souvent

Les approvisionnements : un sujet délicat

Dans notre filière, les volumes de matériaux énergétiques approvisionnés sont modestes et représentent souvent un handicap quand les quantités commandées s'expriment en kilogrammes auprès de fournisseurs qui traitent les matières à la tonne avec leurs autres clients, avec – autre spécificité – un niveau d'exigence de qualité très élevé. Les prix mais surtout la priorité de traitement et les délais de livraison s'en ressentent et doivent faire l'objet d'une surveillance accrue. Par ailleurs, la variété sans limite des poudres et propergols d'intérêt pour nos applications et les faibles volumes associés font de la sécurité et de la souveraineté d'approvisionnement un enjeu majeur : des choix industriels ont dû être faits et, si les composants essentiels restent encore disponibles auprès de producteurs français, il faut parfois user de stratégies complexes pour accéder à l'approvisionnement de certaines compositions.

précieux pour faire émerger les évolutions technologiques nécessaires aux programmes nationaux et européens. Nombreux sont les exemples de technologie dont la montée en maturité a pu être accompagnée financièrement par des dispositifs DGA, CNES, ou ESA jusqu'à atteindre le niveau de TRL (Technology Readiness Level) suffisant pour entrer en développement. La dualité des technologies pyrotechniques permet à de nombreux produits, même s'ils doivent obéir à des spécifications d'environnement adaptées aux applications visées, de s'appuyer sur une souche commune. Les allumeurs des moteurs à propulsion solide – appelés Initiateurs Fonctionnant par Ondes de Chocs (IFOC) – utilisés pour les propulseurs des missiles tactiques ont par exemple bénéficié d'une technologie initialement développée pour les accélérateurs à poudre des lanceurs spatiaux...

...et ses limites qui incitent à la vigilance

En revanche, si l'on peut se féliciter du savoir-faire de l'« Equipe de France » de la pyrotechnie, sa fragmentation est un sujet qui interroge : en effet, tous ses acteurs sont de taille modeste sur le segment de la petite pyrotechnie (au plus quelques

dizaines de M€ de Chiffre d'Affaires) et aucun de ses acteurs ne maîtrise seul l'intégralité de la chaîne pyrotechnique complète [sécurisation – initiation – propagation – fonctions terminales]. Beaucoup, si ce n'est tous, dépendent d'autres acteurs pour certaines briques ou composants de leurs solutions. Les lignes de produits des uns et des autres se superposent et il n'est pas rare dans les appels d'offres de faire face à 4 ou 5 concurrents nationaux ! Le maintien des compétences est aussi un défi de taille pour des structures, parfois, de quelques dizaines de personnes. Il peut être difficile, en effet, de garantir, dans ces circonstances, la qualité et la pérennité des produits quand les compétences critiques impliquées reposent parfois sur un nombre réduit à quelques « sachants ». Enfin, tous sollicitent pour financer leur R&T les mêmes soutiens institutionnels qui se trouvent ainsi trop dilués pour permettre à tous de rester en pointe sur tous les fronts face à la concurrence internationale.

A contrario, de l'autre côté de l'Atlantique, la concentration a déjà eu lieu et les acteurs autrefois aussi fragmentés que les nôtres sont désormais concentrés autour de 3 « champions » qui maîtrisent l'intégralité de la chaîne et pèsent

chacun entre 150 et 200 M\$ de Chiffre d'Affaires. Ils disposent de portefeuilles produits très étoffés et proposent quantité de produits sur étagère déjà qualifiés et dont les coûts de développement ont déjà été amortis sur des programmes nationaux. Ainsi, sur tous les marchés ouverts à la concurrence américaine, l'industrie européenne de la petite pyrotechnie fait face à des concurrents redoutables. De leur côté, les donneurs d'ordre américains ont gagné au change : tout en préservant la possibilité de mise en concurrence, ils disposent de sous-systémiers robustes, compétitifs et innovants.

Une vision pour la filière

La solution est à la fois simple à formuler – concentrer les forces sur quelques acteurs – et complexe à mettre en œuvre car cette fragmentation en Europe est aussi le fait de maîtres d'œuvre intégrateurs qui possèdent des compétences en propre et ne sont pas prêts à s'en départir, soucieux d'en garder la maîtrise de manière autonome. La crise actuelle en Ukraine va renforcer encore un peu plus la volonté d'une souveraineté durable sur les technologies critiques de défense ; assurément il y a sur cette question une voie qu'il conviendrait d'instaurer pour notre filière. ☺



François Degryse, IPA

Directeur de la Stratégie et du Business Development, Pyroalliance

Après 10 ans à la DGA essentiellement consacrés aux programmes spatiaux militaires, François Degryse (X93/SupAero) rejoint Astrium Services en 2008 pour développer l'approche services dans les télécommunications spatiales des Forces Armées puis Astrium Space Transportation en 2012 où il négocie les contrats de production du lanceur Ariane 5. Impliqué en 2015-2016 dans la genèse du programme Ariane 6 chez Airbus Safran Launchers, François rejoint Pyroalliance, filiale d'ArianeGroup en 2017.

PYROTECHNIE MILITAIRE : LES ENFANTS DE SNPE

Par Jacques Cardin, ICA



St Médard en 1910 : la plus vieille pyro de France en activité (360 ans), aujourd'hui à la pointe de la propulsion stratégique

De l'octroi royal à l'entreprise

Tout commence en 1336 avec l'octroi par le roi Philippe VI de Valois d'une *charte* aux fabricants de poudre, placés sous l'autorité du Grand Maître des Arbalétriers.

Puis en 1665, Colbert met en place le régime de *Ferme générale* des Poudres, transformée en *Régie royale des Poudres et Salpêtres* en 1775 dont Lavoisier fut l'un des responsables, régie reprise par l'Etat en 1791.

Avec le traité de Rome, ce monopole d'Etat, porté par la direction des *Poudres de la Délégation Ministérielle pour l'Armement (DMA)*, doit être aménagé : la loi du 3 juillet 1970 portant réforme du régime des poudres et substances explosives porte la *Société Nationale des Poudres et Explosifs (SNPE)* sur les fonts baptismaux en 1971.

SNPE face à la chute du mur

La chute du mur de Berlin en 1989 vient perturber l'activité militaire de

SNPE. Les « dividendes de la paix » font s'effondrer le marché des munitions en Europe. Le volume des poudres et explosifs accessible à SNPE est divisé par 10 dans la décennie qui suit. C'est le temps des réductions d'effectifs (baisse d'environ 2 000 emplois) et des recherches de partenariats.

SNPE réduit alors ses capacités. La poudrerie de Bergerac qui accueillait 5 lignes de production de poudres gros calibre (capacité unitaire de 1 000 tonnes/an) en ferme 4. L'établissement de Sorgues ferme ses ateliers de tolite (TNT) et d'octogène et supprime l'une des deux lignes de production d'hexogène (1 200 tonnes/an). L'arrêt des commandes de roquettes MLRS réduit également considérablement l'activité de propulsion tactique de Saint-Médard.

Dès lors, la restructuration s'impose. Elle se fera en bon ordre pendant 20 ans, segment par segment.

La propulsion tactique : alliance franco-britannique

La première consolidation est l'intégration verticale entre l'activité propulsion tactique de SNPE (Saint-Médard-en-Jalles) et celle de moteurs de missiles tactiques d'Aérospatiale (Bourges). La société CELERG est créée en 1992, détenue à parité. Les parts d'Aérospatiale dans CELERG seront ensuite apportées à Matra Bae Dynamics, devenue MBDA.

En 2003, l'activité de CELERG est fusionnée avec celle de son homologue de Royal Ordnance (GB) à Summerfield : ROXEL voit le jour, aujourd'hui détenue à parité par SAFRAN et MBDA.

ROXEL, complétée des activités de PROTAC situées à La Ferté-Saint-Aubin (Loiret), lors du rachat de Bayern Chemie par MBDA, porte aujourd'hui l'activité franco-britannique de moteurs pour missiles tactiques, en grande partie au profit de son actionnaire missilier.

Les poudres et explosifs : filière nordique

Sur ce secteur perçu comme une commodité, plusieurs péripéties bloquent les trois projets de consolidation menés par SNPE : en franco-allemand entre SNPE et Wasag en 1992, en franco-britannique avec Royal Ordnance en 1993/1998, et de nouveau en franco-allemand avec Rheinmetall en 2001 lorsque l'Etat refuse, sous la pression de GIAT Industries, que Rheinmetall ait la majorité.

NEXPLO et ses actionnaires scandinaves font alors un appel du pied à SNPE qui aboutit en 2004

à la formation d'EURENCO (60% SNPE/20% SAAB/20% Patria) et au transfert des poudres de Berge- rac vers la Finlande et la Suède. Il est ainsi mis fin à la production de poudres militaires en France.

Par la suite, les actionnaires scan- dinaves se retirent du capital d'EU- RENCO en juin 2010 pour ne pas être dilués en raison du besoin de refinancement de l'entreprise pour moderniser l'atelier d'hexogène de Sorgues.

EURENCO sera ensuite racheté, via SNPE, par GIAT Industries en décembre 2013, après un nouvel échec de rapprochement avec Ni- trochemie (détenue par Rheinmetall et RUAG), l'Etat s'opposant aux demandes germano-suissees sur la répartition du capital. Enfin, la création de KNDS entre NEXTER et Kraus Maffei Wegman (KMW) en 2015 interrompt le rapprochement d'EURENCO avec le munitionnaire NEXTER, EURENCO n'étant pas retenu dans la corbeille des mariés.

La grosse propulsion: consoli- dation française et mariage ar- rangé avec les italiens dans le spatial

C'est Saint-Médard-en-Jalles avec la poudrière nationale et le centre d'essais de la DMA, devenu CAEPE (Centre d'Achèvement et d'Essais des Propulseurs et Engins) en 1967 qui est retenue pour implanter les moyens de production des missiles balistiques de la Force Nationale Stratégique (FNS).

Pendant 40 ans, l'Etat va organiser la consolidation de cette filière ma- jeure de souveraineté.

Le tournant des années 70 voit le début de la production des missiles SSBS et MSBS et amène une pre- mière consolidation avec la création

de la SEP (Société Européenne de Propulsion), la SNIAS (Société Na- tionale Industrielle Aérospatiale) et la SNPE. Un groupement d'intérêt économique, le G2P, entre la SNPE et la SEP assure la maîtrise d'œuvre des moteurs.

En parallèle pour les activités spa- tiales, un volet franco-italien est mis en place entre 1989 et 1992 dans le cadre de la politique de juste retour industriel sur Ariane.

Puis la consolidation reprend au dé- but des années 2000 avec le pro- jet de regroupement des activités de grosse propulsion solide de la SNPE et de la SEP (absorbée entre temps par SNECMA). Ce projet est baptisé HERAKLES (par analogie avec son homologue américain, la société HERCULES, motoriste du missile Trident).

La filialisation des activités menées au sein de SNPE et SNECMA est réalisée fin 2002 avec la création de SPS (SNECMA Propulsion Solide) et SME (SNPE Matériaux Energé- tiques), cette dernière reprenant également les participations de SNPE dans Celerg, PyroAlliance, Structil et Regulus. Bergerac et Sor- gues sont intégrés dans EURENCO dont SME est actionnaire à 60%.

Mais un événement majeur vient bouleverser la physionomie de SNPE : le 21 septembre 2001, l'usine de Toulouse de SNPE est ba- layée par l'explosion de l'usine voi- sine d'AZF. Suite à l'émoi causé lo- calement par la présence d'activités considérées comme dangereuses, il est acté à la mi-2002 par le gou- vernement que l'activité phosgène ne redémarrera pas. En revanche, l'atelier de perchlorate d'ammo- nium, matière première essentielle de la propulsion solide, obtiendra son autorisation de redémarrage

après un an d'instruction du dos- sier, incluant la réponse à plus de 1 200 questions de la DRIRE et une tierce expertise menée par l'orga- nisme néerlandais TNO.

Toutefois, la crise de Toulouse a complètement mis à mal l'effort réussi de diversification de la SNPE dans le domaine de la chimie : le démantèlement de SNPE s'accé- lère. Toutes les activités civiles de SNPE sont alors cédées au fil de l'eau et le projet HERAKLES est réorienté vers une cession de SME à SNECMA/SAFRAN sans le péri- mètre EURENCO. La nouvelle so- ciété voit le jour en 2011. Elle est in- tégrée environ un an plus tard dans ASL (Airbus Safran Launchers) avec les activités lanceurs militaires et spatiaux d'Airbus : c'est aujourd'hui ARIANEGROUP.

Trois destins, un ADN commun

Ainsi, les 3 secteurs d'activités de SNPE se sont épanouis dans différentes entreprises : ROXEL, EURENCO et ARIANEGROUP. Au cœur de cette famille, un acteur les a soutenus et accompagnés : le Centre de Recherche du Bou- chet, véritable matrice de leur ex- pertise et de leur développement technologique ; il fait l'objet d'un bel article en fin de revue, que je vous invite à lire. ☺



Jacques Cardin
ICA

Après avoir débuté sa carrière au CAEPE en 1980, Jacques Cardin quitte le cabinet du délégué (Yves Sillard) en 1992 pour rejoindre la SNPE en tant que directeur du départe- ment poudres et explosifs. Nommé directeur général adjoint Matériaux Energétiques dé- but 2001, il est président directeur général de SME et président du conseil d'adminis- tration d'EURENCO dès leur création après avoir participé à la décennie de négociations préalables.

LA COMBUSTION POUR MA SÉCURITÉ

QUAND LA PYRO SAUVE DES VIES (EN GONFLANT LES AIRBAGS)

Par Franck Lebaudy

Une entreprise implantée en Bretagne est leader mondial sur le marché des airbags. Fruit d'un mariage heureux entre un pyrotechnicien et un équipementier automobile, elle manipule des produits de pointe et ne manque pas d'imagination pour de nouveaux produits de sécurité, en lien étroit avec le tissu industriel et universitaire de sa région.



L'airbag, un organe de sécurité désormais universel et qui se gonfle en un clin d'œil

De start-up à star de la sécurité automobile

Livbag est à la fois une entreprise finistérienne d'environ 510 salariés, implantée à Pont-de-Buis et une filiale d'Autoliv, le leader mondial de la sécurité automobile par ceintures de sécurité, airbags et volants. Tournée aujourd'hui à plus de 80% à l'export, Livbag est née en 1990 de la volonté et de l'intérêt communs de deux groupes industriels spécialistes dans leurs domaines respectifs. L'entreprise publique française SNPE-Société Nationale des Poudres et Explosifs - maîtrisait la technologie pyrotechnique des propergols solides pour l'armement et le spatial et cherchait à diversifier ses marchés dans le domaine civil. La société privée suédoise Electrolux-Autoliv, pionnière de la ceinture de sécurité pour automobilistes, ambitionnait de prolonger son succès grâce à l'émergence des cousins gonflables, communément appelés airbags. En tant que joint-ven-

ture 50/50, Livbag allait commencer en équipant sa maison-mère et cliente Electrolux-Autoliv avec un générateur de gaz pour airbag de conducteur, disruptif en termes de compacité et légèreté, particulièrement adapté au marché européen naissant.

Les succès de Livbag sur le marché européen puis mondial allaient venir rapidement et soutenir une croissance fulgurante jusqu'au début des années 2000. Doublement portée par SNPE dans le développement de matériaux propergols et par Autoliv pour l'intégration optimale du générateur de gaz dans le système Airbag, Livbag enchaînait la conception et la production de produits aux performances et caractéristiques ciblées pour les vagues successives d'airbags qui apparaissaient sur le marché. Le moteur du développement des airbags dans la sécurité automobile aura été indéniablement cette technolo-

gie pyrotechnique qui met en œuvre la combustion d'un matériau solide, le propergol, occupant un faible encombrement initial (typiquement de 1 à 50 cm³) et libérant la quantité de gaz nécessaire au déploiement et à la pressurisation de l'airbag (10 à 120 litres) en un clignement d'œil (10 à 50 millièmes de secondes).

En même temps que Livbag devenait en 2003 une filiale détenue à 100% par Autoliv, la rationalisation du marché de la sécurité automobile et la compétition accrue faisaient entrer l'entreprise dans une phase d'optimisation de tous ses processus internes et au premier chef de son outil de production par une forte automatisation. Le challenge de produire des objets pyrotechniques en grande série, sous les règles strictes de sécurité de ce secteur et les exigences de qualité de plus en plus sévères dans l'automobile, continuait à être relevé.

L'art de la sécurité automobile au service de toutes les mobilités

Depuis maintenant une dizaine d'années, Autoliv Livbag s'inscrit dans une nouvelle démarche du groupe Autoliv. La vision reste la même : sauver plus de vies. Le slogan international du groupe Autoliv est « More lives saved, more life lived ». Mais la mission a évolué en s'élargissant du secteur de la sécurité automobile vers « l'offre de solutions reconnues internationalement pour sauver des vies au service de

La voiture autonome supprimera-t-elle le besoin d'airbag ?

L'électrification du parc automobile et l'apparition des véhicules autonomes contraignent et permettent en même temps aux constructeurs traditionnels et à de nouveaux acteurs d'imaginer des architectures de véhicules sensiblement différentes. L'interaction entre l'utilisateur conducteur ou passager et la machine est progressivement transformée. L'expérience utilisateur va également se diversifier et, au moment de l'éventuel accident, le conducteur occasionnel et les occupants pourront par exemple être dos à la route ou allongés. Trois hypothèses semblent valables encore pour de nombreuses années. Il y aura toujours risque d'accident lié à une possible défaillance du véhicule ou à des éléments extérieurs. Le besoin en sécurité dite passive face à l'accident inévitable demeurera et l'obligation du port de la ceinture de sécurité sera toujours en vigueur. L'airbag devra évoluer dans son emplacement et sa géométrie mais restera le complément idéal de la ceinture de sécurité pour parfaire la protection des occupants.

la mobilité et de la société ». Dans ce contexte, la maîtrise par Livbag de la production d'objets en grande série permet d'augmenter chaque jour le champ des applications possibles dans la protection civile des personnes et des biens. Ainsi Autoliv Livbag est un acteur de plus en plus présent dans la fourniture de générateurs de gaz pour vestes-airbags équipant motards professionnels et grand public. La proposition d'airbags portatifs s'élargit actuellement à tout type de sport (ski, équitation, vélo, trottinette, ...) ou de situation à risque (travailleurs en hauteur, ...). Les moyens de mobilité se diversifient. La demande sociétale d'évitement des risques grandit. La technologie pyrotechnique a prouvé être une réponse idéale à ces situations.

« **UN FONCTIONNEMENT UNIQUE, MAIS À COUP SÛR...** »

La performance du produit pyrotechnique n'est pas la seule valeur apportée par l'entreprise Autoliv Livbag à ses clients. La particularité d'un objet pyrotechnique est de ne devoir fonctionner qu'une seule fois mais à coup sûr. Le fonctionnement de l'objet met en œuvre des pressions, températures et flux de ma-

tières très dynamiques qui exigent des connaissances techniques et une maîtrise de la qualité du plus haut niveau, depuis la conception jusqu'à la fabrication. L'ADN de l'entreprise reste immuable depuis l'origine, forgé par la mise en œuvre des meilleures pratiques issues des industries aéronautique, spatiale, militaire et automobile. Le degré d'exigence est maximal : formation et implication du personnel, méthodologie de robustesse des produits et procédés, connaissance des technologies et des meilleures pratiques, amélioration continue, participation à l'établissement de nouvelles réglementations. L'entreprise a su aussi s'adapter continuellement pour rester compétitive. Deux marqueurs de cette recherche permanente de l'excellence sont le Centre technique de l'entreprise, leader chez Autoliv en Europe, ainsi que le choix par le groupe Autoliv de faire de Livbag l'un de ses sites pilotes comme Usine du futur via la digitalisation. Une unité de destruction de produits pyrotechniques est également en place depuis plusieurs années.

Autoliv Livbag invente son futur

Autoliv Livbag cultive de multiples relations et partenariats avec des entreprises, écoles et universités du

Finistère et de la région Bretagne. Notamment à travers des coopérations scientifiques et techniques dans les domaines de la pyrotechnie, de la mécanique et la métallurgie. Les étudiants de Master à l'ENSTA Bretagne de Brest, option pyrotechnie, suivent chaque année un cours d'application à la sécurité automobile au sein de l'entreprise. Une collaboration de recherche avec le laboratoire IRDL-Institut de recherche Dupuy de Lôme de l'UBS de Lorient (UMR CNRS 6027) bénéficie d'un financement France Relance pour 2 ans. Des travaux de recherche se déroulent avec le laboratoire LAAS-CNRS de Toulouse. L'accueil d'apprentis en alternance dans différents services de l'entreprise est régulier. Des communications scientifiques et participations actives aux symposiums internationaux Europyro en France et Airbag 20xx en Allemagne sont régulières.

Toujours à l'écoute des tendances sociétales, Autoliv Livbag a initié depuis plusieurs années une démarche d'Eco-conception. Les exigences des constructeurs automobiles en faveur d'un développement durable sont de plus en plus concrètes. Cette transformation profonde de la société est le dernier défi en date auquel l'entreprise Autoliv Livbag prétend répondre, forte de son esprit d'ouverture, d'initiative, et de challenge permanent. ☞



Franck Lebaudy,
Autoliv Europe,
Directeur
R&D produits
pyrotechniques

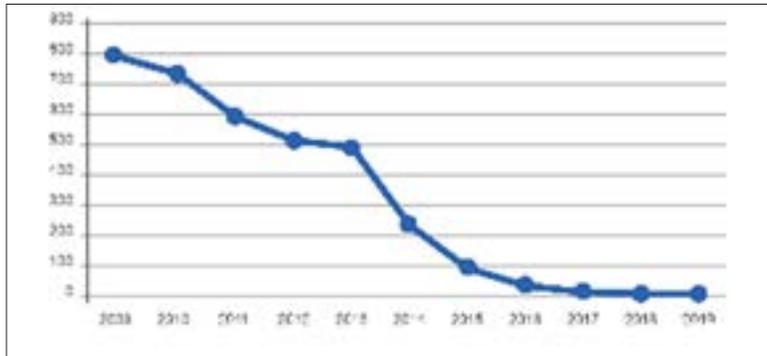
Diplômé des Arts et Métiers ParisTech en 1988, ses expériences d'ingénieur de recherche en métallurgie puis d'adjoint à l'Attaché scientifique de l'Ambassade de France au Portugal lui donnent le goût de la R&D. Il intègre la start-up Autoliv Livbag en 1993 comme ingénieur développement, devient responsable des études avancées, directeur R&D local puis européen. Il est administrateur au SFEPA, syndicat de l'industrie française de la pyrotechnie.

LA DYNAMITE AU PLACARD !

DÉCOUVREZ LES ÉMULSIONS ENCARTOUCHÉES

Par Emmanuel Martin, ingénieur chimiste

Et s'il était possible de remplacer la dynamite, produit instable composé de dérivés de nitroglycérine, par un produit plus performant et plus sûr ?



Evolution des volumes de dynamite (en tonnes) en France depuis 2009

L'aventure démarre à la fin des années 90 par la formulation de l'Irémite 8000. L'objectif de ce nouveau produit était déjà de se substituer à la dynamite dans un esprit d'innovation et d'amélioration de la sécurité. En effet, plusieurs accidents pyrotechniques dramatiques ont eu lieu au sein des dynamiteries au XX^e siècle et au début du XXI^e. Il était donc urgent de développer une nouvelle gamme de produits : EMULSTAR est ainsi née, offrant différents niveaux d'énergie, l'EMULSTAR 8000 étant la gamme la plus performante.

« LA CONSOMMATION DE DYNAMITE EN FRANCE EST PASSÉ DE 800 TONNES À ZÉRO EN 10 ANS »

Il s'agit là d'un sujet capital en matière de Responsabilité Sociétale de l'Entreprise (RSE). Le groupe TITANOBEL connaît les points forts de ses émulsions (EMULSTAR 8000 Plus et 8000 UG) par rapport à la dynamite et les valorise auprès de ses clients français depuis une

dizaine d'années. L'évolution de la consommation de dynamite en France en est une preuve flagrante, passant de 800 tonnes à zéro en 10 ans.

Entre 2009 et 2019, des actions techniques et commerciales ont été menées auprès des clients du groupe afin d'accompagner la substitution de la dynamite. L'évolution du produit EMULSTAR a également contribué à le rendre plus performant mais aussi plus compétitif sur le marché.

En 2020, nous avons décidé de développer nos activités et de renforcer notre positionnement en Europe. Le travail accompli en France est donc à réaliser désormais au niveau européen en mettant en avant 4 arguments majeurs :

	EMULSTAR 8000	Dynamites
Type	Emulsion haute performance TITANOBEL	Dynamite avec 25 à 30% de nitroglycéroglycol
Energie mesurée (Mj/kg)	4.93	4.10
VOD (Vitesse de détonation) (m/s) (fonction du diamètre)	5300 – 5700	2300 – 6500
Résistance à la pression (bars)	Ø ≤ 40 mm → 200 Ø > 40 mm → 400	Jusqu'à 250 (détonation par influence en bas régime de détonation)
Durée de vie (mois)	36	12 à 18 (risque de déstabilisation)



	EMULSTAR 8000	Dynamites
Sensibilité à l'impact Mouton de choc BAM <i>Test ONU 3a)ii)</i>	0 % de coups positifs à 50 J (maximum)	10 à 30 J
Sensibilité à l'impact Mouton de 30 kg <i>NFT 70-501</i>	Hauteur de non réaction ³ 4 m (maximum)	Hauteur de non réaction 1 à 2 m
Sensibilité à la friction Appareil BAM <i>Test ONU 3b)ij)</i>	0 % de coups positifs à 35.3 daN (maximum)	Entre 20 et 35.3 daN
Stabilité thermique Température d'auto- inflammation (chauffage progressif) <i>NFT 70-504</i>	+ 278°C	+179°C <i>(pour %NGI < 30 %)</i>

La performance

L'EMULSTAR est un parfait substitut à la dynamite en termes d'énergie, de VOD et de résistance aux pressions statiques et dynamiques. Elle est aussi efficace que la dynamite en carrières, travaux de démolition, tirs souterrains et pour les déclenchements d'avalanche.

La sécurité

La formulation de l'émulsion EMULSTAR de TITANOBEI ne contient aucune molécule explosive, augmentant ainsi considérablement la sécurité lors de la fabrication, du stockage, du transport, de la mise en œuvre sur site ou encore en cas de raté de tir. L'EMULSTAR est également beau-

coup moins sensible aux chocs et aux frottements.

La toxicité

L'un des principaux problèmes liés à la dynamite lors de sa manipulation est sa toxicité, en particulier le fait qu'il s'agit d'un vasodilatateur. En effet, les dynamites contiennent un grand nombre de composants toxiques notamment le dinitrate d'éthylène-glycol. L'inhalation des vapeurs, l'ingestion et le contact avec la peau provoquent la dilatation des vaisseaux sanguins, il en résulte des maux de tête, et éventuellement des nausées et des vertiges.

Ce risque n'existe pas avec l'EMULSTAR.

L'environnement

Avec nos émulsions EMULSTAR, les rejets de NH₃ et de NO_x pendant le tir sont plus faibles qu'en utilisant de la dynamite. Les quelques données chiffrées ci-dessous aideront à mieux réaliser.

	EMULSTAR 8000	Dynamites avec 25-30 % Ngl
NO _x (l/kg)	0.40	0.2 à 0.35
CO (l/kg)	14.2	16.9 à 21
Indice de toxicité (l/kg)	16.2	18.6 à 22

L'indice de toxicité est un indice mesuré par l'INERIS (organisme notifié français) selon la formule suivante : I.T. = 5 x QNO_x + QCO

Aucune législation européenne n'existe à ce jour, mais qui sait ? Si ces arguments ne parviennent pas à convaincre les plus réticents, peut-être que dans quelques années, la réglementation évoluera en faveur des émulsions... Nous sommes déjà prêts !

En 2009, le groupe Titanobel commercialisait 800 tonnes de dynamite en France et 3100 tonnes d'EMULSTAR 8000. En 2021, le groupe Titanobel ne commercialise plus de dynamite en Europe et fabrique 4100 tonnes d'EMULSTAR 8000. ☺



Emmanuel Martin,
ingénieur chimiste

Emmanuel Martin, ingénieur chimiste, a commencé sa carrière chez Nobel Explosifs France comme responsable de tests et de R&D avant de devenir responsable de production et de R&D. Il est depuis 2008 chez Titanobel, d'abord comme responsable de deux centres de production SEVESO avant de devenir directeur technique de l'entreprise.

L'INNOVATION ARIANEGROUP AU SERVICE DE LA DESTRUCTION PROPRE DE PRODUITS PYROTECHNIQUES

Par **Albert Daprà**, ArianeGroup – Chef du département Remediation et **Guillaume Dupouy**, ArianeGroup – Chef du programme Licorne

Le brûlage à l'air libre des déchets pyrotechniques est une source de pollution environnementale. Ce mode d'élimination, longtemps le seul techniquement faisable, ne correspond plus aux légitimes exigences actuelles que ce soit en termes de préservation de la qualité de l'air pour le voisinage, ou plus généralement de préservation de l'environnement et de la biodiversité.

La recherche de modes d'élimination plus durables a conduit à l'établissement de quelques filières d'incinération spécialisées, mais celles-ci ne présentent pas les performances environnementales requises pour les écosystèmes les plus sensibles. En conséquence, les industriels du domaine sont encore à la recherche de technologies plus durables et compatibles avec les évolutions réglementaires à venir.

Depuis plus de deux décennies, ArianeGroup recherche des moyens de détruire de manière propre ses déchets pyrotechniques qu'ils soient issus de sa propre production industrielle ou bien pour traiter des propulseurs en fin de vie. Pour cela ArianeGroup a adopté une démarche pragmatique incrémentale.

Le premier résultat très concret de cette recherche a été, dans les années 2010, la mise en service d'un moyen industriel de

grande envergure capable de traiter par un procédé biologique le perchlorate d'ammonium contenu dans les propergols composites. Il s'agit de l'installation **LICORNE™**. Cette installation a été développée avec le soutien de la DGA et de la région Nouvelle-Aquitaine.

Forte de cette première réussite, ArianeGroup a souhaité aller plus loin dans la recherche d'une solution propre afin de traiter un plus large spectre de produits pyrotechniques, en particulier des composés nitrés comme la nitrocellulose ou la nitroglycérine. En effet, ces molécules difficilement solubles dans l'eau ne peuvent être traitées par le moyen LICORNE. Pour résoudre ce problème, ArianeGroup, toujours avec le soutien de la région Nouvelle-Aquitaine, a conçu **ELIXIR™** : traitement des déchets par oxydation hydrothermale supercritique. Cette solution représente une rupture technologique qui permet de détruire ces déchets

pyrotechniques organiques grâce aux propriétés particulières de l'eau supercritique sans émission polluante. Cette technologie est opérée industriellement par ArianeGroup depuis 2020.

LICORNE

Pendant des années, le propergol et les déchets pyrotechniques des premières générations de propulseurs de missiles balistiques français étaient éliminés par brûlage à l'air libre. Après plusieurs années de recherche, une solution plus respectueuse de l'environnement a été mise en œuvre et brevetée par ArianeGroup : la station de traitement biologique LICORNE™ (*Ligne Industrielle de Collecte des Objets pyrotechniques et de Réduction Naturelle des Effluents, voir article Kermarrec page 58*).

Opérationnelle depuis 2014 sur le site de Saint-Médard-en-Jalles, celle-ci utilise un procédé innovant de traitement biologique qui permet d'éliminer le propergol et son composant principal, le perchlorate d'ammonium, contenus dans les corps de propulseurs des missiles, ainsi que les déchets de production compatibles avec le site.

Les opérations de traitement au sein de l'usine LICORNE™ se déclinent en trois étapes.

Vidange du propergol : l'objectif est d'extraire au moyen d'un procédé de découpe hydraulique à haute pression le propergol de la structure du corps de propulseur chargé. Cette dernière peut ensuite être éliminée ou valorisée par



Avant, on immergeait ou on brûlait



Schéma de destruction du propergol par voie biologique en trois étapes grâce à l'unité Licorne™

des filières de traitement de déchets. Un système de tri permet de transférer les effluents liquides vers l'unité de traitement biologique, les morceaux de propergol sont quant à eux transférés vers une seconde étape de préparation.

Broyage du propergol et extraction du perchlorate d'ammonium : dans cette étape, le propergol, issu soit des opérations de vidange soit des déchets de production du site, est broyé puis mis en macération dans de l'eau afin d'en extraire le perchlorate d'ammonium. Le résidu solide restant, non pyrotechnique, est externalisé pour destruction (valorisation thermique). Les effluents liquides, comme lors de la vidange, sont transférés vers l'unité de traitement biologique.

Traitement du perchlorate d'ammonium : le perchlorate d'ammonium en solution, issu des ateliers de vidange et d'extraction de Licorne ainsi que les eaux de process des ateliers de production pyrotechnique du site sont introduits dans la station biologique de l'unité LICORNE®. Le procédé consiste en une double réduction des ions ammonium et perchlorate par des bactéries spécialement sélectionnées et développées. L'effluent de rejet, très faiblement salin, se déverse dans la rivière Jalle traversant le site, selon des prescriptions réglementaires particulièrement exigeantes.

Aujourd'hui, la station LICORNE™ est capable d'éliminer 300 tonnes de perchlorate d'ammonium par an. Partenaire financier du projet, la Direction générale de l'armement (DGA) est le principal client de cette unité. Après avoir traité la dernière dotation de propulseurs de missiles M45, l'usine se prépare aux premiers retraits des propulseurs M51.

Pour autant, la capacité actuelle de l'usine LICORNE™ permet le traitement d'autres objets ou déchets pyrotechniques de propergols composites à base de perchlorate d'ammonium. Le développement de solutions de traitement biologique de capacité industrielle adaptées aux besoins d'élimination est possible.

ELIXIR

ArianeGroup a engagé ses premières recherches sur la technologie d'oxydation hydrothermale supercritique (Super Critical Water Oxidation – SCWO) dès le début des années 2000. La technologie était très prometteuse et ambitieuse : oxyder les matériaux énergétiques en les maintenant sous eau ! Longtemps confrontée à la difficulté de mettre en œuvre industriellement cette technologie, grâce aux avancées dans le domaine des matériaux et une mise en œuvre originale de son partenaire danois Aquarden Technologies, ArianeGroup a réussi à mettre au point industriellement son procédé sous eau lui procurant deux avantages

majeurs : la sécurité d'un traitement sous eau et l'absence de rejets polluants.

La technologie

Au-delà de son point critique (220 bars et 370°C), le comportement de l'eau change. Elle devient un excellent solvant pour les matières organiques et offre un cadre très favorable pour l'oxydation : les matières organiques et les gaz sont alors totalement solubles dans l'eau. Grâce à cela, quelques secondes de réaction suffisent pour atteindre un haut rendement de destruction. Ce temps très court permet d'utiliser le réacteur en flux continu, plutôt qu'en batch, ce qui le rend beaucoup plus efficace en termes de débit et de consommation d'énergie.

Le processus de destruction

La matière pyrotechnique est mise en suspension dans l'eau qui est enrichie en oxygène afin que celui-ci soit présent en excès. La matière est ainsi pompée à haute pression en pied de réacteur. La matière est ensuite véhiculée de bas (partie froide) en haut (partie chaude) du réacteur afin d'oxyder totalement la matière organique. Cela a pour conséquence de ne pas générer de polluants issus d'une combustion imparfaite tels que du monoxyde de carbone et les oxydes d'azote largement produits dans les systèmes d'incinération classiques. Le seul effluent liquide issu de la réaction est de l'eau dénuée de matière



organique et comportant, le plus souvent, de l'acide nitrique qui peut être recyclé.

En fonction de la forme du déchet à traiter, des étapes préliminaires peuvent être nécessaires afin d'isoler la matière (cas de terres polluées) et de la broyer, toujours sous eau, afin de permettre sa mise en suspension. ArianeGroup utilise pour cela des moyens classiques de criblage, séparation et broyage industriels.

Les principales caractéristiques

Un réacteur est capable de fonctionner 7 jours sur 7 et 24h sur 24h, mais peut également être opéré en organisation flexible sur la journée. La capacité de destruction est de 100 à 200 tonnes de produits pyrotechniques détruits par an pour un réacteur. Dans le cas de quantité de destruction plus élevée, il est possible de paralléliser plusieurs réacteurs. Cela a pour avantage d'adapter la solution au plus près du besoin. La performance de destruction est supérieure 99,9% avec un bilan environnemental extrêmement favorable (émissions d'oxydes d'azote inférieures à celles d'un véhicule essence euro 5* stationnant moteur allumé). Au-delà de la sécurité apportée par des opérations menées sous eau, l'ab-

sence de rejets polluants permet de s'affranchir de tout impact lié aux évolutions réglementaires inévitables à l'avenir. Le temps d'implantation d'un réacteur est limité à 2 semaines et nécessite une surface utile très faible (200 m²) et une alimentation électrique industrielle classique. La maintenance est elle aussi très limitée et peut être supervisée à distance. Enfin cette technologie est mobile sur un site client afin de traiter des déchets difficilement transportables.

Les applications

Une unité de traitement de produits pyrotechniques est actuellement opérée industriellement sur le site ArianeGroup de Saint-Médard-en-Jalles. D'abord utilisée pour ses besoins propres, cette technologie a d'ores et déjà permis de détruire des déchets pyrotechniques tels que du propergol homogène (ROXEL), du premix (EURENCO), de la poudre B (SNPE Remédiation), de la nitrocellulose, des explosifs (HMX, ...) , des terres polluées à la poudre B,... dans la limite des autorisations actuelles du site.

Un exemple concret : Dépollution de terres polluées ou de ballastières

ELIXIR est particulièrement bien adaptée pour traiter des produits

pyrotechniques stockés sous eau pour éviter toute auto-inflammation tels que de la nitrocellulose ou la poudre B historique stockée dans des ballastières. Cette technologie permet de maintenir la matière humide et de la traiter directement dans le réacteur après broyage. ☺



Albert Daprà,
Arianegroup – Chef
du département
Remédiation

Albert Daprà est ingénieur ISAE-SupMéca 1993. Il débute sa carrière chez Giat Industrie à Satory puis Saint-Chamond avant de rejoindre Areva (filiale TRANSNUCLEAIRE). Il entre en 1999 à l'Aérospatiale aux Mureaux (devenu depuis ArianeGroup) pour piloter des activités civiles (Ariane 5, NGL à Turin) et militaires. Depuis, il a été chef du programme SECOIA et dirige maintenant les activités de démantèlement, dépollution et dépollution d'ArianeGroup.



Guillaume Dupouy,
ArianeGroup – Chef du
programme
Licorne

Guillaume Dupouy est ingénieur ENSAM 1999. Il débute sa carrière chez Andrew (Commscope) où il est responsable du BE mécanique et électronique puis du Centre de Prototypage. En 2013, il rejoint Herakles (SAFRAN) devenu ArianeGroup pour piloter les activités de démantèlement et de traitement biologique.

LA DÉMILITARISATION

UNE FIN ORGANISÉE POUR LES MUNITIONS

Par **Luc Regnier**, Responsable programme des activités de démilitarisation chez MBDA

Les munitions ne sont pas toutes destinées à être tirées. Pour des raisons d'obsolescence des matières pyrotechniques, de remplacement de gamme mais aussi pour respecter des secrets de conception, MBDA a développé depuis 2013 une activité de démilitarisation sur son site de Bourges-Subdray.

En ayant généré plus de 130 M€ de chiffre d'affaire depuis sa création, l'usine, conçue à la faveur d'un appel d'offres de l'OTAN en 2013, emploie aujourd'hui une vingtaine de personnes et fait l'objet de nouveaux investissements pour absorber le plan de charges de rénovation de missiles au cours de cette décennie (les matières pyrotechniques qui se dégradent dans le temps sont remplacées à l'occasion de ces rénovations pour maintenir les performances et la sécurité des missiles concernés).

D'autres projets sont par ailleurs en cours pour nos clients en France (destruction en chambre de détonation statique de missiles non transportables) et à l'export (démantèlement de vieilles munitions de tout type en parallèle des contrats de livraison de missiles).

Cette activité vise deux objectifs stratégiques :

- Être présent sur tout le cycle de vie des munitions et répondre ainsi aux responsabilités sociales (dangerosité des matériaux pyrotechniques au-delà de la durée de vie qualifiée) et écologiques (retraitement des matières et destruction la plus propre possible) de MBDA,
- Protéger les savoirs faire industriels et les secrets de la Défense nationale associés aux munitions à déconstruire.

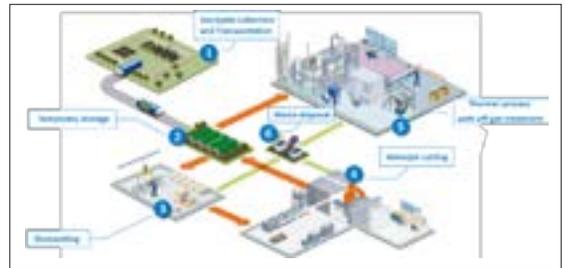
Récente, l'usine répond aux meilleurs standards de l'industrie dans le domaine de la pyrotechnie et de la protection de l'environnement. Elle

peut traiter tout type de munitions (cartouches, munitions de petit calibre, roquettes, obus..., à l'exclusion des munitions chimiques), d'équipements pyrotechniques (propulseurs, dispositifs de mise à feu, actionneurs, boulons...) ou de matières pyrotechniques (propergols, explosifs primaires ou secondaires).

Elle est optimisée pour les munitions les plus complexes, les missiles.

Après leur prise en charge, ces derniers sont démontés puis :

- Les éléments inertes sont, si nécessaire, dénaturés ou réutilisés tandis que les matériaux dangereux sont séparés (joints amiantés, traceurs radioactifs, etc...) et traités par des filières spécialisées,
- Les charges militaires sont actuellement détruites par des partenaires européens,
- Les moteurs fusées sont découpés en tronçons par jet d'eau haute pression et sont ensuite traités dans l'unité de traitement thermique (chambre de détonation et traitement des déchets solides et des rejets gazeux) avec les autres équipements pyrotechniques,
- Les déchets générés par l'exploitation sont minimisés (eau de découpe retraitée et réutilisée par exemple) et traités par des filières spécialisées (concentrations issues du retraitement de l'eau de



Une installation de démantèlement optimisée

découpe, boues et résidus de combustion...).

L'usine actuelle a fait l'objet d'un investissement d'environ 15M€ financé par le Ministère des Armées et MBDA. Aujourd'hui, MBDA réinvestit plus de 9M€ pour optimiser le processus de découpe des propulseurs afin d'absorber un doublement du plan de charge prévu à partir de 2023.

Cet outil donne à la France un ensemble opérationnel unique en Europe capable de traiter dans le respect des contraintes environnementales le démantèlement des missiles et démontre son engagement à limiter drastiquement la pollution générée par la destruction à l'air libre des munitions et matières pyrotechniques. ☺



Luc Regnier,
Responsable
programme
des activités de
démilitarisation
chez MBDA depuis
janvier 2020

Ingénieur de l'École Navale (96), diplômé de l'École de Guerre (2008) et d'HEC (E.M.BA 2010), Luc Regnier a servi 23 ans dans la Marine Nationale. Il rejoint la direction du Support & Services Client de MBDA en 2016 pour travailler au soutien des clients de MBDA à l'export.

LA DÉPOLLUTION PYROTECHNIQUE NE CONNAÎT PAS LA CRISE !

Par Xavier Lebacqz, IGA

Éliminer les vieilles munitions, on en a pour 700 ans



Munitions récupérées...

Chaque année, rien qu'en France, plus de 500 tonnes de munitions non explosées sont retrouvées.

Les munitions des dernières guerres mondiales n'explosaient en effet que pour environ 70 à 80 % d'entre elles. Des obus qui n'ont pas explosé, enfouis sous des mètres de terre, finissent par être découverts et des bombes sont mises à nu lors de terrassements ou par effet du gel, voire des vibrations, même si elles sont plus denses que le sol.

L'avenir est donc dégagé pour les équipes de la sécurité civile ou les entreprises qui neutralisent ces munitions sur place lorsqu'elles sont jugées intransportables, mais aussi celui des entreprises capables de démanteler celles qui sont transportables par des procédés techniques dérisqués.

Parmi les sociétés de dépollution, déminage et démantèlement pyrotechniques, on peut citer EURENCO qui a

repris une bonne part des activités de SNPE, MBDA, Ariane Group, SNPE, EOD-EX filiale de VEOLIA, SUEZ Remédiation, Navarra TS, Alsetex, Geomines, Deminotec, Uxomap...

Toute la difficulté est de brûler la charge explosive et de ne pas provoquer son explosion... Plus elle est vieille, plus c'est difficile !

Pour les munitions chimiques, c'est le site de traitement SECOIA d'Ariane Group qui permettra de les éliminer. SECOIA est l'acronyme de « Site d'Élimination des Charge-ments d'Objets Identifiés Anciens », sans même le mot chimique, quelle pudeur ! Le transport des vieux obus chimiques jusqu'à cette usine a été sans aucun doute particulièrement étudié...

Outre ces munitions dispersées dans la nature, il faut démanteler celles qui sont arrivées à péremption ou qui n'ont plus d'utilité, voire même dont l'emploi est interdit,

comme par exemple les roquettes à sous munitions antipersonnel.

La France avait encore 22000 de ces roquettes en stock il y a une dizaine d'années et une usine de démantèlement a été construite depuis par MBDA à Bourges pour les éliminer (découpe au jet d'eau sous pression et brulage de la matière active dans un four spécifique). Cette usine est aussi capable de traiter des bombes, des obus et des leurres.

Sans cette usine, des dizaines de camions chargés de munitions traverseraient encore la France de nuit vers les usines italiennes, allemandes et espagnoles.

Les réserves de munitions à éliminer sont titanesques. Il faut ajouter celles qui ont été immergées intentionnellement ou accidentellement dans les lacs et mers du globe. Un Liberty Ship, le Richard Montgomery, est encore échoué depuis 1944 dans l'estuaire de la Tamise avec 14000 tonnes de munitions à bord, capables de l'explosion non nucléaire la plus importante de l'histoire.

Mais les munitions ne sont pas les seules à polluer nos sols et mers. Les sols des usines de fabrication de munitions ont accumulé des quantités de matières dangereuses, notamment de la nitrocellulose et de la nitroglycérine. En outre, les usines françaises, sous exploitation allemande, ont été légèrement bombardées pendant la seconde guerre mondiale par les alliés.



Les mâts du Richard Montgomery

C'est notamment le cas de l'ex-poudrerie de Braqueville à Toulouse. C'est sur le périmètre de cette ancienne usine que se trouvait l'usine AZF et se trouvent encore, entre autres, des installations de la SNPE. Ces emprises sont maintenant occupées, après dépollution des terrains, par le canceropôle de Toulouse.

Aujourd'hui, si le diagnostic de pollution pyrotechnique est obligatoire, la dépollution des terrains militaires cédés au civil n'est nécessaire qu'en fonction de l'utilisation prévue des terrains.

Mais une partie de l'ex-poudrerie reste problématique : les ballastières, étendues d'eau artificielles qui permettaient de maintenir en sécurité des matières pyrotechniques (poudres à base de nitrocellulose) en les immergeant. Il y a bien eu des dépollutions partielles avec brûlage à l'air libre des poudres, ce qui

n'est certes plus écologique, mais des milliers de tonnes de poudres se trouvent encore immergées à quelques mètres de profondeur à proximité de l'oncopôle.

La zone de ces ballastières, sanctuarisée, est devenue une réserve Natura 2000, un paradis pour la flore et la faune locales... Les estimations de la quantité de poudre restante ont certes baissé (de près de 46000 début 2000, on parle aujourd'hui de 5000), mais son élimination serait encore à faire, nécessiterait des fours spécifiques et coûterait très cher.

Ainsi la dépollution de l'ex-poudrerie d'Angoulême a demandé 15 ans et coûté 170 millions d'euros... On craignait que la pollution de ses sols ait pu conduire à la formation de cavités sous-terraines aux parois recouvertes de nitrocellulose, voire de nitroglycérine cristallisée, qui sait ? C'est surtout de la nitrocellulose qui

fut trouvée dans le sol, Ouf ! Un magnifique livre a été publié par SNPE « La poudrerie d'Angoulême 1819-2019 » ; on y trouve l'historique de la poudrerie et de sa dépollution.

Les installations spécifiques d'EU-RENCO/SNPE qui ont permis la dépollution à Angoulême, une fois démontées, pourraient d'ailleurs avantageusement servir sur d'autres sites, dont celui de Bergerac puis celui des ballastières de Toulouse.

Les ballastières de Toulouse avaient été acquises par AZF puis, après l'explosion de 2001, reprises par le ministère de la Défense moyennant une réfaction préalable de la clôture, car des visiteurs anonymes venaient faire des récoltes de bandellettes de nitrocellulose sur les rives de ballastières, la poudre à base de nitrocellulose étant un allume-feu très efficace ...

L'avenir du site est encore en discussion : dépollution très onéreuse et incompatible avec Natura 2000 ? Stockage sécurisé pour des siècles ?

L'élimination des munitions et des pollutions pyrotechniques a donc encore, hélas, un bel avenir. Les innovations y ont toute leur place : absorption par les plantes, les champignons, voir rien du tout pour les munitions « vertes » qui laissent sur le site le moins de produits nocifs pour l'environnement... Diable ! ☹



En rouge, localisation des ballastières de Toulouse



Xavier Lebacq,
IGA, consultant

Xavier Lebacq a effectué une grande partie de sa carrière à la DGA dans une large palette de métiers, dont celui de directeur de programme du PA CDG. Après avoir supervisé les études du second porte-avions, il s'attela au démantèlement du Clémenceau puis de tous les matériels militaires avant de quitter l'administration en 2010

PYROTECHNIE FESTIVE

QUAND LES ARTISTES ET LES INGÉNIEURS SE RENCONTRENT...

Par David Proteau & Alain Jouanjus, IGA

La pyrotechnie, c'est aussi ce qui nous fait voir de toutes les couleurs à chaque 14 juillet, sans qu'on se rende compte des exigences sous-jacentes. Nous avons demandé à deux acteurs privilégiés, Alain Jouanjus, ancien DG de la municipalité cannoise et David Proteau, directeur artistique de l'artificier Ruggieri et ancien champion du monde de feux d'artifice, de nous faire part de leur expérience.



Crédit photos : Palais des Festivals - Dervaux

La CAIA : La ville de Cannes organise chaque année un festival pyrotechnique : de quoi s'agit-il ?

Alain Jouanjus : Tous les ans une cinquantaine de feux d'artifice sont tirés dans la baie de Cannes. Un mariage, un anniversaire, la fin d'un congrès ou une fête à bord d'un yacht ou sur la plage se ponctuent souvent par un feu d'artifice de quelques dizaines de minutes ; c'est l'occasion pour toute une partie de Cannes et des touristes de profiter de ce spectacle enchanteur.

Mais les plus beaux feux sont assurément ceux organisés dans le cadre du festival pyrotechnique qui se déroule du 14 juillet au 24 août et donne lieu à six soirées exceptionnelles depuis 1998. Un concours mondial réunit en effet les meilleurs artificiers du monde en compétition

pour la Vestale d'argent ; les lauréats concourent eux-mêmes tous les quatre ans pour la Vestale d'or qui est une distinction très prisée dans la profession.

C'est l'occasion d'une grande fête populaire qui réunit jusqu'à cent mille spectateurs sur les plages de la Croisette la Croisette ou les hauteurs de Cannes sans compter les nombreux bateaux venus des ports des environs et qui ferment la baie avant de repartir dans un concert de cornes de brume qui conclut la fête.

Le feu est tiré pendant une demi-heure à quatre cents mètres du rivage depuis cinq barges principales et de nombreuses « bargettes » complémentaires ; une puissante sonorisation rythme et complète la thématique du soir.

Toutes les générations, toutes les classes sociales sont réunies dans une ambiance bon enfant avec certes des mesures de protection

renforcées depuis le terrible attentat de Nice le 14 juillet 2016.

La CAIA : Ruggieri est un fournisseur majeur de spectacles pyrotechniques. Peux-tu nous décrire votre métier ?

David Proteau : RUGGIERI imagine et réalise des spectacles d'artifices et multimédias. Nous sommes spécialisés dans les œuvres visuelles et sonores monumentales telles que des feux d'artifices musicaux ou bien encore une cérémonie majeure pour un événement planétaire. Nous élaborons des créations à forte charge émotionnelle pour faire vivre à nos clients et spectateurs des expériences uniques originales et spectaculaires. Pour cela nous devons en permanence innover pour surprendre et émerveiller. RUGGIERI est donc composée de spécialistes dans de multiples corps de métiers événementiels pour maîtriser l'ensemble des technologies et moyens sécuritaires et créatifs nécessaires au succès de ses spectacles.



Crédit photos : Palais des Festivals - Dervaux



Crédit photos : Palais des Festivals - Dervaux

La CAIA : Vous avez participé à ce concours : quel souvenir en avez-vous ?

David : Je garde en mémoire tous ces instants d'émotions, ce privilège de pouvoir illuminer la baie de chorégraphies volumétriques aux esthétiques soignées récompensées par les applaudissements d'un public fidèle et aguerri aux grands feux d'artifices internationaux. Les concours sont pour nous les illustrations de notre art et de notre savoir-faire. Ils engagent l'image et la notoriété de RUGGIERI, les enjeux sont donc particuliers. Lorsque nous participions au concours de Cannes, RUGGIERI était saluée pour y présenter sa collection pyrotechnique de l'année suivante, nous avions à cœur d'y représenter la French Touch avant-gardiste.

La CAIA : Et pour les services de la ville, comment vit-on de l'intérieur un tel événement ?

Alain : Pour les services de la ville et de sa société d'événementiel, la Semec, cela représente trois nuits de préparation pour installer les barges, les charger puis contrôler le plan d'eau, organiser et surveiller la Croisette et enfin nettoyer la baie pour en retirer les restes des fusées dont on n'admettrait pas qu'ils la polluent.

Le festival pyromusical est un élément d'attraction fort de l'été pour l'ensemble des hôtels, les restaurants, les bars ou les plages. On

estime qu'un euro investi génère cinq euros de retombées économiques. Si la Semec dans le cadre de la délégation de service public qui la lie à la ville de Cannes investit 50 000 € par soirée, le coût total peut être estimé au triple grâce aux nombreuses contributions des services de la Ville et aux compléments qu'apporte l'artificier en autofinancement pour décrocher le fameux trophée de la Vestale d'argent ou a fortiori de la Vestale d'or.

La CAIA : La pyrotechnie demande donc beaucoup de rigueur notamment sur le plan de la sécurité : comment rester créatif et continuer à surprendre les spectateurs ?

David : La sécurité et la maîtrise parfaite de nos spectacles sont nos principales préoccupations. Lorsque nous investissons un lieu tel que la Tour Eiffel, ou bien encore la baie cannoise, nous commençons par réaliser une étude de sécurité pour connaître l'ensemble des contraintes. Puis nous élaborons le dispositif technique et entamons le processus d'imagination. La créativité est donc la formidable résultante de la sécurité du site et du monde imaginaire et surprenant qui en découle. On peut donc en déduire que la sécurité est un élément moteur à la créativité de nos équipes, elle nous pousse à innover pour étonner, toujours plus, les spectateurs.

Alain : Le festival pyromusical est une manifestation artistique, festive et populaire qui grâce à des prouesses techniques et à la mobilisation de nombreux acteurs embrase le ciel de la baie de Cannes et offre une soirée d'exception à tous.

La CAIA : Finalement, le pyrotechnicien : ingénieur ou artiste ?

David : Qu'est ce qui fait d'une personne un artiste ou un ingénieur ? L'art est-il le fruit du travail ou du génie ?... Léonard de Vinci est pour moi le plus bel exemple de l'ingénieur artiste. Alors que le pyrotechnicien transmet ses émotions, ses sensations et réflexions sous la forme de son art de la maîtrise des feux colorés et sonores, il fait appel à son imagination, à sa créativité, à son inventivité, pour innover et s'adapter aux contextes. Ingénieur et artiste ne forment plus qu'un, symbiose indispensable à mes yeux pour créer des spectacles, uniques, des moments immersifs d'émerveillement. ☺



David Proteau,
Directeur
Artistique Grands
Événements et
Parcs d'attractions,
Sté RUGGIERI
Groupe ETIENNE
LACROIX.

Scénographe, metteur en scène et directeur artistique, David Proteau signe les spectacles RUGGIERI à travers le monde. En 2010, David remporte les Championnats du monde de feux d'artifice tenus à Oman et en 2013 le trophée de la personnalité événementielle internationale de l'année, trophée décerné au Palais des Festivals de Cannes. Il s'est maintenant spécialisé dans la création de spectacles multimédias en y intégrant lumière, lasers, fontaines, et drones.



Alain Jouanjus,
IGA

Consultant. Directeur général des services de la Ville de Cannes entre 2003 et 2014

LA SÉCURITÉ, ADN DU SFEPA

100 ANS AU SERVICE DE LA PYROTECHNIE FRANÇAISE.



Par Jean Frédéric Dartigue Peyrou

Centenaire, notre syndicat renouvelle son offre de services pour les industriels de la pyrotechnie française et leur développement.

Le Syndicat des fabricants d'explosifs, de pyrotechnie et d'artifices accompagne dans son développement l'industrie pyrotechnique française civile et de défense, porte sa voix auprès des administrations et défend ses intérêts. Le SFEPA fédère des entreprises de tous les domaines de la pyrotechnie, des industriels régionaux jusqu'aux leaders mondiaux.

Une industrie pyrotechnique nationale dynamique

Concrètement, l'industrie pyrotechnique développe, produit, transforme, commercialise et utilise des substances et des objets explosifs très variés. Héritière d'une longue tradition, elle est présente aujourd'hui dans de nombreux secteurs, souvent de pointe : les charges militaires et les propulseurs des missiles, les munitions, les boosters des fusées Ariane, les artifices de divertissement, les explosifs industriels pour les mines et carrières, les airbags, les générateurs d'oxygène respirable, les pyromécanismes spatiaux, la pharmacie, les inflammateurs, etc.

Au croisement de l'industrie chimique et de l'industrie mécanique, elle développe une très large gamme des substances explosives utilisées ensuite pour produire des séries de quelques spécimens jusqu'à plusieurs centaines de millions d'unités, souvent à partir de moyens industriels spécifiques. Elle génère ainsi plus de 15 milliards d'euros de chiffre d'affaires annuel et emploie plus de 45 000 personnes sur tout notre territoire.

Accompagner les industriels dans la construction de l'indispensable maîtrise des risques

Si les outils de production sont souvent très différents, le potentiel énergétique et la sensibilité aux agressions (choc, frottement, chaleur, électricité statique, ...) des substances explosives imposent aux pyrotechniciens l'assurance de la sécurité d'exploitation des processus, notamment dans leur composante industrielle.

L'élaboration d'une analyse des risques en vue de les maîtriser requiert d'abord un inventaire précis des dangers intrinsèques aux substances, objets et activités projetés. Il permet ensuite de retenir les mesures techniques de prévention adaptées et accessibles à la capacité économique de l'acteur.

Dans le cadre du « service à la carte » mis en place en 2019, l'industriel adhérent et ses équipes peuvent faire appel à l'expertise du SFEPA pour les conseiller, bénéficier de son large retour d'expériences et de son analyse critique, mais aussi pour s'appuyer sur ses recommandations sur tous les plans : par exemple pour son système de gestion de la sécurité pyrotechnique, son processus d'amélioration continue ou tout autre besoin relatif à la sécurité industrielle, la sûreté, la mise sur le marché et la mise en œuvre des explosifs et articles pyrotechniques, le transport des marchandises dangereuses de la classe 1 et l'application de Reach et CLP aux explosifs, etc.

Agir pour tous les acteurs

L'industrie de la pyrotechnie française se trouve au centre de nombreuses réglementations. La liste est impressionnante : code du travail, règlements européens REACH et CLP relatifs à la sécurité des travailleurs et des consommateurs, code de l'environnement pour la protection de l'environnement des sites industriels et des ressources naturelles, directives européennes, code de l'environnement pour la sécurité d'utilisation des produits et leur mise sur le marché européen, code de la défense, règlement européen des précurseurs d'explosifs vis-à-vis de la sécurité publique, réglementation internationale de transport des marchandises dangereuses pour la sécurité et la sûreté des transports... : rares sont les domaines industriels aussi régulés !

Soyons clairs : ce corpus réglementaire très dense, composé de textes parfois contradictoires et souvent construits indépendamment les uns des autres, apparaît particulièrement abscons pour les acteurs économiques, voire les administrations. Régulièrement soumis à des interprétations, il peut s'avérer source de surcoûts et de distorsion économique entre Etats de l'Union Européenne ou vis-à-vis du reste du monde.

Toutes ces réglementations concernent néanmoins des enjeux forts industriellement et socialement. Les respecter exige une bonne compréhension et une juste analyse pour une application efficace et surtout efficiente pour des entreprises exposées à la compétition mondiale.

Aussi, le SFEPA contribue directement à la construction des compromis et à la recherche du juste équilibre entre les différentes dispositions réglementaires, et intervient à plusieurs niveaux. Notre syndicat agit auprès des industriels adhérents d'abord, en leur proposant un service de veille, d'analyse et de décodage des textes réglementaires pour y trouver le niveau d'application le plus adapté à la situation propre de chaque adhérent.

Nous proposons également un « service à la carte » à nos adhérents qui combine expertise réglementaire, compétences en pyrotechnie, sécurité industrielle, sûreté des installations, retour d'expériences et analyse critique, pour assister l'industriel sur tout besoin qu'il aura lui-même défini. Trois ans après le démarrage de ce nouveau service, il apparaît que les six thématiques les plus abordées sont afférentes à la détermination de solutions optimales entre exigences réglementaires et coûts d'investissement et d'exploitation, au conseil lors l'élaboration de documents de sécurité, au soutien dans la relation avec les services de l'Etat, à l'assistance à la formation de dirigeants ou de salariés, aux audits et conseils ou enfin, à l'accompagnement de prise de poste de cadres.

Nous agissons également auprès des administrations françaises et européennes. En sa qualité de syndicat professionnel expert portant la voix d'industriels français, le SFEPA apporte sa compétence réglementaire, industrielle et « historique » aux administrations pour l'élaboration des textes réglementaires (Commission européenne, Ministères du Travail, de l'Intérieur, de l'Environnement, des Armées, des Douanes, Ministère en charge des transports, Ministère de l'économie et des finances, ...). Le SFEPA identifie et alerte également ces mêmes administrations sur les dif-



Le SFEPA organise le lundi 13 juin 2022 de 9h30 à 16h30 une journée de webinaire pour présenter et décoder la réglementation française liée aux artifices de divertissement, aux spectacles pyrotechniques, à la responsabilité des différents acteurs et la nouvelle doctrine de contrôle. Le nouveau guide pratique de 145 pages sera adressé à tous les participants.

ficultés et incohérences des textes déjà en vigueur, en veillant toujours à être force de propositions élaborées avec tous les acteurs.

Les commissions, cœur de vie de notre communauté

Les commissions du SFEPA permettent de répondre à plusieurs objectifs : informer les adhérents et décoder les évolutions réglementaires (par exemple, post « Incendie Lubrizol » en 2021), favoriser les échanges pour partager les bonnes pratiques et les retours d'expériences, établir en commun des contributions et des propositions pour l'administration, et donner de la perspective aux adhérents sur les évolutions à prendre en compte.

Les adhérents y sont présents à hauteur de leurs besoins, de leur disponibilité et des sujets à l'ordre du jour. Chaque commission fait l'objet d'une diffusion systématique d'un compte rendu à tous les adhérents, en toute transparence.

Fortes de leur succès, les commissions ont doublé en cinq ans ! Pour plus d'efficacité, elles sont réparties en trois catégories : commissions sectorielles, propres à un domaine d'activité (Défense, Explosifs Civils, Artifices ou Articles techniques), commissions transverses perma-

nelles, (Santé Sécurité, Transports Pyrotechniques, Gestion de déchets, Reach ou CLP) et enfin commissions thématiques ad hoc, (Suppression de la distinction entre usage civil et militaire dans le Titre V Explosifs du code de la défense, Suites Lubrizol, Gestion des compétences et formations, Climat, ...).

Indicateur indiscutable de l'intérêt des adhérents, entre 2019 et 2021, le nombre de participants à ces commissions a augmenté de 65 % et 100 % des sociétés adhérentes ont participé à au moins une commission. 📢



Jean Frédéric Dartigue Peyrou,
Secrétaire général
du Syndicat
des fabricants
d'explosifs, de
pyrotechnie et
d'artifices (SFEPA)

Après des études d'ingénieur, Jean Frédéric DARTIGUE PEYROU intègre en 1989 la SNPE (Société nationale des poudres et explosifs). Il y occupera, dans plusieurs établissements, des fonctions de responsable de fabrication de douilles combustibles, d'industrialisation du second étage du missile balistique M51, de responsable de production et de contrôle non destructif de propulseurs de missiles puis de directeur d'établissement. En 2007 il rejoint le groupe Veolia pour prendre la direction générale de sa filiale spécialisée en dépollution pyrotechnique. En 2014, il est sollicité pour rejoindre le SFEPA au poste de Secrétaire général.

ENERGISING LOGISTICS

DELIVERING GLOBAL EXCELLENCE & INNOVATION



WWW.PENTAGONFREIGHT.COM



PENTAGON

AFRICA ASIA AUSTRALIA CANADA CASPIAN CHINA EUROPE MIDDLE EAST SOUTH AMERICA UK USA

26 Avenue de Londres, ZI les Estroublans, Vitrolles, 13127, France
Tél. :04 84 07 00 30



Partie 4
**SOUVERAINETÉ
NATIONALE,
AUTONOMIE
EUROPÉENNE**



NOTRE SOUVERAINETÉ SPATIALE PASSE PAR DES TECHNOLOGIES DUALES

GARANTIR L'ACCÈS À L'ESPACE EST UNE COMPOSANTE MAJEURE DE LA SOUVERAINETÉ ET DE L'INDÉPENDANCE STRATÉGIQUE DES ÉTATS.

Propos recueillis par Olivier Martin, IGA

Face aux bouleversements géopolitiques mais aussi économiques, avec la montée en puissance de nouveaux états mais aussi d'acteurs privés, l'espace devient une nouvelle frontière pleine de promesses mais aussi de menaces. Entretien avec André-Hubert Roussel, Président exécutif d'ArianeGroup.

La CAIA : Depuis plusieurs mois, ArianeGroup retrouve des couleurs à mesure qu'Ariane 6 s'impose comme le lanceur des Européens. A quoi attribuez-vous cela ?

André-Hubert Roussel : La confiance et le support de l'ESA et de ses États membres, les efforts réalisés par tous les salariés du groupe et de nos partenaires industriels européens et enfin les choix technologiques que nous avons faits depuis plusieurs années commencent à porter leurs fruits. Sur le plan stratégique, le nouveau contexte lié à la guerre en Ukraine a transformé le partenariat, qui permettait à Arianespace d'opérer les lanceurs russes Soyouz, en dépen-

dance des Européens au lanceur russe – une dizaine de lancements étaient programmés en 2022. Heureusement Ariane 6 a été conçue en 2014 – année d'invasion du Donbass – dans sa version 62 avec deux boosters pour prendre le relais de Soyouz et assurer les missions de souveraineté des Européens dès 2023. Sur le marché international, le contrat KUIPER montre qu'Ariane 6 est un lanceur compétitif qui suscite la confiance d'un acteur mondial tel qu'Amazon avant même son premier lancement. Nous devons ce succès aux efforts réalisés sur les coûts d'Ariane 6 et aux innovations introduites dans le programme, en particulier le moteur ré-allumable Vinci. Ariane 6 aura aussi vocation,

à l'instar d'Ariane 5, à mener des missions d'exploration et des missions vers l'orbite géostationnaire qui restent un volet très important dans le monde de l'espace.

La CAIA : Récemment aux côtés du Commandement de l'Espace, vous avez réaffirmé l'importance du modèle dual d'ArianeGroup. Qu'est-ce que cela signifie concrètement ?

AHR : Née de la volonté de concilier les enjeux de souveraineté nationale dans le domaine de la dissuasion avec les besoins européens d'accès autonome à l'espace, cette dualité de la filière entre activités civiles et militaires a contribué à l'avènement puis au succès du modèle

Trois moteurs pour Ariane 6

Depuis 2014 et le lancement du programme Ariane 6, trois nouveaux moteurs ont été conçus.

- Des boosters P120C à propergol solide, d'une poussée de 450 tonnes et d'un poids de 140 tonnes pour une durée de combustion de 130 secondes, à tuyère orientable, qui assurent le décollage.
- Un moteur Vulcain 2.1 pour l'étage principal, à propulsion liquide hydrogène-oxygène, d'une poussée de 140 tonnes, qui prend le relais et amène le lanceur à 160 km d'altitude.
- Le moteur cryogénique Vinci, délivrant 18 tonnes de poussée à partir d'un mélange cryotechnique d'hydrogène liquide et oxygène liquide. Contrairement au HM7 qui équipait Ariane 5, Vinci sera réallumable en vol, optimisant ainsi la capacité d'Ariane 5 à envoyer plusieurs satellites par vol et de placer 11,6 tonnes en orbite.

GEOTRACKER

GEOTracker a été développé par ArianeGroup dès 2008, après la destruction d'un satellite chinois par la Chine ayant généré de multiples débris à longue durée de vie par un missile tiré depuis la Terre. Ariane Group a construit un réseau de surveillance optique basé sur le déploiement de neuf télescopes dans six pays amis, qui offre une couverture permanente à 360 degrés de l'arc géostationnaire. D'ici à 2025, ce réseau comptera trente stations dans le monde, ce qui en fera la première infrastructure européenne privée dotée d'un catalogue répertoriant plusieurs milliers d'objets, sur toutes les orbites. Ce réseau de surveillance qui répondait donc initialement à nos besoins et à une expérience acquise dans nos opérations civiles est aujourd'hui un atout majeur pour la Défense française.



Fusée Ariane 5

spatial européen. Cette dualité inspire un mode de gestion industriel dynamique qui répond à de multiples enjeux : la pérennisation des compétences critiques dans la durée, l'attractivité des bassins d'emplois français et l'irrigation de l'écosystème industriel national avec des emplois de haute technicité non délocalisables, la résilience de l'outil industriel dimensionné pour répondre à la fois aux exigences nationales de la dissuasion et à la logique de coopération européenne de la filière des lanceurs européens, et enfin la compétitivité commerciale pour atteindre les volumes de production permettant de diminuer les coûts récurrents.

La dualité de nos activités permet aussi de renforcer la crédibilité de

notre dissuasion à chaque lancement d'Ariane.

Si le lanceur n'est pas maîtrisé, c'est toute la filière industrielle spatiale qui est menacée. L'expérience nous l'a appris : les Etats-Unis ont interdit de commercialiser les capacités du satellite de télécommunications Symphonie devant être lancé par la NASA suite à l'échec du projet de lanceur Europa. C'est la raison même pour laquelle le programme Ariane a vu le jour. Et aujourd'hui, c'est Ariane 5 qui a lancé le télescope spatial James-Webb pour la NASA avec la précision qu'on lui connaît, doublant ainsi sa durée de vie !

En complément de nos capacités de lancement, il faut être en mesure de connaître le trafic en orbite pour détecter un risque de collision lors d'un lancement ou lors des opérations de nos moyens spatiaux, et faire les manœuvres qui s'imposent. ArianeGroup a développé pour cela le système GEOTracker qu'utilise également le Commandement de l'Espace depuis le mois de décembre. Autre exemple de dualité.

La CAIA : Comment envisagez-vous le New Space ?

AHR : L'accès à l'Espace est passé ces dernières années d'une logique de trajectoire à une logique de territoire, et donc de souveraineté sur le plan économique, scientifique et géopolitique.

Les systèmes de navigation, d'observation et de communication ont

besoin de l'espace. A titre d'illustration, nos smartphones nécessitent en moyenne une cinquantaine de connexions à des satellites au quotidien. Il est nécessaire et légitime pour un état ou un ensemble d'états comme l'Union européenne, de garantir son accès souverain à l'espace grâce à ses propres lanceurs spatiaux.

Nous sommes aussi confrontés à la question de la durabilité de l'espace. Le développement de constellations en orbite non seulement génère un important trafic, mais entraîne aussi un risque accru de collision. S'y ajoute le sujet des satellites en fin de vie ou qui ne sont déjà plus utilisés qui gravitent dans l'espace. Nos systèmes doivent prendre en compte l'ensemble de ces enjeux pour sécuriser nos lancements, déterminer les bonnes trajectoires, réduire le risque de collision...

ArianeGroup est le leader européen de l'industrie spatiale. Le lancement d'Ariane 6 ouvrira un nouveau chapitre d'une aventure industrielle qui rassemble tous les Européens. Forts de partenariats avec plusieurs centaines d'entreprises européennes, nous pouvons compter également sur la confiance renouvelée régulièrement des opérateurs du ministère des Armées.

Nous travaillons aussi sur les systèmes de transport spatial du futur. Aller en orbite de manière encore plus efficace et durable, se déplacer d'une orbite à l'autre, travailler dans l'espace et multiplier les échanges entre la Terre et l'espace... Nous sommes mobilisés sur de nombreux projets, et notamment le mini-lanceur que développe MaiaSpace, que nous voyons comme le premier membre de la future famille de lanceurs réutilisables et éco-responsables.

L'idée n'est pas de copier les autres grandes puissances, mais de poursuivre notre propre voie ! Avec une ambition spatiale européenne renouvelée. ☺

ÉMERGENCE D'UN CHAMPION EUROPEEN DES MUNITIONS

OU LES MÉTAMORPHOSES D'UNE INDUSTRIE DE SOUVERAINETÉ

Par Vincent Ginabat, ICA

Une succession de réductions, fermetures, rachats mais aussi consolidations et synergies ont permis de constituer Nexter Arrowtech, champion européen des munitions. La survie dans le contexte actuel passe par une croissance, reste à voir si ce sera du buy, du borrow ou du build.

Est-ce à mon cher Jules Verne que je dois d'être tombé, sinon au fond de son vertigineux canon de 300 mètres, du moins dans la pyrotechnie, après avoir connu d'autres rivages ?

De la Terre à la Lune voit juste sur l'emploi de la nitrocellulose, mais l'autorité de conception y consomme plus de whisky que de processus. Elle néglige trop de principes physiques pour que son obus de 10 tonnes ait la moindre chance d'atteindre la vitesse de libération. A titre d'exemple, une flèche antichar de 120 mm partant à plus de Mach 5, telle la SHARD® de Nexter, s'approche des limites de la propulsion à poudre.

Exit donc le tourisme spatial à partir d'un canon ! Pourtant, le principe est loin d'avoir épuisé son champ d'application. Libérer instantanément une puissance de plusieurs gigawatts dans un volume extrêmement réduit reste l'apanage de la pyrotechnie.

L'existence d'une filière d'excellence française en la matière résulte d'un long parcours ; nous ne nous intéresserons qu'aux consolidations industrielles récentes et à venir.

Au lendemain de la (première) guerre froide

La contraction des budgets de défense après 1990 provoque la re-composition rapide du secteur. Au moins cinq sociétés, Manhurin Dé-



Détonateur opto-pyrotechnique pour ARIANE 6.

fense, Luchaire Défense, SN PRB, Cime Bocuze et SFM Défense, vont transférer par étapes leurs activités munitionnaires à GIAT Industries.

En quinze ans, le chiffre d'affaires est divisé par quatre à iso-périmètre et la majorité des sites est fermée. Cependant, tirant parti de la concentration de savoir-faire de pointe, l'innovation reste vivace. Les entités successives – EURO IMPACT, DSAM – lancent des développements en rupture comme l'obus antichar BONUS avec Bofors et le système de 40 mm télescopé avec BAE Systems.

Des ajustements interviennent ensuite : le petit calibre est arrêté et seule une minorité de contrôle est conservée dans Cime Bocuze, pour permettre à ce leader des alliages métalliques de s'adosser à un groupe de sa spécialité et de diversifier sa clientèle internationale.

Au lendemain de la filialisation de l'activité munitions de Nexter en 2006, celle-ci pèse environ 100 M€. La décennie suivante verra la robotisation des usines, condition *sine qua non* de compétitivité. Un volume d'activité suffisant permet de réinternaliser des procédés sous-traités lors de la contraction des années 1990, afin d'en réduire le coût et de s'affranchir de fournisseurs également concurrents. Il s'ensuit une croissance organique régulière, soutenue par les ventes à l'export de l'obusier de 155 mm CAESAR®.

Nos clients achètent de la souveraineté et de la résilience

En 2014, la guerre en Ukraine est un point d'inflexion pour les budgets de défense européens. Depuis lors, l'enchaînement ininterrompu de tensions internationales et les dangers de la dépendance révélés par le Covid19 inaugurent un cycle haussier du marché des munitions dans le monde entier. Pour nos



Tir de qualification de l'obus-flèche de char 120 SHARD®.

clients, il ne s'agit pas seulement de s'équiper mais de développer leur industrie, au besoin avec l'aide de partenaires étrangers, pour capter une part croissante de valeur ajoutée et créer des écosystèmes aux retombées économiques plus larges. En d'autres termes, le marché achète de la souveraineté industrielle et de la résilience.

Au même moment, Nexter continue sa croissance en achetant deux sociétés aux portefeuilles produits complémentaires et réputés : MECAR SA en Belgique et SIMMEL DIFESA en Italie. Les synergies apparaissent parfois là où on ne les attendait pas, comme le partage de bases logistiques et de champs de tir exploités par MECAR, ou l'intégration de composants innovants de SIMMEL dans des munitions françaises.

15 ans après le nouveau départ de 2006, ce pôle rassemblé sous la marque ARROWTECH a multiplié son chiffre d'affaires par quatre. Il est un bon exemple d'utilisation des trois leviers de la croissance : organique, partenariale et par acquisitions.

A présent, dans un marché de réarmement accéléré où la compétition, voire certaines actions de contes-

tation entre industriels, sont exacerbées par des compétiteurs hégémoniques, nous n'avons d'autre choix que de croître pour ne pas être marginalisés. En outre, la diversification des clients et l'équilibrage dynamique de charge entre sites industriels permettent d'absorber les fluctuations inhérentes à notre secteur, tout en maintenant les compétences critiques de la BITD.

Cette croissance se fera-t-elle par *Build*, *Borrow* ou *Buy*¹ ?

La recherche de masse critique

En Europe, plusieurs facteurs jouent en faveur de consolidations capitalistiques (*Buy*). D'abord, la multiplicité des acteurs dans un marché domestique étroit, avec trois fois plus de munitionnaires qu'en Amérique du Nord pour un budget trois fois moindre. Ensuite, la complexité croissante des munitions, qui augmente la masse critique de R&D nécessaire en mobilisant de nouveaux métiers, comme la munitronique, le guidage et la navigation. Enfin, l'avantage de fédérer des industries nationales pour obtenir l'appui de leurs États dans le montage de projets européens.

Au grand export, les partenariats classiques ne répondent plus aux stratégies de souveraineté des pays

clients. Il convient donc de s'implanter industriellement sous forme de filiale (*Build*) ou d'alliance partenariale (*Borrow*), selon les schémas permis ou imposés. La contrainte de compensation (*offset*) est devenue un facteur-clé de succès. Bien comprise, elle engendre même des opportunités de développement sur les marchés régionaux considérés.

C'est au prix de cette transformation que Nexter ARROWTECH, porté par la dynamique qui l'a rendu exportateur à 75% et déjà 7^e acteur mondial, pourra rester à la pointe de l'innovation et répondre à des besoins opérationnels exigeants : effecteurs programmables ou à effets contrôlés, parfois communicants, capables de permanence autant que de fulgurance, agissant aussi dans le spectre électromagnétique, à des portées accrues mais sans compromis sur la précision.

De telles fonctionnalités relèvent d'une approche système du couple arme et munition, raison pour laquelle une business-unit éponyme a été constituée au sein du groupe Nexter.

Pour relever les défis de cette aventure industrielle, les vocations sont les bienvenues. Il ne s'agit pas d'aller sur la Lune, mais de forger les armes de Mars. *Si vis pacem...* ☪



Vincent Ginabat,

ICA, Directeur
à la BU Armes
et Munitions de
Nexter

L'ICA Vincent GINABAT est directeur de la stratégie et des programmes de la business-unit Armes & Munitions du groupe Nexter et administrateur de CTA International. Son parcours chez Naval Group, Safran, Lacroix et Nexter l'a conduit à diriger des programmes et des sociétés dans les domaines naval, aéronautique et terrestre.

¹ : Résoudre le dilemme de la croissance : le modèle *Build*, *Borrow*, *Buy* – Laurence Capron & Will Mitchell, Pearson 2013

FUSÉES DE MUNITIONS SOUVERAINES

UNE CO-ENTREPRISE FRANCO-ALLEMANDE LEADER

Par Pierre Bauche, IPA, Pierre Andurand, ICA

Tout le monde connaît Ariane, leader mondial des lanceurs spatiaux, souvent appelés « fusées ». Mais il existe dans le domaine de l'armement d'autres fusées, bien plus anciennes, et dans lesquelles une co-entreprise franco-allemande est devenue au fil des ans un champion industriel : Junghans Defence



FBM 21, fusée de bombe aéroportée

Le terme « fusée » est très ancien. Il désigne le dispositif, placé généralement à la tête de l'obus, qui a essentiellement deux fonctions : assurer la sécurité de l'obus avant son utilisation, et, une fois l'obus tiré, décider quand il doit exploser. Ce concept a ensuite été dérivé pour tous les objets dont il faut garantir la sécurité d'emploi et la performance terminale sur un champ de bataille : munitions, bombes aéroportées, missiles, roquettes, torpilles sous-marines etc.

Dès le 17^e siècle (sous Louis XIII), les premières tentatives françaises d'obus éclatants (ou bombes) sont effectuées, mais, la sécurité des systèmes pyrotechniques de l'époque étant inexistante, les essais conduisent à des catastrophes (cf. encadré). La fonction sécurité a depuis été considérablement améliorée, et la plupart des fusées modernes présentent une double sécurité, triple dans certains cas, pour s'assurer que la munition n'explosera que lorsque cela est sans danger pour ses opérateurs.

Quant à la fonction de déclenchement de l'explosion de l'obus, il est estimé qu'à l'époque de la première guerre mondiale, entre 15% et 30% des obus tirés n'explosaient pas lors de l'impact, et ce taux était encore de 10% lors de la guerre du Vietnam. Sachant que plus d'un milliard d'obus ont été tirés lors de la Grande Guerre, au minimum 150 millions d'obus non éclatés sont encore enterrés dans les zones de combat, à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 50 mètres. La qualité de la fusée est donc essentielle pour garantir la performance des armements modernes, mais aussi éviter une pollution grave des théâtres d'opérations à l'issue des conflits.

Une JV franco-allemande créée en 2008 grâce à la volonté forte des Présidents de Thales et Diehl

Créer une co-entreprise franco-allemande dans le domaine des fusées de munitions, dans un domaine aussi sensible touchant à la souveraineté des États, et accepter une certaine interdépendance, pouvait ne pas paraître évident, étant donnée l'histoire entre nos deux pays. De plus, les activités de fusées allemandes pesaient à l'époque trois fois plus que celles du côté français, et les statuts de la nouvelle société devaient conférer à chacun des partenaires, et à leurs États respectifs, des garanties de pérennité ainsi qu'un équilibre des pouvoirs.

La création de Junghans Defence au milieu des années 2000, à partir

des activités de fusées de TDA Armements en France et de Junghans Feinwerktechnik en Allemagne, doit beaucoup à la relation de confiance et à la vision des dirigeants des deux grands groupes industriels auxquels ces sociétés étaient (et sont encore) adossées, à savoir Denis Ranque (pour le groupe Thales) et Thomas Diehl (pour le groupe du même nom). Ils ont compris que ne rien faire aurait conduit chacune de ces deux sociétés à être à terme complètement marginalisée, côté français en raison de la taille sous-critique de l'activité, et côté allemand en raison de compétences limitées dans le domaine de l'électronique.

La clé du succès de cette co-entreprise réside dans la complémentarité des savoir-faire, avec des compétences très fortes dans le domaine de l'électronique, s'appuyant largement sur l'environnement apporté par le groupe Thales, et du côté allemand, une expertise exceptionnelle dans le domaine de la mécanique de précision, élément indispensable de la sécurité d'emploi des fusées.

Cette situation a amené les deux États à autoriser des transferts industriels créant des interdépendances, comprenant bien que cette co-entreprise ne pourrait se positionner à l'échelon mondial, et assurer sa pérennité, que si de fortes synergies se mettaient en place, chaque partie se spécialisant dans son domaine propre d'excellence.

LES EXPLOSIFS

PENDANT LA GUERRE 1914-1918

*Causerie faite au Groupe de Paris, le 3 juin 1920
par M. Charles GABEL (Ingénieur E.C.L. 1888)*

*Membre de la Commission centrale des Poudres au Ministère de la Guerre
Administrateur-Directeur de la Cartoucherie française, à Survilliers (S.-et-O.)*

Vous avez certainement entendu parler pendant la guerre de ces éclatements prématurés qui malheureusement ont fait un trop grand nombre de victimes parmi nos artilleurs. Les causes ont été nombreuses et provenaient de l'état intérieur des canons, de l'acier et du mode de confection des projectiles, des fusées, etc. Après de nombreux perfectionnements, les cas sont devenus de plus en plus rares, sans qu'il soit possible d'obtenir une sécurité absolue.

C'est un genre d'accident qui s'est produit dès le début de l'emploi des projectiles d'éclatement et dont j'ai trouvé la mention dans l'« Art de jeter des bombes », par M. Blondel, édité en 1699, dans le passage suivant assez caractéristique, car il montre que les plaintes de l'infanterie contre l'artillerie se produisaient déjà sous Louis XIII.

« Au premier siège de Landrecies, en 1637, le sieur Maltus (ingénieur anglais, venu sur la demande du roi pour enseigner l'art de jeter des bombes) avait sa batterie dans une redoute à l'attaque de M. le Cardinal de la Valette, et l'on venait se plaindre à tous moments que les bombes qu'il pensait jeter dans la place passaient par dessus et allaient tuer du monde dans la tranchée aux attaques de M. de Caudale et de M. de Meilleraye qui étaient aux autres côtés de la ville.

« Il lui arriva même un assez grand malheur pendant ce siège. La curiosité ayant amené dans la batterie plusieurs officiers généraux, il tira quelques bombes en leur présence, mais enfin ayant mis le feu à la fusée d'une bombe chargée, comme il voulut le mettre à l'amorce de la lumière du mortier, sa mèche se trouva éteinte, il en prit l'épouvante et criant, sauve qui peut, il sauta le premier par dessus le parapet de la redoute ; chacun en voulut faire de même, mais la foule et le désordre furent si grands, que la bombe crevant dans le mortier et le mettant en mille morceaux, elle tua ou estropia beaucoup de gens. »

La mise en place rapide de ces synergies qui conduit à ce que tout produit sortant des usines ait des sous-ensembles électroniques fabriqués en France et des éléments mécaniques fabriqués en Allemagne, a également permis d'établir un climat de confiance entre les équipes, et notamment les équipes commerciales qui se livraient jusque-là une concurrence féroce.

Par ailleurs, la complémentarité de la base client, avec notamment un partenariat de long terme avec le munitionnaire britannique BAE Systems, des marchés importants aux États-Unis, et une forte expérience industrielle côté allemand, ainsi qu'une implantation solide de Thales au Moyen-Orient, et une bonne capacité de développement côté français, ont très largement contribué au succès de la co-entreprise, qui a quadruplé son activité en l'espace de 3 ans, devenant un leader mondial.

« UNE ACTIVITÉ QUADRUPLÉE EN TROIS ANS... »

Quel plaisir de voir, seulement quelques mois après la création de la JV, des commerciaux allemands vanter la qualité des produits français auprès de leurs clients des pays nordiques, et des commerciaux français accompagner la vente de produits allemands en France ! Et ce au bénéfice de la meilleure satisfaction des États, qui se voyaient ainsi offrir l'accès à un portefeuille de produits bien plus étendu, ainsi qu'à de fortes capacités industrielles implantées sur le sol européen, et dont on réalise aujourd'hui l'importance.

Un développement spectaculaire depuis 2008

Au fil des ans Junghans Defence a développé une gamme de produits qui couvre l'essentiel des munitions sur un champ de bataille : fusées



FRAPPE, fusée de proximité pour obus d'artillerie

d'artillerie, de mortiers, de moyen calibre (30 à 40 mm), de torpilles sous-marines, de bombes aéroporées, de roquettes, ou de missiles (que l'on appelle alors DSA : Dispositif de Sécurité et d'Armement).

Le métier de concepteur et producteur de fusées est un métier passionnant car il fait intervenir une gamme très large de technologies : les fusées les plus élaborées contiennent un radar (qui détecte la proximité du sol), de l'électronique durcie (pour résister aux chocs de pénétration de cibles, pouvant aller jusqu'à 50.000 ou 100.000 g !), des piles très particulières (capables, après avoir passé 20 ans à la chaleur et au soleil dans un pays au Moyen-Orient, de fonctionner au coup de canon), de la micromécanique, de la pyrotechnie, du logiciel, etc.

Les ingénieurs de Junghans sont amenés à marier toutes ces technologies dans des environnements particulièrement difficiles : comme toute munition, les essais finaux sont toujours destructifs, et ils imposent une logistique importante

(arme, champ de tir, opérateurs etc.) que l'on ne peut pas mettre en œuvre tous les jours. La mise au point des fusées nécessite donc des ingénieurs de très haut niveau, ayant de l'appétence pour les hautes technologies, et capables aussi de coordonner plusieurs métiers très différents.

Très peu de sociétés maîtrisent l'ensemble des capacités nécessaires dans ce domaine, ce qui explique que Junghans Defence se soit élevé au rang de leader mondial. Les activités de Junghans sont en croissance permanente depuis la création de la JV en 2008. Le développement de nouveaux produits devrait continuer à assurer à cette belle entreprise franco-allemande une croissance pour encore de nombreuses années. ☺



Pierre Bauche,
Président de
Junghans T2M
SAS

Pierre Bauche (X89) après plusieurs années à la DGA (au Centre d'Essais en Vol puis à la Direction des Relations Internationales) a rejoint le groupe Thales en 2002 pour prendre la responsabilité des programmes de défense antibalistique puis diriger le commerce France au sein de l'avionique militaire de Thales. Il a ensuite dirigé successivement la société MOSS (Maîtrise d'œuvre du système SCCOA) et la Joint-Venture Junghans T2M, toutes deux filiales de Thales.



Pierre Andurand,
ICA, VP
Opérations, Thales
Business Line
Surface Radars

Pierre Andurand (X87) a démarré sa carrière à la DGA au service des programmes nucléaires, occupant plusieurs fonctions en direction de programme et à la Direction des Systèmes d'Armes (Direction des Opérations aujourd'hui). Il rejoint l'industrie en 2000, et participe activement, de 2006 à 2008, à la négociation des accords de JV de Junghans, avant d'en être le codirigeant français jusqu'à fin 2011. Il a occupé depuis plusieurs postes de Direction Générale dans le groupe Thales.

LEADER EUROPÉEN DE LA PROPULSION TACTIQUE

Roxel conçoit, développe, fabrique et commercialise une large gamme de systèmes de défense de haute technologie pour les applications aériennes, terrestres, navales et spatiales d'aujourd'hui et de demain.

Une **expérience et expertise française et britannique** au service des forces militaires à travers l'Europe et au-delà

Une expertise et des savoir-faire appliqués à **tout type de roquettes et missiles tactiques et de croisière**

Une **large gamme d'équipements de test** pour tout type de mesures pour les propulseurs et autres systems



Des solutions innovantes pour répondre aux nouvelles exigences en matière de gestion de poussée, de manœuvrabilité ou de contrôle de trajectoire

Une expertise en conception et fabrication de structures métalliques et matériaux composites appliquée à d'autres domaines, notamment pour l'**industrie aéronautique**

Leader mondial dans les technologies MURAT



SOUVERAINETÉ DES MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES

UN SUJET EXPLOSIF

Par Thierry Francou, ICA

L'essentiel de la performance des armes est aujourd'hui apporté par les matériaux énergétiques. En effet, que l'on parle de la portée d'un missile, d'un obus, d'un mortier ou bien de l'effet terminal d'une tête militaire ou d'un pénétrateur, toute l'énergie est fournie par des matériaux énergétiques dont les plus connus sont les poudres et les explosifs.

La mise en place d'une force de dissuasion nucléaire a conduit la France à développer des technologies permettant de concilier performance et haut niveau de sécurité. Ces technologies, que peu de pays dans le monde maîtrisent, nous permettent de disposer de chargements propulsifs ou explosifs dits à risques atténués. Le concept est que la munition ne doit réagir que lorsqu'on le lui demande et pas si elle est agressée de manière accidentelle ou volontaire. Simple me diriez-vous !

En fait pas vraiment, car pour y parvenir on oublie souvent qu'il faut être capable de maîtriser les extrêmes de l'infiniment petit, par la fiabilisation de la composition du produit jusqu'au niveau de la molécule, et la production industrielle de grands volumes de matériaux énergétiques. La sécurité finale du système dépend ainsi à la fois de la pureté du produit et de la parfaite exécution des processus industriels de production.

La question de la souveraineté, qui avait disparu du devant de la scène depuis plusieurs décennies, est depuis le début de la crise sanitaire revenue au premier plan des préoccupations nationales. La rupture des flux d'approvisionnement générée par une crise sanitaire majeure et mondiale a conduit à des limitations d'exportation ou à des réquisitions sur des biens tels que

les masques chirurgicaux ou la solution hydroalcoolique.

Dans un marché européen de l'armement tiré par l'export depuis des décennies, certains ont pu considérer que, comme les masques chirurgicaux, les poudres et explosifs s'apparentaient à une commodité. Ces mêmes ont pu également s'interroger sur la nécessité de maintenir des capacités nationales de production dans ce domaine. La production de matériaux énergétiques nécessite en effet des investissements lourds, des emprises foncières importantes permettant de garantir la sécurité pyrotechnique des installations. Il est clair aujourd'hui qu'il est primordial de s'assurer de la disponibilité et donc de la maîtrise des capacités de production des matériaux énergétiques lors d'une crise. C'est ce qu'a mis en évidence la guerre en Ukraine, qui a conduit plusieurs États à restreindre l'export des matériaux énergétiques et à en réserver la production aux besoins souverains.

Le caractère souverain de ces installations est d'ailleurs assumé pleinement aux États-Unis ou en Australie, où l'État est resté propriétaire des sites de production et les fait opérer par des industriels qui disposent d'un socle important de commandes nationales mais proposent aussi leurs produits à l'export.

La situation étant différente en France, comment garantissons-nous la disponibilité permanente de cette brique de souveraineté ?

Disposer des compétences et moyens nécessaires pour répondre aux enjeux de souveraineté est une préoccupation permanente d'une société comme EURENCO.

A propos d'EURENCO :

Avec plus de 1000 collaborateurs situés en France, Belgique et Suède, EURENCO est un acteur clé du secteur de la défense au service de la souveraineté de la France et de l'Europe. EURENCO a hérité d'un savoir-faire de haut niveau dans le domaine des matériaux énergétiques. Leader européen des poudres et explosifs, EURENCO produit également des têtes militaires pour missiles et torpilles, des munitions (obus, charges modulaires pour l'artillerie et bombes aéronautiques) ainsi que des explosifs et produits dérivés pour le secteur civil.

Pour y parvenir, nous jouons sur trois leviers différents. Tout d'abord, l'export qui constitue 70 % du chiffre d'affaires. L'export permet de maintenir les compétences et assure la charge des sites de production dont les capacités peuvent être réallouées aux besoins nationaux en temps de crise. L'export

est un important vecteur de performance car il pousse à l'amélioration continue et stimule l'innovation. C'est aussi un marqueur de la compétitivité de nos produits et de notre capacité à construire et à développer la relation client.

« EXPORTATION,
INNOVATION ET
DUALITÉ : DES
IMPÉRATIFS POUR
ENTREtenir ET
DÉVELOPPER NOS
COMPÉTENCES »

L'innovation constitue le second levier d'action. Nos produits doivent en permanence être plus performants. Innover est donc un impératif pour rester compétitif et leader dans notre domaine. Ces innovations concernent autant les nouvelles technologies comme l'impression 3D de matériaux énergétiques, déjà utilisée pour la production de plusieurs produits d'EURENCO, que les nouveaux procédés de synthèse et de malaxage, ou de nouvelles molécules encore plus performantes. Mais ces innovations concernent également la transformation digitale. Les actions menées au cours des dernières années par EURENCO ont d'ailleurs été reconnues au travers de sa labellisation « Vitrine Industrie du futur ».

Enfin, le troisième levier concerne la dualité des marchés. En étant présent sur les marchés civils qui constituent 30 % de notre chiffre d'affaires, nous pouvons jouer sur les retournements de cycles et sécuriser nos compétences sur le long terme. Les activités civiles sont en lien direct avec notre cœur de métier que sont nos activités de défense. En réutilisant des produits issus de la fabrication des explosifs, nous sommes ainsi de-



Ligne de production de charge modulaire Eurengo Bergerac

venus le leader mondial des additifs pour carburant. Nous commercialisons des explosifs devant être utilisés dans des conditions de pression et température extrêmes pour des besoins d'exploration et de forage et nous réalisons aussi des poudres pour les cloueurs de charpente.

« ANTICIPER ET
S'ADAPTER POUR
GARANTIR LA
CONTINUITÉ »

En jouant de manière simultanée sur ces trois leviers, nous pouvons ainsi développer nos compétences, atténuer les effets cycliques de marché et répondre à des besoins de plus haute intensité en cas de crise.

Œuvrer pour la souveraineté demande un effort d'anticipation et une réelle capacité d'adaptation. EURENCO est l'héritière de sociétés pluricentennaires et elle se doit d'être pérenne à long terme. Le Groupe a ainsi lancé en 2019 un plan de transformation visant à réduire ses consommations en eau

et en énergie, tout en augmentant les capacités de production des sites. En installant des champs photovoltaïques sur les importantes emprises foncières non exploitables, la Société cherche ainsi à réduire sa dépendance aux énergies carbonées tout en améliorant sa compétitivité. Si la feuille de route est écrite jusqu'en 2025, les récentes crises illustrent toutefois que la compétence clé des prochaines années sera la capacité d'adaptation qui seule permettra d'assurer notre mission au service de la souveraineté. ☺



Thierry Francou,
Président
Directeur Général
d'EURENCO

Ingénieur pyrotechnicien (ENSTA Bretagne et doctorat en détonique), Thierry Francou débute son parcours à la DGA. En 2006, au Cabinet du Ministre de l'écologie, il part ensuite en Italie comme attaché d'Armement. En 2010, Directeur de la Business Unit Espace du groupe Safran, il est nommé Directeur général Stratégie et Transformation ainsi que Président France d'Ariane Group à sa création. Depuis 2019, il est Président Directeur Général de SNPE et d'Eurengo.

LE MSIAC AU SERVICE DE LA SÉCURITÉ DES MUNITIONS DEPUIS 1991

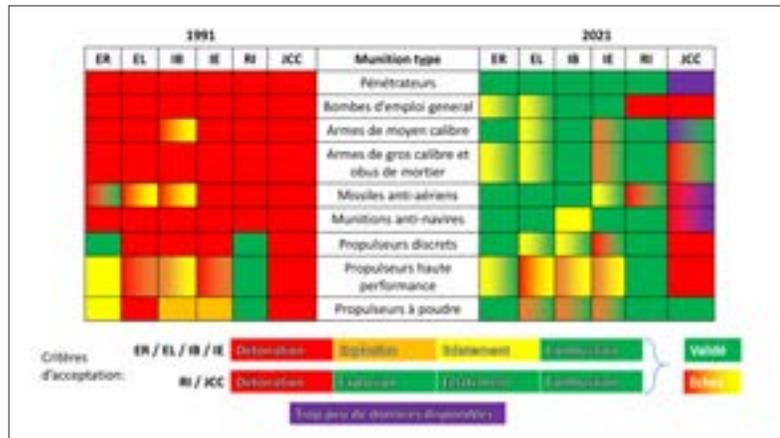
Par **Christelle Collet**, MSIAC

Depuis 1991, le MSIAC (Munitions Safety Information Analysis Center) aide ses nations membres à éliminer les risques liés aux réactions intempestives des munitions face à des agressions accidentelles ou ennemies. Le bilan est positif mais les efforts restent à poursuivre car, comme on le dit en anglais : « shit happens ! ».

Dans le contexte actuel du conflit en Ukraine, vous avez peut-être été surpris par la vulnérabilité des équipements russes vis-à-vis des frappes ukrainiennes. Je pense par exemple aux explosions de chars T72 et à l'éjection de leur tourelle suite à de « simples » attaques ukrainiennes au moyen de tirs d'artillerie légère [ref 1], ou encore l'improbable coulage en mer du croiseur lance-missiles russe Moskva suite à des tirs de missiles, revendiqués par les forces ukrainiennes, et qui auraient déclenché un incendie à bord. Ces événements sont le résultat de déficiences majeures liées à la sécurité des munitions et des plateformes russes. Et vous vous dites certainement que ces pertes hautement stratégiques pour l'armée russe ne seraient certainement pas arrivées avec l'arsenal militaire moderne dont disposent les pays alliés de l'OTAN. J'aimerais vous dire que vous avez raison, mais malheureusement, il reste encore des progrès à faire dans la manière dont les pays de l'OTAN traitent le vaste sujet qu'est la sécurité des munitions.

Et c'est précisément là où le MSIAC intervient depuis plus de 30 ans. Avant toute chose, laissez-moi vous en dire plus sur ce qu'est le MSIAC, sa raison d'être, ses missions et son organisation.

Le Centre d'information et d'analyse pour la sécurité des munitions (Munitions Safety Information Analysis Center en anglais,



Evolution depuis 1991 des niveaux de réaction des munitions face à des agressions standardisées : ER = Echauffement Rapide, EL = Echauffement Lent, IB = Impact de Balles, IE = Impact d'Eclat léger, RI = Réaction par Influence, JCC = Jet de Charge Creuse.

ou MSIAC) a été créé en 1991 (en tant que NIMIC) à l'initiative de 5 pays membres de l'alliance (États-Unis, France, Pays-Bas, Norvège et Royaume-Uni). Ce projet de collaboration multinationale sur la sécurité des munitions découle de la prise de conscience que les accidents majeurs survenus dans les années 60 et 70 et dûs aux munitions embarquées sur l'USS Forrestal ou l'USS Enterprise, par exemple, ne sont pas une fatalité et qu'ils auraient pu être évités.

Le MSIAC a ainsi pour but ultime d'éliminer les risques liés aux réactions intempestives des munitions et des matériaux énergétiques tout au long de leur cycle de vie. Pour aider ses nations membres – aujourd'hui au nombre de 16 – à atteindre ce but, le MSIAC dispose d'une base documentaire de plus de 200 000 publications, d'applications en ligne ainsi que d'une équipe de 6 experts

techniques dans les domaines des matériaux en général et des matériaux énergétiques en particulier, des systèmes et munitions, des têtes militaires, de la propulsion, et du stockage et transport des munitions. Les experts techniques du MSIAC s'appuient également sur un réseau d'experts disséminés dans ses pays membres.

Les activités du MSIAC sont définies et votées par un comité directeur constitué d'un membre représentatif de chacune des nations membres et d'un président élu (non-votant). Ces activités sont très variées et dans tous les cas, hautement techniques : réponses à des questions techniques de la part des pays membres, présentations et formations, publication de rapports techniques, organisation d'ateliers et de réunions techniques sur des sujets dédiés, développement et maintenance d'outils en ligne et de

Les chiffres-clé du MSIAC

- Créé en 1991 (sous le nom NIMIC)
- 16 nations membres : Allemagne, Australie, Belgique, Canada, Corée du Sud, Espagne, États-Unis, Finlande, France, Italie, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Royaume-Uni, Suède, Suisse
- 10 personnes dont 6 experts techniques
- Plus de 200 000 documents sur la sécurité des munitions accessibles par le personnel du MSIAC, plus de 20 000 accessibles par les utilisateurs du site sécurisé
- Plus de 450 rapports techniques publiés à ce jour
- Plus de 3000 réponses à des questions techniques
- 8 web applications accessibles via le portail sécurisé du MSIAC
- Coût d'accès aux produits et services du MSIAC pour les utilisateurs des nations membres : 0 €

bases de données documentaires (voir encadré).

Quel est concrètement le bilan pour les pays membres du MSIAC et pour les alliés de l'OTAN, me demanderez-vous. L'année dernière, le personnel du MSIAC a justement tenté de répondre à cette question puisque l'année 2021 a marqué les 30 ans d'existence du MSIAC, ainsi que la 3000^e question technique reçue par le MSIAC. La réponse complète est disponible en ligne [Ref 2]. Mais le constat le plus éloquent reste la diminution drastique au cours de toutes ces années d'existence du MSIAC de la vulnérabilité des munitions face à des agressions standardisées de type incendie ou impact de balles (Figure 1). Il a ainsi été démontré qu'une diminution de la vulnérabilité des munitions n'était pas incompatible d'un niveau de performance maintenu, voire même amélioré dans certains cas [Ref 3]. Il est bien sûr présomptueux pour le MSIAC de s'attribuer l'entièreté de ces bons résultats. Rendons ses lauriers à César et les décisions techniques et stratégiques faites sur l'amélioration du design des munitions aux nations. Il n'empêche que le MSIAC se targue d'avoir contribué au fait que le stockage et

le transport des munitions ainsi que les théâtres d'opérations interalliées soient maintenant plus sûrs et mieux protégés face aux agressions ennemies ou accidentelles.

Mais il reste encore de nombreux progrès à faire, notamment sur la vulnérabilité des gros propulseurs face aux agressions mécaniques (impacts de balles, d'éclat ou jet de charge creuse). Aussi, les munitions de petit calibre et les équipements pyrotechniques sont souvent exclus des études de diminution de la vulnérabilité alors qu'il serait pourtant relativement facile et peu coûteux d'appliquer à ces dispositifs certaines techniques d'atténuation de la violence de réaction qui se sont avérées efficaces pour de plus gros calibres. Enfin, les activités du MSIAC se sont récemment étendues vers la prise en compte des risques de réaction intempesive des munitions face à des agressions électromagnétiques (Hazards of Electromagnetic Radiation to Ordnance, ou HERO en anglais). Le MSIAC continuera donc à aider ses nations membres en leur fournissant des conseils techniques, des produits et services, et une analyse des informations sur la sécurité des munitions.

La dernière question que vous vous posez sûrement est la suivante : quel est le tarif ? Les gouvernements de chaque pays membre paient une cotisation annuelle au MSIAC, ce qui garantit la gratuité de l'accès aux produits et services du MSIAC au niveau individuel. Pour faire court : au plus les individus d'une nation membre utiliseront les produits et services du MSIAC, au plus cette nation « rentabilisera » sa cotisation annuelle. N'hésitez donc surtout pas à faire appel à nous ! Pour cela, rendez-vous sur le site du MSIAC : <https://www.msiac.nato.int/>. ☺

**Des accidents qui restent fréquents**

Dans sa mission de sensibilisation, le MSIAC propose quelques posters sur les accidents historiques de munitions <https://www.msiac.nato.int/products-services/accident-posters>. L'un d'entre eux concerne le camp américain de Doha en 1991 (3 morts, 56 blessés). Mais les accidents restent fréquents encore aujourd'hui. Dans sa newsletter sur les accidents pyrotechniques, le MSIAC recensait pas moins de 9 événements entre janvier et avril 2022. <https://www.msiac.nato.int/news/accident-reportings>



Christelle Collet,
experte technique
en technologie de
propulsion, MSIAC

Christelle Collet est diplômée de l'ENS-MA Poitiers (promotion 2002). Après 14 ans passés au Centre de Recherches du Bouchet (CRB, ArianeGroup) en tant qu'ingénieur de recherches sur les matériaux énergétiques, elle a rejoint le MSIAC en 2017 en tant que « TSO Propulsion Technology », dans les locaux du quartier général de l'OTAN, à Bruxelles.

[Ref 1] <https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2022/04/01/why-do-russian-tanks-explode-violently-when-hit/?sh=5db5265e9fc4>

[Ref 2] <https://www.msiac.nato.int/news/3000th-msiac-technical-question>

[Ref 3] B. Fuchs, S. Struck, K. Tomasello, E. Baker, "IM Technologies & Implementation of New Designs", in Proceedings of IMEMTS, Seville, Espagne, 2019

DOSSIER ENTREPRISES

PENTAGON FREIGHT SERVICES SARL.....	97
BERTIN TECHNOLOGIES	98
SAAB FRANCE.....	100
GROUPE H2S	102



PENTAGON FREIGHT SERVICES : POUR UNE MEILLEURE MAÎTRISE DE LA CHAÎNE LOGISTIQUE



Jean-Yves Miracolo,
Regional Managing Director

Entretien avec Jean-Yves Miracolo, Regional Managing Director de Pentagon Freight Services. Il nous en dit plus sur les services que son entreprise propose au monde de la défense dans le domaine de la logistique.

Quelques mots pour nous présenter Pentagon Freight Services.

Pentagon Freight Services est un groupe familial qui a débuté son activité dans l'industrie pétrolière en Mer du Nord : opération pétrolière, para-pétrolière, énergétique... Aujourd'hui, il s'appuie sur un réseau de 67 agences dans le monde, mais également un actionnariat familial qui lui garantit une certaine liberté et indépendance, ainsi qu'une véritable rapidité en termes de prise de décision et d'investissement. En parallèle, Pentagon Freight Services a la particularité d'être aussi par le propriétaire de l'ensemble de sa chaîne logistique : transport routier (camions), entrepôts, avions...

Aujourd'hui, que propose Pentagon Freight Services au monde de la défense ?

Parce que nous disposons d'une maîtrise complète de notre chaîne logistique, nous pouvons investir significativement dans la sécurisation de nos infrastructures et équipements. Au-delà, Pentagon Freight Services dispose de l'ensemble des autorisations IATA et peut intervenir en qualité d'armateur et d'affrèteur de navires. Concrètement, grâce notre flotte d'avions, nous prenons en charge le transport de marchandises classées (produits radioactifs, batteries lithium, engins gyroscopiques) qui nécessitent des autorisations particulières et collaborons, par ailleurs, régulièrement avec le Ministère des Armées, les douanes et les services économiques français et européens dans le cadre de notre activité. Nous avons, par exemple, réalisé une mission de transport de produits radioactifs depuis l'Irak, un pays à risque où nous avons des implantations, vers la France en mobilisant notre expérience et expertise.

Pentagon Freight Services est en mesure de proposer au monde de la défense tous les services logistiques dont il peut avoir besoin. En parallèle, nous avons adapté et fait évoluer nos solutions pour répondre aux contraintes et spécificités de ce secteur très exigeant avec une vigilance renforcée sur la dimension sécurité. Notre collaboration avec d'anciens militaires nous permet de sécuriser de manière optimale les opérations de transport aérien (contrôle continu de la chaîne logistique, mobilisation de ressources H24, contrôle des marchandises, respect des règles et des usages mondiaux en adéquation avec les contingences de boycott ou de double usage...).

Aujourd'hui, comment vous projetez-vous ?

Actuellement, nous menons diverses réflexions afin de faire évoluer notre activité. Sur le plan environnemental et écologique, nous travaillons sur la transformation de notre flotte pour aller vers une flotte hybride. Nous diversifions nos sources énergétiques avec notamment l'installation de panneaux solaires pour alimenter nos entrepôts, mais aussi pour nous équiper en bornes de recharge.

En parallèle, la crise de la Covid a mis sur le devant de la scène la question de l'approvisionnement de l'Europe et de la France et de la relocalisation de certaines activités dans des zones plus proches. À notre niveau, nous réfléchissons notamment au développement d'une nouvelle activité de transport en acquérant des conteneurs en propre afin de proposer des solutions de transport et de chargement de marchandises.

BERTIN TECHNOLOGIES : UN EXPERT DE L'INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE AU SERVICE DE LA DÉFENSE



Bruno Vallayer, Président



Luc Renouil, Directeur du développement stratégique et des relations institutionnelles

Innovante avec une forte croissance à l'international, la société Bertin Technologies s'est imposée au fil des décennies comme un acteur important du monde de l'instrumentation scientifique. Dans cet entretien croisé, Bruno Vallayer, Président de Bertin Technologies, et Luc Renouil, Directeur du développement stratégique et des relations institutionnelles, reviennent sur le positionnement de l'entreprise et nous en disent plus sur son offre dédiée au secteur de la défense. Entretien.

Bertin Technologies a connu d'importantes évolutions qui ont fortement impacté son positionnement. Qu'en est-il et quel est votre positionnement aujourd'hui ?

Récemment repris par le fonds FCDE (fonds de consolidation et de développement des entreprises), Bertin Technologies a retrouvé son autonomie après avoir vécu pendant 14 ans au sein du groupe industriel CNIM. Ce changement d'actionnaires marque une nouvelle étape dans notre développement. Ces dernières années, nous avons orchestré un recentrage stratégique dans le domaine des équipements et des systèmes d'instrumentation scientifique qui a activé plusieurs leviers. Nous avons cédé les activités qui n'étaient pas cohérentes avec ce positionnement stratégique (Pharma, Environnement, IT).

Nous sommes en parallèle passés d'un statut de bureau d'études spécialisé dans le développement de technologies uniques (prototypes, R&D) à un acteur industriel plus classique produisant en petites et moyennes séries ses équipements. Nous avons conservé nos activités innovantes de développement technologique, mais la vente de produits et services représente aujourd'hui plus de 50 % de notre activité. Nous sommes désormais un industriel de l'instrumentation scientifique qui fabrique et vend des systèmes de mesure et des capteurs destinés à des applications critiques. Notre premier marché est la défense (25 à 30 %). Viennent ensuite l'industrie nucléaire (25 %), le spatial et le domaine des sciences du vivant et de la santé. Bertin Technologies se positionne aujourd'hui sur un marché

global aussi bien à l'échelle nationale qu'à l'export, qui représente désormais plus de 50 % de notre chiffre d'affaires. Notre ambition est de poursuivre notre développement à l'international en continuant notre effort permanent d'industrialisation, d'innovation et de nouvelles technologies. Nous continuerons donc à développer de nouveaux produits, soit pour nos besoins propres soit pour des clients spécifiques. L'adossé au FCDE nous permet d'accéder à des ressources qui doivent nous aider à développer une politique de croissance externe plus ambitieuse. Nous pouvons maintenant nous présenter comme une plateforme de consolidation des PME technologiques, et renforcer notre présence européenne.

Plus particulièrement, que proposez-vous au monde de la défense ?

Notre activité dans ce secteur s'articule autour de trois activités. Nous sommes un partenaire majeur de la DGA et des armées françaises dans le domaine NRBC. Bertin Technologies est non seulement un des fournisseurs de l'armée française en la matière, mais a aussi la particularité de proposer des systèmes de mesure et de détection pour l'ensemble des menaces : nucléaire, radiologique, biologique, chimique...

Nous nous sommes positionnés sur ce marché il y a une dizaine d'années et avons misé sur l'innovation pour nous développer rapidement et faire la différence en proposant des équipements à la pointe de la technologie.



En parallèle, nous avons acquis la société Exensor en 2018 (désormais appelée Bertin Exensor) qui est le leader mondial des réseaux de capteurs déposés pour la surveillance et le renseignement. Ces systèmes de surveillance (Flexnet) permettent de remonter des informations sismiques, acoustiques, magnétiques ou optiques à distance. Cette activité croît actuellement de 30 % par an. Nous servons plusieurs marchés comme l'Allemagne, la Hollande, la Pologne, la Lituanie, la Suède ou encore la Belgique. Et pour maintenir notre positionnement de leader sur ce segment, nous nous inscrivons dans une démarche d'amélioration continue et capitalisons sur des équipes de R&D de qualité en Suède.

Enfin, plus récemment, nous avons développé une activité optique et optronique. Nous proposons des composants et des équipements optiques (lentilles, miroirs, zoom, autofocus, objectifs...) ainsi que des systèmes optroniques principalement basés sur des capteurs infrarouges non refroidis et des caméras pour des fonctions d'observation, de reconnaissance ou de ciblage. Cette activité s'est aussi fortement développée grâce à des innovations de rupture (autocalibration, traitement et fusion d'images) et aux savoirs-faire et investissements industriels au sein de notre filiale Bertin Winlight. Nous avons notamment conçu une boule optronique d'observation dans le cadre du programme Serval qui propose de l'infrarouge non refroidi plus performant mais également plus compétitif en terme de coût que l'infrarouge refroidi. L'innovation reste au cœur de notre activité et de nos développements. Au quotidien, plus de 50 ingénieurs sont mobilisés sur ces sujets. Nous innovons dans le secteur de la défense, un domaine où la souveraineté sur le plan technologique et industriel représente un enjeu stratégique.

Aujourd'hui, quels sont les sujets qui vous mobilisent ?

Les deux récentes crises mondiales ont mis en avant la nécessité de travailler sur la souveraineté de notre capacité industrielle en particulier dans le domaine des industries de défense. Ces axes sont ceux autour desquels nous nous mobilisons depuis plus de 10 ans. Ces événements malheureux nous confortent dans notre effort de renforcement technologique et industriel.

De façon logique, nous poursuivons notre croissance et avons, dans ce cadre, un fort enjeu humain de recrutement et de fidélisation des talents. En 2020, nous avons réalisé un chiffre d'affaires de 78 millions d'euros. En 2021, nous enregistrons une hausse de 15 % de notre chiffre d'affaires, soit près de 92 millions d'euros. Nous avons recruté près de 90 personnes, principalement des ingénieurs, des docteurs et des techniciens et restons sur les mêmes hypothèses de croissance et de recrutement pour 2022.

Nous avons besoin de recruter des hommes et des femmes de talent qui sont passionnés par les multiples facettes et défis techniques : l'innovation scientifique, la capacité à en faire des produits fonctionnels et l'entrepreneuriat qui permet d'en faire des business récurrents.

Ainsi, nous invitons les ingénieurs qui ont une appétence pour l'industrie à venir nous rencontrer, à découvrir notre entreprise, ses métiers et les opportunités de carrière que Bertin Technologies peut leur offrir.



SAAB FRANCE : LE PARTENAIRE DES ACTEURS DE LA DÉFENSE FRANÇAISE



Camille Pertusot,
Directeur de Saab France

Le groupe suédois Saab se positionne en France comme un partenaire capable de collaborer avec les industriels français, mais aussi de compléter leurs produits et solutions. Camille Pertusot, Directeur de Saab France, en dit plus dans cet entretien.

Présentez-nous le groupe Saab.

Le groupe Saab est un groupe de défense suédois créé en 1937 principalement afin de permettre à la Suède d'atteindre une certaine autonomie en matière de défense aérienne. Si l'activité historique du groupe est la fabrication aéronautique (avions de transport militaire, de combat...), au fil des années, ce dernier s'est diversifié et est aujourd'hui également présent dans le domaine terrestre et naval. En 2021, le groupe a réalisé un chiffre d'affaires de 4 milliards d'euros. Il emploie plus de 18 000 personnes et est présent dans de nombreux pays dans le monde. Au-delà de l'activité dans le secteur aérien (40 % du CA), naval et terrestre (20 à 25 %), le groupe développe aussi des systèmes et des équipements de sécurité, et a également une activité dans le domaine de la gestion du trafic aérien et portuaire pour des installations civiles. Il compte notamment parmi ses clients les aéroports parisiens (Charles de Gaulle, Orly, le Bourget).

Quelques mots sur sa filiale en France.

Saab France a inauguré son bureau parisien fin 2016. Sa mission première est d'appuyer le développement de l'activité des entités de produits basés en Suède à destination du gouvernement français au travers de la DGA et du marché B2B en développant des activités avec des industriels français pour des marchés à l'export. Nous accompagnons aussi les filiales du groupe dans le développement de leur supply chain en France. On compte actuellement plus de 140 fournisseurs français référencés dans le catalogue du groupe et dont les équipements sont embarqués dans nos systèmes. Dans cette démarche, nous identifions pour eux en priorité des PME de la BITD (Base industrielle et technologique de défense) française et pouvons également être force de proposition quand plusieurs fournisseurs sont envisagés.

Saab France représente aussi le groupe et travaille sur sa visibilité

en participant aux grands événements majeurs du secteur : EUROSATORY, EURONAVAL, le Bourget, mais aussi SOFINS ou MILIPOL. Nous sommes le point de contact des acteurs institutionnels, comme la DGA et les forces armées, mais aussi des principales organisations et groupements industriels : GICAT, GICAN, GIFAS...

En France, au cœur de votre stratégie de développement, on retrouve la notion de partenariat. Pourquoi ? Comment cela se traduit-il ?

Dès la création de la filiale française, nous avons travaillé sur l'identification des axes de développement les plus pertinents et sur lesquels nous sommes en mesure d'apporter une véritable valeur ajoutée en France aussi bien pour les forces armées que les industriels.

En parallèle, nous avons fait le choix de nous inscrire dans une démarche partenariale avec les industriels français pour développer nos parts de marchés en France en nous positionnant comme un



acteur complémentaire sur des produits de niche qui ont des systèmes aujourd'hui obsolètes, pour lesquels ils n'existent pas d'équivalent sur le marché, ou pour lesquels nous sommes en mesure de proposer une alternative plus compétitive. Cette logique de partenariat vise aussi à créer des synergies avec la BITD française pour mieux répondre aux besoins des forces armées françaises, mais aussi pour développer des solutions conjointes qui pourront ensuite être exportées vers des marchés étrangers comme le Moyen-Orient, l'Amérique Latine... Sur le plan contractuel, les partenariats peuvent prendre de nombreuses formes. Il s'agit, en effet, d'opter pour la combinaison technique, technologique et financière la plus pertinente. Ainsi, Saab peut être primo-contractant ou sous-traitant selon les opérations. Depuis environ 3 ans, nous avons régulièrement recours à la co-traitance au travers de la mise en place de Groupements Momentanés d'Entreprises (GME). En parallèle, nous cherchons aussi à développer le modèle de distribution. Nous avons déjà trois distributeurs en France, dont le plus récent est SOLARMTEX avec qui nous avons remporté en décembre dernier un marché de la DGA dans le domaine du camouflage pour l'Armée de Terre. Et SOLARMTEX est aussi le revendeur des produits Saab Barracuda (filets de camouflage) en France.

Quelques mots sur la relation franco-suédoise dans le domaine de la défense et plus particulièrement sur le plan industriel ?

Les relations entre les deux pays sont très bonnes. La Suède a notamment collaboré avec la France dans le cadre de la TASK FORCE au Mali avec un contingent de forces spéciales pendant près de deux ans. Elle avait, d'ailleurs, le commandement de cette force jusqu'en mars dernier.

Les deux pays ont également des relations bilatérales dans le secteur de la défense. En septembre dernier, le ministère des Armées français et le ministère de la défense du royaume de Suède ont signé une lettre d'intention visant à renforcer la coopération bilatérale en matière de défense. Ils travaillent également sur le partage d'informations stratégiques et le développement d'activités conjointes.

La France et la Suède coopèrent également sur des programmes de R&D et sont engagées dans des programmes industriels de défense portés par l'Europe.

D'ailleurs, sur ce secteur, quels sont vos axes de différenciation et votre valeur ajoutée ?

Chaque année, le groupe Saab investit plus de 20 % de son chiffre d'affaires en R&D afin de pouvoir anticiper les prochaines tendances et développer des technologies de rupture. Cela vient renforcer la

volonté du groupe de se positionner sur des marchés de niche et de fournir aux forces armées des solutions et des produits toujours plus performants.

Plus particulièrement, le groupe est reconnu pour son activité de camouflage, comme j'ai pu le mentionner précédemment, mais aussi pour ses systèmes de roquettes qui n'ont pas d'équivalent sur le marché. Dans le domaine de l'entraînement et de la simulation, Saab est aussi connu pour ses systèmes interopérables qui permettent à des nations partenaires de s'entraîner conjointement.

Quelques mots sur EUROSATORY 2022 ?

Saab France sera présent sous le pavillon suédois à EUROSATORY. Durant cet événement, nous allons exposer de nombreux produits et systèmes. On pourra notamment retrouver des produits phares comme le système de roquette AT4 et notamment sa nouvelle génération qui va équiper l'Armée de Terre française cette année ; le système Carl-Gustaf qui est une arme plus versatile dédiée aux forces spéciales sur un large panel de munitions ; mais aussi le NLAW, un système de roquette missile avec une portée allant jusqu'à 800 mètres, qui est l'arme de neutralisation des chars.

Nous présenterons aussi le Giraffe 1X, notre nouveau radar destiné à la manœuvre et la mobilité aéroterrestre. Il s'agit d'un radar tactique 3D AESA extrêmement polyvalent, léger et performant. Il offre une combinaison unique entre flexibilité opérationnelle, capacités multitâches et utilisation multi-rôle. Le Giraffe 1X détecte et suit simultanément des cibles aériennes et d'autres types de menaces, comme les tirs indirects. Sur notre stand, nous allons aussi accueillir un véhicule SHERPA fabriqué par ARQUUS et qui peut être complété par de nombreux équipements fabriqués par le groupe Saab. Enfin, on retrouvera aussi nos équipements dans le domaine du camouflage et du NRBC.



GRUPE HERACLES :

DES EXPERTS DE LA SÉCURITÉ



Salvatore Furnari,
Président du groupe
Heracles H2S

Président du groupe Heracles H2S, Salvatore Furnari nous présente son entreprise et nous en dit plus sur ses activités, les sujets qui le mobilisent actuellement et son actualité.

Quel est le cœur de métier du groupe Heracles ?

Notre groupe est composé de 6 sociétés spécialisées dans des domaines divers, dont la surveillance humaine, la protection rapprochée, l'hôtessariat, la technologie, ou encore les équipements. Nous sommes organisés autour de 4 départements : sports et événements (gestion de grandes manifestations pouvant accueillir jusque 40 000 personnes...); le monde du luxe (événements privés, fashion week, présentation de collections en France et à l'étranger...); les risques spéciaux (mise en place de système de veille, de détection, de profiling et intervention motorisée rapide) et l'international (formation, technologie et humain...).

En parallèle, vous poursuivez votre développement dans le domaine de la protection rapprochée. Pouvez-vous nous en dire plus ?

Récemment, en matière de protection rapprochée, 4 de nos opérateurs viennent de finir leur formation et de réussir leur examen A3PRA. Il est important de souligner que l'armement des agents de protection physique des personnes renforcées armés (A3PRA) est une niche. Ce sont aujourd'hui des métiers qui prennent toute leur place dans le continuum de la sécurité privée, alors que nous assistons à la création de véritable filière d'excellence avec un focus sur la dimension juridique, l'équipement, la formation, l'accompagnement psychologique, l'audit externe... Même si la sécurité n'aura jamais vocation à remplacer le régulier, elle doit tout de même se positionner en tant qu'allié fiable au quotidien.

Heracles a également la volonté d'être reconnue comme une Entreprise de Services de Sécurité et de Défense. Qu'en est-il ?

En effet ! Notre ambition est d'accompagner les entreprises

françaises dans leurs opérations à l'étranger. Nous proposons ainsi des prestations de conseil et de formation, mais sommes aussi en capacité d'intervenir pour sécuriser leurs opérations notamment en Afrique et dans sa sous-région (Côte d'Ivoire, le Cameroun, le Niger, la Guinée Conakry...) où nous nous appuyons sur un réseau local mais aussi des sociétés que nous avons acquises afin d'être indépendant garantir une maîtrise complète de nos opérations.

Concrètement, nous pouvons intervenir sur la maîtrise d'œuvre (audit, plan de gestion de crise...), l'implantation locale avec des salariés français expatriés, l'appui de collaborateurs locaux et le management de compétences françaises. En parallèle, nous avons plusieurs marchés de sécurisation d'ambassades, des missions de conciergerie et d'accompagnement de sûreté afin de gérer de façon sécuritaire un déplacement dans la sous-région.

Quels sont les projets et missions qui vous mobilisent actuellement ?

Dans le cadre de la prochaine CAN 2023 (Coupe d'Afrique des Nations) qui va se tenir en Côte d'Ivoire, nous travaillons sur l'adaptation de nos dispositifs.

Au-delà, nous sommes dans en veille permanente dans cette région pour nous adapter en fonction de l'évolution de la situation géopolitique.

Sur le plan technologique, nous travaillons sur deux axes : l'intelligence artificielle avec la société Two-I pour développer des solutions Made-in-France pour la détection d'armes ou d'intrusion et l'utilisation des drones avec Elistair ou Delair.



ASSOCIATION

UN NOUVEAU CONSEIL AU TRAVAIL !

Lors de notre dernière assemblée générale tenue le 31 mars dernier aux Invalides, j'ai eu l'occasion de présenter en synthèse notre important programme de travail approuvé par notre Conseil du 10 mars 2022¹. Cette assemblée générale fut également l'occasion d'un profond renouvellement de notre conseil avec le départ de 8 membres et l'arrivée de 9 nouveaux administrateurs sur un total de 24 membres, soit le renouvellement de près de 40% du Conseil !

Lors de la première réunion de ce nouveau conseil tenue le 12 avril dernier, j'ai constaté avec plaisir que cet ambitieux programme était parfaitement soutenu par l'ensemble des administrateurs. Cette réunion fut notamment consacrée à l'élection du nouveau bureau et à la répartition entre les membres du Conseil des responsabilités dans la mise en œuvre de ce programme, les nouveaux membres s'étant tous portés volontaires pour assurer une responsabilité.



Comme tu peux le constater, plusieurs responsabilités seront assurées par des « membres soutien », c'est-à-dire des camarades non-membres du conseil qui ont bien voulu accepter de soutenir notre action. Qu'ils en soient chaleureusement remerciés !

Désormais, l'heure est au lancement de la mise en œuvre de ce programme, même si, à l'heure actuelle, votre Conseil est en parallèle très actif sur le projet de réforme des corps techniques de l'État. Chaque responsable d'activités prépare actuellement son plan de lancement pour une revue d'ensemble lors de notre prochain conseil en juin prochain. Pour certaines de ces actions, nous prévoyons d'ores et déjà de vous solliciter par une consultation directe. Merci par avance d'y répondre. Au stade



actuel, j'espère que vous verrez les premiers effets de la mise en place de ce programme avant l'été et surtout à partir du quatrième trimestre de cette année.

N'hésite pas à nous faire connaître tes réactions, voire à te manifester pour nous proposer ton soutien sur une action particulière. 📧

*Olivier Martin (IGA 2s)
Président de la CAIA*

En synthèse, le programme de la CAIA sera mis en œuvre par les camarades suivants :

Bureau	Président ::	Olivier MARTIN
	Vice-Présidente :	Monique LEGRAND-LARROCHE
	Secrétaire Général :	Hervé MORAILLON
	Secrétaire Général Adjoint :	François TERRAIL
	Trésorier:	Jean-Baptiste MOIROUD
	Trésorier adjoint:	Xavier MALDAGUE
	Webmaster Site CAIA :	Clément ROUSSEL
Conseil	Conseiller Spécial Communications :	Louis LE PIVAIN
	Colloque :	Nassima AUVRAY
	Service aux IA :	Blandine VINSON-ROUCHON
	Relations avec le CGARM :	Mireille CARLIER
	Relations jeunes IA :	Isaure de BROGLIE
	Actions internationales :	Olivier JACQUOTTE
	Diners débat :	Philippe ROUDIER
	Groupes thématiques :	Romain BERLINE
	Groupes régionaux :	Etienne GALAN
	Avenir du Corps :	Christophe SALOMON
	Statut des IA:	Louis-Alain ROCHE
	Pôle de réflexion :	Xavier SAHUT d'IZARN
	Soutien pôle de réflexion :	Jacques DOUMIC
Membres soutien	Actions vers IA en milieu de carrière :	Philippe COTHIER
	Soutien actions vers IA en milieu de carrière :	Amandine REIX
	Musée virtuel - Ouvrage :	Philippe ROGER
	Soutien Musée virtuel - Ouvrage :	Alain JOUANJUS
	Magazine :	Jerome de DINECHIN
	Gala :	Nicolas MAFFERT
	Annuaire papier :	Benoit GALLOUEDEC
Réseaux Sociaux :	Kevin VERHAEGUE	
Commissaires aux comptes :	Louis-Alain ROCHE, Daniel JOUAN, Julie MORVAND-CHARGELEGUE	

¹ : Ce programme a été adressé de façon plus détaillée dans mon 6^e mot diffusé à l'ensemble des IA

POINT SUR LA RÉFORME DES CORPS TECHNIQUES DE L'ÉTAT

Afin de renforcer l'efficacité de ses ingénieurs, le gouvernement a lancé en 2021 une grande réflexion menée par la mission Vincent Berger, Marion Guillou et Frédéric Lavenir (mission BGL), sur les corps techniques de l'État, dont le corps des ingénieurs de l'armement. Cette mission a présenté ses propositions au Premier ministre le 18 février dernier. La déléguée interministérielle à l'encadrement supérieur de l'État (DIESE), Emilie Piette, est actuellement chargée d'en proposer les conditions de mise en œuvre et nous ne connaissons pas ses conclusions à l'heure de la rédaction de cet article. Il s'agit donc ici de présenter la vision de la CAIA sur les recommandations de la mission BGL.

Le nouveau quinquennat devrait poursuivre et même amplifier la politique de réindustrialisation de notre pays, notamment grâce au développement des filières d'avenir initiées depuis quelques années. A ce titre, les besoins de l'État en cadres dirigeants capables de mettre en œuvre efficacement ces filières devraient croître considérablement. Ses corps techniques seront évidemment en première ligne pour remplir cette mission. Il est donc naturel que l'État souhaite mieux exploiter leurs compétences, notamment celles des ingénieurs de l'armement capables à la fois d'assurer une maîtrise d'ouvrage de systèmes complexes au niveau national comme en coopération européenne et de piloter efficacement la stratégie globale d'une filière industrielle nationale souveraine (préparation de l'avenir, organisation industrielle, soutien à l'exportation...). Tel est donc le principal objet de la réforme des corps techniques de l'État. A la suite de la publication du rapport de la mission BGL, que peut-on dire de ce projet de réforme ?



Les membres de la mission Berger – Guillou - Lavenir

En préambule, la CAIA tient à rendre hommage à cette mission d'avoir souligné que les grands défis de transformation du monde conduisent l'État à devoir disposer de compétences technologiques, scientifiques et techniques particulières et démontré combien il a de plus en plus besoin d'ingénieurs de haut niveau, maîtrisant de multiples compétences dans un contexte de concurrence exacerbée sur les talents.

Espérons que les autorités gouvernementales entendent ce message important, en particulier si elles souhaitent mener une politique technologique et industrielle ambitieuse, notamment au titre de ses filières de souveraineté.

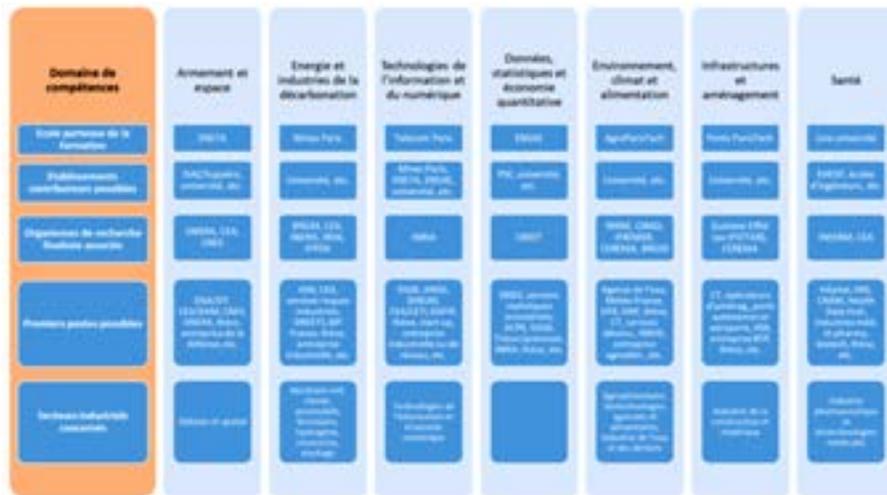
Ce rapport fait un certain nombre de propositions intéressantes et présente une analyse comparative pertinente entre les trois scénarios statutaires définis dans la lettre de mission du Premier ministre : maintien des corps actuels avec plus grande harmonisation de leurs statuts, fusion des corps techniques ou fusion des corps techniques avec les administrateurs de l'État.

Une segmentation en domaines de compétences

Le rapport propose une segmentation de l'activité des corps techniques de l'État en sept domaines de compétences, dont le domaine armement-espace qui relèverait des ingénieurs de l'armement. La CAIA soutient le principe de domaines, en précisant qu'il faut bien veiller à ce que ces domaines correspondent à des domaines d'activités précis de l'État et non à des compétences techniques transverses qui doivent être maîtrisées par tout ou partie des corps techniques. De plus, le périmètre de ces domaines devra continuer de s'adapter à l'évolution des grands domaines stratégiques pour l'État.

Une clarification de la gouvernance des corps.

Le rapport propose de renforcer la gouvernance de certains domaines, en distinguant la fonction employeur de la fonction gestionnaire du domaine. La CAIA soutient cette proposition permettant une meilleure exploitation des IA au profit de l'État dans son ensemble. En effet, il paraît difficile de demander aux employeurs principaux, quelle que soit leur bonne volonté, de consacrer la même attention à la satisfaction des besoins de l'État, évidemment plus lointains, qu'à celle de leurs propres besoins.



Les 7 domaines de compétences proposées par la mission BGL

Cependant, il conviendra de s'assurer que le gestionnaire du domaine (CGARM) dispose bien de tous les moyens nécessaires pour assurer cette importante mission, mais également de définir les dispositifs nécessaires permettant à la DGA d'être très largement associée à cette gouvernance, afin de lui permettre d'assurer au mieux sa mission première au profit du Ministère des Armées, soit la fourniture des systèmes d'armes performants au profit des forces armées.

Cette répartition des responsabilités pourrait ainsi distinguer deux modes de gestion des ressources humaines complémentaires et cohérents :

- une gestion « opérationnelle » des ressources humaines de l'employeur de référence (recrutement, formation continue, GPEC interne, mobilité interne, promotion interne, ...), lui permettant de pouvoir assurer au mieux ses missions. Cette responsabilité relève de la DGA.
- une gestion « stratégique » des ressources humaines du domaine (définition du volume global de recrutement du domaine dont ceux de la DGA, formation initiale, GPEC globale, mobilité externe, rayonnement, ...), permettant au responsable du domaine de gérer ces ressources humaines en visant à servir au mieux les besoins de l'État. Cette responsabilité relève du CGARM.

Le CGARM et la DGA doivent alors coopérer au titre de ces deux modes de gestion, vu leur imbrication réciproque, la décision de dernier ressort pour chaque mode relevant de son responsable principal.

De nouvelles modalités de recrutement et de parcours professionnel initial.

La CAIA soutient également la proposition de confier la responsabilité de déterminer les volumes globaux de recrutement, afin de mieux répondre aux besoins de l'État

au sens large, au responsable du domaine et non plus à l'employeur principal, ce dernier restant bien entendu responsable de la détermination de ses besoins propres. Le rapport propose de renforcer la diversité du mode de recrutement des ingénieurs de l'armement (boursiers, femmes, autres écoles, ingénieurs expérimentés...) d'une part en préservant la majorité du recrutement à l'X et d'autre part en disposant d'au

moins deux tiers des IA provenant d'écoles de groupe A+. Cette proposition va dans le bon sens si l'on veille à préserver l'indispensable niveau d'exigences et l'équité du recrutement, prenant notamment en compte la capacité effective de ses viviers sources.

Enfin, en matière de formation initiale, il convient de préserver pour les IA une formation technique de qualité par spécialité grâce à une première formation dans des organismes adaptés puis, en début de carrière, par des postes techniques au sein de la DGA mais également en affectation temporaire dans l'industrie. Ce dispositif est pratiqué depuis plusieurs années pour les jeunes IA, à la satisfaction de la DGA et de l'industrie. Et, afin de mieux se préparer au service de l'État de façon générale, la mise en place en 2021 d'un tronc commun de formation sous l'égide de l'INSP¹ en début de carrière paraît très positive.

Une meilleure gestion des carrières.

Si, bien entendu, de nombreux IA peuvent s'épanouir durant leur carrière au sein de la DGA et du MINARM compte tenu de la grande diversité des activités qu'ils peuvent y exercer, d'autres souhaitent évoluer, notamment dans d'autres secteurs de l'État en France ou à l'étranger. Compte tenu de la qualité du « produit » IA, notamment en matière de maîtrise d'ouvrage, il est très souhaitable d'améliorer le dispositif de mobilité grâce à une démarche encore renforcée du CGARM auprès des autres employeurs potentiels étatiques, après une phase d'acquisition d'un socle de compétences techniques et managériales d'une dizaine d'années. Dans cette perspective, une étroite coopération entre le CGARM et la DIESE est très souhaitable pour optimiser la mobilité des ingénieurs de l'armement.

¹ : INSP : Institut national du Service public, qui a remplacé l'ENA

Une harmonisation des statuts des corps techniques.

La mission BGL a permis de montrer les importants écarts de dispositions statutaires entre les corps techniques. Ces écarts paraissent difficilement justifiables, en termes de rémunération, de grade, de mode de promotion... La CAIA soutient un alignement maximal de ces dispositions statutaires, dans la mesure où la mobilité des ingénieurs des corps techniques au sein de l'État démontre régulièrement l'équivalence globale de leur contribution au profit de cet État. En revanche, l'harmonisation devra sans doute être mise en œuvre de façon globale sur l'ensemble de la carrière, s'il est décidé de maintenir certains dispositifs statutaires importants tels que le statut militaire des ingénieurs de l'armement (dispositif de retraite spécifique notamment).

Un sujet non traité par le rapport : le statut militaire des ingénieurs de l'armement.

Ce sujet est un point sensible pour les IA. L'alternative est simple : soit le statut militaire est préservé et cela pourrait entraîner des complexités dans la mise en œuvre de certaines dispositions importantes de la réforme, soit il est supprimé et cela pourrait avoir un impact sur l'attractivité du corps auprès des futurs postulants au corps de l'armement, sur la relation entre la DGA et ses interlocuteurs au sein du ministère des armées, notamment les armées. A ce stade, notons tout d'abord qu'un certain nombre de postes de responsabilité au sein de la DGA, notamment ceux qui sont au contact direct des armées ou à l'international, devront rester sous statut militaire (nombre et nature de ces positions à préciser). De plus, une partie des membres du corps tient au statut militaire qu'ils ont choisi et qui a contribué à leur engagement. Les conséquences de l'éventuel abandon du statut militaire des IA non seulement sur l'attractivité du corps de l'armement, mais également sur son impact sur les équilibres au sein du ministère, devront donc être appréciées avec soin. C'est pourquoi la CAIA vient de lancer une grande consultation auprès de ses membres pour bien apprécier leur vision du projet de réforme, notamment envers le statut militaire. Les résultats de cette consultation sont attendus courant juin 2022. Plus de 150 d'entre vous s'étaient déjà prononcés 5 jours après le lancement de cette consultation.

Quelle solution de mise en œuvre à retenir à court terme ?

A l'instar de la mission BGL, la CAIA considère que le scénario de fusion des corps techniques avec les administrateurs de l'État apporte beaucoup plus d'inconvénients que d'avantages, compte tenu notamment de la différence importante des natures de missions assurées par ces organismes au profit de l'État et du grand risque de perte de visibilité et donc d'attractivité que pourrait

subir les corps techniques. Si le scénario de fusion des corps techniques présente plusieurs avantages (facilité d'harmonisation des statuts, simplification des règles de mobilité interne au sein de l'État...), il soulève en revanche lui aussi un risque de perte de visibilité et donc d'attractivité pour chacun des corps techniques, notamment pour le corps de l'armement, et des complexités importantes de mise en œuvre administrative, notamment entre des corps techniques civils et un corps technique militaire. Ce dernier problème serait réglé avec la suppression du statut militaire, mais cette éventuelle décision importante doit être analysée avec soin. Une étude d'impact précise de cette éventuelle décision pourrait être utilement lancée sur l'attractivité du corps de l'armement, sur la capacité effective de mettre en place un système pérenne permettant de conférer un statut militaire aux fonctions de la DGA qui le nécessiteraient et, surtout, sur l'efficacité du fonctionnement du ministère des armées, notamment en ce qui concerne les relations entre la DGA et les armées. La consultation en cours lancée par la CAIA permettra de contribuer utilement à cette étude d'impact.

Dans l'attente de ce résultat, la CAIA propose d'adopter la plupart des mesures préconisées par la mission BGL avec les aménagements présentés plus haut et de travailler en parallèle à l'harmonisation maximale des statuts des corps techniques (rémunération, recrutement, promotion, grade, formation initiale commune, mobilité...) dans un contexte de maintien de ces corps techniques et du statut militaire des ingénieurs de l'armement. Cela représentera d'ores et déjà un changement très significatif. S'il s'avérait que cette solution ne puisse pas permettre cette exploitation optimale des compétences du corps de l'armement au profit de l'État avec le maintien de la capacité de la DGA à remplir au mieux sa mission première au profit des forces armées, en restant notamment suffisamment attractive auprès de ses futurs cadres dirigeants, l'harmonisation maximale des statuts et la mise en place d'un décloisonnement effectif des parcours au sein de l'État, alors le scénario de fusion des corps techniques pourrait être envisagé. ☺



GALA DE L'ARMEMENT :

Retrouvons-nous vendredi 21 octobre 2022 !

Vendredi 21 octobre 2022 : ce jour peut d'ores et déjà être marqué dans les agendas, calendriers et tablettes de tous ordres des ingénieurs de l'armement. C'est en effet la date retenue par la CAIA pour organiser son prochain Gala dans les salons de l'hôtel Intercontinental Paris Le Grand. Te joindras-tu à nous ?



De retour après un an d'absence pour des raisons sanitaires, le gala de l'Armement 2021 avait rencontré un vrai succès : de nombreux invités officiels – dont le Délégué Général pour l'Armement – plus de 270 industriels et leurs convives et 165 ingénieurs de l'armement (parmi lesquels de nombreux jeunes, voire « tout jeunes » IA) se sont retrouvés à cette occasion.

Les inscriptions seront ouvertes le 1^{er} septembre 2022

Depuis plusieurs semaines, l'équipe organisatrice est à pied d'œuvre pour imaginer une édition 2022 qui te plaira autant (et pourquoi pas « davantage » !) que la précédente et éveiller l'intérêt de nouveaux partenaires. Le lieu de la manifestation – très beau, chargé d'histoire et d'une capacité adaptée à notre gala – reste inchangé. Comme les années précédentes, tu pourras t'inscrire à cette manifestation en ligne depuis le site Internet de la CAIA. Cette année, les inscriptions seront ouvertes à compter du 1er septembre (nous t'enverrons bien sûr un mail d'alerte pour que tu ne manques pas cette date).



Enfin, nous lancerons prochainement, sous le pilotage de notre camarade Romain Berline, une réflexion d'ensemble sur notre gala. Celle-ci portera notamment sur la contribution de cet événement au rayonnement de notre association, sa formule, l'identification de lieux alternatifs, les conditions de son financement, ... La mise en œuvre éventuelle de ces propositions est prévue à partir de l'édition 2023. 📧

Frédérique Paganessi
CAIA

CHANGEMENT DE QUART POUR LE WEBMASTER DE LA CAIA

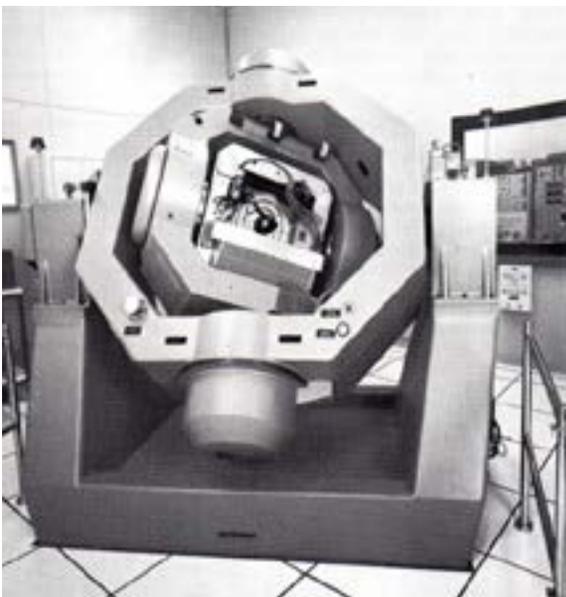


Pionnier de l'informatique, François Bihan, IGA, a maintenu l'annuaire et le site web de la CAIA depuis plusieurs années. La CAIA a tenu à le remercier de cet engagement de l'ombre, lui, cet homme de la navigation confidentielle, dans un dîner au Cercle National des Armées. L'occasion autour des présidents qu'il a connus,

Philippe Roger, Philippe Hervé et Olivier Martin, d'Yves Le Goff, de Jérôme de Dinechin, de votre serviteur, et de Clément Roussel son successeur comme webmaster, de revenir sur quelques aventures de géo-localisation. Comme lorsqu'il fallut modifier les programmes du Redoutable pour maintenir la précision des calculs près de la Norvège, car on était en virgule fixe et qu'il valait mieux multiplier les petits cosinus du grand Nord avant de les diviser plutôt que le contraire... L'un de ses grands sujets fut le GSE, gyroscope à suspension électrostatique, boule de beryllium tournant à grande vitesse en lévitation dans le vide, et qui fut proche du gyroscope parfait. Matériaux spéciaux, électronique de pointe, procédures d'usinage originales, moyens informatique puissants... permirent de réaliser des prouesses dans les années 80. L'ambition de François après son job serait que ce savoir accumulé, les dispositifs d'essais et de mise au point ne soient pas perdus, et même s'il regrette qu'ils n'aient pu avoir un avenir à l'Observatoire de Paris, qu'ils puissent devenir des pièces d'un musée des arts et métiers du XXI^e siècle... Un bel objectif pour notre activité historique !

Merci encore à François et bonne mer ! 🍷

Par Jérôme de Dinechin



Le Gyroscope à Suspension Electrostatique (GSE) marine en essai longue durée sur une plate-forme précise à trois axes asservis

COTÉ SECTION CARRIÈRES

SPEED DATING PÉRIODES D'OUVERTURE

Par Isabelle Tanchou, IGA, Présidente de la Section Carrières du CGARM

La Section Carrières du CGARM a organisé un speed dating à destination de nos jeunes camarades pour faire connaître les possibilités offertes par la « période d'ouverture. Il s'agit d'une affectation ... ».

Rendons à César ce qui est à César, l'idée d'un *speed dating* nous a été soufflée fin 2021 par quelques-uns de nos camarades en poste dans des grands groupes : en particulier François Terrail, chez Nexter, et Christophe Salomon, chez Thales. Il s'agissait de dynamiser le processus des périodes d'ouverture, qui est encore très récent et n'a pas atteint son rythme de croisière. Idée séduisante, qui correspondait bien aux ambitions de la section carrières de développer les contacts entre les différentes sphères d'emploi. Mais... qui se heurtait aux conditions sanitaires du moment. Par ailleurs, pour coller au mieux au calendrier de recrutement (à l'École polytechnique mais aussi sur titres), il était nécessaire de placer l'évènement entre mi-décembre et mi-février. Début décembre, il est très vite apparu que la rapide dégradation du contexte sanitaire ne permettrait pas de tenir notre speed dating en présentiel.

Il nous a donc fallu, à regret, nous replier sur ce rendez-vous virtuel, avec un nombre réduit de participants, évènement qui s'est tenu le 18 janvier. Participaient Airbus, MBDA, Naval Group, Nexter, Safran, Thalès. Pour les jeunes IA, nous avons invité ceux de la FAMIA (bien que le processus de primo affectation soit déjà quasi terminé) et des IA de moins de 35 ans n'ayant pas fait de période d'ouverture : en tout une soixantaine de jeunes. Le tout sous le regard bienveillant de la DGA (DRH et direction technique).

Je salue l'inventivité et la réactivité de l'équipe de la section carrières pour organiser des salles virtuelles avec un outil dont ne dispose pas le ministère, pour suivre les différentes conversations dans les salles, pour noter les questions particulières, et pour organiser, avec sang-froid, des changements de salle laissant quelques conversations en suspens. Néanmoins cela a bien fonctionné et l'enquête de satisfaction réalisée à l'issue a été très positive.

Conclusions ? Évènement à reconduire, de préférence en présentiel, même si le mode virtuel a permis la participation de certains ingénieurs habitant loin de Paris. La meilleure période pour organiser cette rencontre n'est pas identifiée ; peut-être en faut-il deux dans l'année pour toucher des âges et situations différents. Les retours des participants suggèrent par ailleurs une diversification des employeurs invités pour inclure des acteurs majeurs de l'industrie de défense, tels que Dassault, mais aussi les ETI et les PME ainsi que des entreprises moins majoritairement tournées vers la défense (par exemple les entreprises de services du numérique ou du secteur de l'énergie), voire des ministères et établissements publics (CEA, CNES).

L'aventure « périodes d'ouverture » continue. Afin de donner plus de visibilité aux postes proposés, de la DGA/DRH leur consacre une page dédiée. La direction technique de la DGA organise par ailleurs en juin un RETEX sur le dispositif avec de jeunes IA en période d'ouverture ou l'ayant adoptée pour leur premier poste. ☺



Les grands industriels sont intéressés par accueillir des jeunes ingénieurs de l'armement en période d'ouverture

OUVRIR NOTRE LEADERSHIP ACCÉDER AUX MÉTAPHORES GRÂCE AU CLEAN LANGUAGE

Par Jérôme de Dinechin, ICA , coach

Ecrire un article, c'est comme plonger. Tant qu'on est hors de l'eau, cela paraît repoussant, trouble, visqueux. C'est par volonté que l'on y va. Aussitôt qu'on y plonge la tête, les choses prennent une autre couleur. Le froid s'oublie et l'intérêt se porte sur des formes inaccoutumées. L'exploration commence...

Cette représentation vous a-t-elle parlé ? Peut-être cela a-t-il évoqué pour vous une expérience personnelle de plongée, ou d'écriture. Selon votre préférence, peut-être l'avez-vous transposée sous forme d'image, ou de son, ou encore d'impression. Mais ces représentations sensorielles n'ont aucune raison de ressembler à ce que j'évoquais. Elles font partie de votre expérience ou de votre imaginaire. Elles vous appartiennent.

« LAISSER SE DÉPLOYER LA
PUISSANCE DES MÉTAPHORES... »

Ne pas contaminer grâce au *clean language*

David Grove, psychothérapeute néo-zélandais, se rendit compte à partir de l'analyse des meilleurs thérapeutes des années 70 que dans les questions qu'ils posaient, ils influençaient souvent à leur insu les réponses de leurs clients. En choisissant de rebondir sur tel ou tel terme, ils orientaient l'entretien.

Une phrase aussi simple que « j'aimerais bien essayer, mais je ne supporterais pas l'échec » fournit de nombreuses pistes possibles pour un coach ou un chef : essayer quoi, l'envie d'essayer, les résistances qui retiennent d'essayer, ce que la personne entend par « essayer », les ressources qui permettraient d'essayer, les histoires d'échecs, ce qui se passe quand on échoue, ce que veut dire ne pas supporter, ce qui se passerait alors, comment on sait que c'est un échec, ce qui caractérise un non-échec, etc...

Pour sa part, David Grove s'appliqua à formuler les questions les plus simples et les moins orientées possibles. Cela passe par la reprise exacte des termes de ses clients, sans rien ajouter, et l'utilisation de mots les plus vagues possibles dans ses demandes. Si l'on demande en effet « qu'est-ce cela évoque chez toi ? » ou « que vois-tu comme solution », il y a une influence

vers une représentation auditive dans le premier cas et visuelle dans le second. Au contraire, dire simplement « C'est comment ? » laisse la personne libre de choisir.

Dans son approche baptisée *Clean Language*, il s'agit d'éviter de contaminer son interlocuteur par des « MAP », métaphores, a-priori et présupposés, et au contraire, de le laisser visiter des éléments importants de son expérience et de ses représentations. Le « moi » de l'accompagnateur disparaît presque dans l'échange, et la puissance des métaphores peut se développer. Lorsqu'il accompagnait de personnes ayant vécu des traumatismes, cette exploration faisait petit à petit disparaître les symptômes, parfois par des chemins inattendus.

De la thérapie au leadership

A sa mort en 2008, James Lawley et Penny Tompkins reprirent ses enregistrements et identifièrent une dizaine de questions qui revenaient fréquemment. Ils les appliquèrent aussi à d'autres domaines que la thérapie, notamment le management, ou la gestion de projet.

Cela peut correspondre en effet à une situation professionnelle difficile. Imaginons que votre interlocuteur dise : « je me sens comme un bateau dans le mauvais temps », il ne s'agit pas de vous demander si c'est un voilier ou une barque, si c'est une tempête ou une grosse mer car cela viendrait de vous, mais de simplement dire : « de quel genre de bateau dans le mauvais temps s'agit-il. » puis de laisser creuser.

Cela peut aussi correspondre à des schémas de performance difficilement compréhensibles autrement. Des questions comme : « lorsque tu réussis le mieux, c'est comment ? » ou « à ce moment-là, c'est comme quoi ? » permettent l'accès à ces métaphores enrichissantes. Pour ma part, je vois mon rôle de coach comme celui de quelqu'un qui a des clefs, qui ouvre une serrure, et la personne choisit ou non d'ouvrir la porte.

Autoriser nos propres métaphores

« *La métaphore est peut-être la ressource la plus efficace de l'homme. Sa virtualité tient de la magie, et il semble que c'est un procédé de création que Dieu a oublié dans la créature quand il l'a faite.* » disait José Orgega y Gasset.

De fait, chacun de nous utilise un grand nombre de métaphores dans l'élaboration de sa pensée, on parle de quatre par minute ! Prenons des phrases comme « je suis à un carrefour », « nous sommes tirés vers le haut », « il faut éviter de prendre le mur, » « j'ai mis mon mouchoir sur mes valeurs. »

Certaines sont liées à notre passé, à nos valeurs, nos croyances, et elles peuvent avoir un effet sur notre énergie personnelle et notre motivation. Ainsi dans une stratégie que je proposais selon la pédagogie de Jean Monbourquette, deux jeunes talents décrivaient chacun une métaphore. L'un disait « le monde est comme un grand cimetière et il faut survivre. » L'autre « l'univers est comme un grand cirque et je suis un acrobate. » L'énergie est différente !

Nommer, visiter ces métaphores – avec l'aide d'un accompagnateur – permet de les faire advenir à la conscience, ce qui empêche qu'elles nous influencent à notre insu et de pouvoir les modifier à notre profit.

« *POSONS-NOUS LA QUESTION
SINCÈREMENT : QU'AIMERAIS-TU
QU'IL SE PASSE ?* »

Grimper un barreau de l'échelle du leadership

La plupart des notions que nous manipulons dans notre activité professionnelle n'existent pas à proprement parler. Par exemple, le business, le projet, le risque juridique ne sont pas des objets tangibles, mais des concepts. Et pourtant, nous sommes appelés à prendre des décisions concrètes à partir de ce que nous nous en représentons.

Lorsque nous en parlons en équipe, il n'y a que peu de raisons pour que nos représentations soient les mêmes. On connaît l'adage : « Je suis entré dans le bureau du chef avec mes idées, je suis ressorti avec les siennes ! » Ce qui vaut pour les idées vaut aussi pour les représentations, avec la croyance – peut-être – que la métaphore du chef vaut mieux que la mienne !

Progresser en leadership signifie s'engager davantage au profit de l'objectif commun et de l'équipe. Le sens, le sentiment de valeur ajoutée comptent pour beaucoup dans notre motivation, et sont basés... sur la représentation que nous en avons.

Utilisé dans ce cadre, le *clean language* permettra à chacun de pouvoir dire ce qu'il a vu et ce qu'il sent,

d'exprimer ce qui lui semble bon pour son organisation, à partir de son intime conviction.

En pratique

En *clean language*, une question d'introduction est souvent : « dans votre vie, votre activité,..., qu'aimeriez-vous qu'il se passe ? » Si nous prenons un peu le temps d'y réfléchir avec une feuille et un crayon, que voudrions-nous réellement qu'il se passe pour nous ? Puis, nous trouvons des questions d'exploration : « c'est quel genre de ... ? »

Si la description s'arrête, ou si on semble avoir fait le tour, une relance peut être : « qu'y a-t-il d'autre autour de ce... ? »

Fréquemment, des métaphores surgissent dans ces questions et on peut demander : « cela a quelle forme, quelle taille ? »

Pour susciter une métaphore, lorsque c'est le bon moment, on demande « ce qui se passe, c'est comme quoi ? »

L'exploration s'effectue également dans le temps et dans l'espace, avec un très simple et puissant « C'est où ? » Parfois, la réponse concerne un lieu physique extérieur, une direction, et parfois le propre corps de la personne. J'ai observé que certaines réponses sont instantanées et surprennent la personne elle-même, comme si elle savait exactement ce dont elle parle alors qu'elle ne l'a jamais exprimé.

Pour le temps, il s'agit de proposer un recadrage avec par exemple « cela vient d'où ? », « qu'est-ce qui se passe juste avant ? » et « qu'est-ce qui se passe alors ? »

Enfin, la métaphore étant justement un lieu de travail, on peut mettre en mouvement par la question : « et que devrait-il se passer pour... ? »

Ecouter l'inexprimé

Par rapport à l'écoute active, centrée sur le sentiment, le méta-modèle qui vise à corriger des anomalies de représentations par le langage, et bien d'autres formes d'écoute, le *clean language* est d'abord assez frustrant, car nous brûlons d'envie d'apporter des solutions à ce que dit notre interlocuteur. Sur l'histoire du navire dans la tempête, j'ai été pour ma part persuadé que le plus important, c'était de faire comprendre de quel type de tempête il s'agissait, si le navire courait un risque, qui était le capitaine..., avant de découvrir que cette métaphore ne m'appartenait pas.

Utiliser ce type de questionnement aura comme avantage de créer une relation plus juste avec soi-même, pour bien distinguer ce qui vient de moi de ce qui vient de l'autre, et avec l'autre, en lui donnant du temps et de la sécurité psychologique pour discerner ce qu'il voudrait dire, et qu'il n'est pas habitué à exprimer. ☺

TALENTUEUSES : PLONGÉE EN INTERMINISTÉRIEL

INTERVIEW D'AMANDINE REIX, LAURÉATE DU PROGRAMME TALENTUEUSES

Amandine REIX, ICA, Directrice de programme

Après un socle technique dans le domaine des drones et du numérique, puis un passage en finances, Amandine Reix a été conseillère auprès du Délégué Général pour l'Armement et est depuis septembre 2021 directrice de deux programmes dans le domaine des satellites d'observation.



Journée d'entraînement avec le GIGN : apprendre l'entraide

La CAIA : tu as été lauréate du premier programme des Talentueuses, lancé à l'été 2021 par Amélie de Montchalin, alors ministre de la Transformation Publique : peux-tu me décrire comment se fait la sélection ?

Amandine : C'est une grande fierté d'avoir intégré ce programme. Celui-ci est ouvert aux femmes ayant au moins six ans d'expérience professionnelle à des postes d'encadrement supérieur et susceptibles d'accéder à un premier emploi fonctionnel. Dans ma promotion, il y a des femmes ayant fait l'ENA, évidemment, mais également des ingénieurs A+, comme des IPEF. J'y suis la seule ingénieure de l'armement.

La CAIA : quel est le but dans la création de ce programme ?

Amandine : La loi Sauvadet, dont on fête le 10^e anniversaire impose un taux minimum de personnes de chaque sexe parmi les personnes nommées pour la première fois aux principaux emplois de l'encadrement supérieur et dirigeant de l'Etat. Ce taux est de 40% depuis 2017. Le ministère des Armées vient d'atteindre cet objectif. Aujourd'hui, le gouvernement souhaite passer d'une logique de flux (les primo-nominations) à

une logique de stock. Le but du programme est donc d'encourager les femmes à candidater aux postes de sous-directrice et donc augmenter le vivier dans la haute fonction publique.

La CAIA : que t'a déjà apporté le programme ? Peux-tu nous parler d'expériences concrètes ?

Amandine : tout a commencé dans un car, où nous, les 50 talentueuses, étions en partance dans un bus pour une journée au GIGN. Nous avons été mises en situation de stress afin que nous soyons obligées de nous entraider les unes les autres. J'ai mieux compris le questionnaire portant sur le vertige et la claustrophobie !

Au sein de ce programme, nous venons toutes d'origines différentes : nous sommes trois actuellement au ministère des armées. J'ai pu dîner avec des talentueuses diplomates en Australie ou au Qatar et confirmer de véritables synergies dans nos domaines, ou bien m'ouvrir à de nouveaux horizons par le ministère de l'écologie, de la culture ou de l'éducation nationale. Je pense avoir trouvé ma place au sein de ce groupe.



Rencontre avec Emilie Piette, directrice de la DIESE



Autour de François Sauvadet et Amélie de Monchalin

Au sein des différents séminaires en plénière, quatre grands objectifs : mieux se connaître, s’inspirer et s’autoriser, s’apprécier, se projeter. Nous avons travaillé sur notre plan de carrière à long terme, identifiant les grands jalons, nous avons *pitché* en 1 minute à la Philharmonie de Paris, nous avons appris des techniques de gestion du stress à la Comédie Française et nous avons même fini par danser ou faire du yoga ! Au-delà de l’aspect ludique, le rapport au corps est très important dans les postes à responsabilité : c’est une endurance sur le long terme. Enfin, un déjeuner avec Amélie de Montchalin nous a permis de discuter avec les Délégués à l’Encadrement Supérieur et nous voir proposer des postes ou au moins des rendez-vous afin d’être intégrées dans le vivier.

La CAIA : en plus des séminaires de groupe, vous avez également des ateliers de co-développement et du coaching, peux-tu nous dire ce que ça t’a apporté ?

Amandine : j’ai découvert les ateliers de co-développement avec ce programme. C’est un outil très puissant car la participante qui expose sa situation est *de facto* engagée dans le processus de résolution, avec ce que vont proposer les 7 autres participantes. Le coaching m’a énormément apporté: elle a questionné mes croyances profondes. Aujourd’hui je connais les points forts sur lesquels je peux m’appuyer et je vois où je veux aller. Le coaching est un très bon outil de progression, qui donne énormément d’énergie. Le CNES m’a déjà fait la remarque : « on voit que tu t’es fait coacher ! ».

La CAIA : quelles personnalités as-tu rencontrées et en quoi te marquent-elles ?

Amandine : Amélie de Montchalin a été très présente. J’ai été particulièrement émue de la présence de Fran-

çois Sauvadet le 8 mars. Emilie Piette, directrice de la DIESE, est venue régulièrement. Nous avons également eu de magnifiques témoignages : la première femme cheffe d’orchestre, Maud Bailly, Virginie Lasserre, Claire Legras, une ingénieure dans le BTP, une préfète, une femme pilote... J’ai été émue par leur sincérité et le point commun que nous avons toute : avancer pour le bien commun en cohérence avec nos valeurs profondes.

La CAIA : Comment cela rejailit-il sur ta manière de piloter tes programmes ?

Amandine : le premier effet est certainement la vision interministérielle. Quand je vois le CNES, je le vois par l’ensemble de ses ministères de tutelle. Le deuxième est sur l’équipe, en tant que directrice de programme. C’est toute l’équipe, avec sa pluridisciplinarité, qui amènera vers un but commun, en suivant la même direction. Enfin, j’ai l’impression de piloter mes programmes avec une vue beaucoup plus large et une bonne conscience des enjeux.

La CAIA : et demain, comment va se poursuivre le programme ?

Amandine : en tant que lauréate de la première promotion, je me suis portée volontaire pour travailler sur le programme des promotions suivantes. Nous allons rédiger un document qui fait part de nos réflexions. Toute notre promotion se retrouve régulièrement autour de déjeuners thématiques (le dernier était sur Bercy, organisation et postes accessibles), de déjeuners réseau ou bien d’événements de course à pied comme la course des princesses en juin à Versailles. ☺

TROIS QUESTIONS À PAULINE GALY, INGÉNIEUR DE L'ARMEMENT SUR TITRES 2021, ENS ULM

Pourquoi as-tu choisi de présenter le concours ?

J'ai toujours eu à cœur de travailler pour le bien commun et le service public. Après des études de chimie et une thèse à l'École normale¹, et alors que je m'intéressais aux grands corps, j'ai découvert, un peu par hasard, le corps des ingénieurs de l'armement. Étant sensible aux questions de géopolitique, j'ai été immédiatement séduite par les enjeux de souveraineté auxquels répond la DGA, mais également par la bienveillance et la légitimité technique des ingénieurs. Juste après ma thèse, je souhaitais valoriser mon parcours de formation par la recherche au centre DGA Maîtrise NRBC de Vert-le-Petit, où je savais que je serais utile, avec un métier qui a du sens. Néanmoins, je ne souhaitais pas travailler dans un laboratoire toute ma vie, et le large choix de carrières offert par le corps m'attirait tout particulièrement.

Comment t'y es-tu préparée ?

Je m'intéresse au concours depuis deux ans ; il n'existait alors pas encore de présentation du corps dans mon école, ni de jeunes ingénieurs ex-ulmites. Aussi, j'ai commencé par contacter le bureau du concours, dont le courriel est indiqué en bas de la page web consacrée de la DGA. De



Une normalienne en treillis

proche en proche, j'ai eu l'opportunité de discuter avec de nombreuses personnalités du corps qui m'ont fait confiance et qui m'ont aidée à préparer le concours. Je les en remercie toutes très chaleureusement. Par ailleurs, entre deux expériences de thèse, je fouillais assidûment le site internet du ministère, je cherchais partout les brochures de la DGA et je parcourais différents médias spécialisés.

Tes premiers pas ?

Je suis absolument ravie d'avoir intégré le corps ! Nous avons commencé par une formation théorique passionnante, la FAMIA, avec nos collègues polytechniciens. Dans ce cadre, j'ai eu la chance de pouvoir visiter certains grands sites du monde de la défense. Deux de mes camarades sur titres et moi-même sommes actuellement en fin de formation militaire initiale à Saint-Cyr Coëtquidan. Ce stage est très intéressant, en particulier car il me permet de mieux saisir le quotidien des soldats de l'armée de terre avec qui je serai très probablement amenée à travailler dans le domaine de la défense NRBC. J'ai d'ailleurs hâte de partir début juillet pour mon premier poste à Vert-le-Petit. Qui sait, peut-être arriverai je un jour à convaincre d'autres normaliens de s'intéresser aux passionnants enjeux du corps et du monde de la défense ? 🐦

¹ : Thèse soutenue le 7 décembre 2021 avec comme sujet : Interfaces actives et dépôts évaporatifs : vers de nouvelles méthodes de contrôle des phénomènes interfaciaux

MON PÈRE, CE PYRO !

PORTRAIT D'UN INNOVATEUR TOUT AZIMUTS, ROBERT GUELDRY, 1934 - 2006

par Olivier Gueldry, ICA

Quand le rédac'chef m'a demandé de mettre en avant le rôle de mon père dans l'innovation des matériaux énergétiques, ma première réaction a été la surprise, car je l'ai surtout vu exercer dans les transmissions. Il me paraît certes possible d'utiliser les explosifs pour faire passer certains messages, mais j'avais certains doutes sur ma capacité à illustrer cet aspect reculé de la carrière de Robert Gueldry. Je me suis toutefois résolu à essayer. Portrait d'un ingénieur, attiré très jeune par une certaine chimie un peu démonstrative, et qui se trouva plus d'une fois mêlé à ce que l'on nomme à présent « innovation » des dizaines d'années avant que cette mode ne survienne.



dent monte sur l'estrade en question. Il semble que cette pratique permit d'enrichir quelque peu le cordonnier du malheureux professeur concerné. Mon père ne me précisa jamais s'il eut à répondre de cette première démarche innovante dans sa carrière, toujours est-il que cela ne lui nuisit pas exagérément puisqu'il entra par la suite à l'Ecole Polytechnique (promotion 56). Il fit son service en Afrique du Nord, spécialité artillerie anti-aérienne, où il effectua les premiers tirs de missiles

antiaériens Français, les PARCA. Un certain nombre de cibles d'essai (sans pilote !), censées être récupérées et réutilisées, firent les frais des premiers tirs « réussis » de ces missiles. Par la suite, il intégra l'Ecole Nationale supérieure de l'armement, d'où il sortit dans l'Armement terrestre, pour l'Ecole Centrale de Pyrotechnique de Bourges. Cette fois, il ne lui fut pas ordonné de détruire des choses qui volent, mais des chars. C'était l'époque des premières charges creuses antichars françaises, et l'ingénieur Gueldry participa à l'étude et à la mise au point de charges des premiers missiles antichars, répondant aux doux noms d'ACRA et ENTAC.

« EN AUCUN CAS VOUS, VOS ENFANTS OU PETITS ENFANTS, AMIS, VOISINS, CONNAISSANCES, NE DEVEZ TENTER DE REPRODUIRE CE QUI EST DÉCRIT CI-APRÈS »

Etant peu compétent en énergétique, j'ignore le degré de véracité de la plus ancienne recette que mon père aimait raconter, mais je vous livre ce que j'en ai retenu, avec les réserves appropriées : **en aucun cas vous, vos enfants ou petits enfants, amis, voisins, connaissances, ne devez tenter de reproduire ce qui est décrit ci-après.** Prendre une solution ammoniacale (typiquement destinée au nettoyage domestique), y verser de la teinture d'iode, attendre qu'un précipité se forme, filtrer la pâte obtenue dans un gant de toilette, et pour l'usage, par exemple l'étaler peu avant le début du cours de chimie sur l'estrade de manière que cela soit fraîchement sec quand le professeur impru-

L'obus « G »

Toutes ces études ne furent pas couronnées de succès, et mon père préférerait parler pour cette époque de ses travaux sur l'obus « G », obus à stabilisation gyroscopique ainsi identifié en raison du nom de son inventeur (Gessner et non pas Gueldry, mais il omettait toujours cette précision). Le principe de cet obus avait été élaboré dans un institut de recherche Franco-allemand qui deviendrait l'ISL, pour lequel mon père eut toujours une grande admiration. L'idée dominante de cette innovation était de découpler la charge creuse, pour l'efficacité de laquelle la rotation est extrêmement préjudiciable, du corps de l'obus qui, lui, est d'autant

plus précis qu'il tourne vite. Ce découplage se fit à l'aide de roulements à billes qui permirent d'obtenir des obus précis et parmi les plus efficaces de l'époque, au détriment de la complexité du montage : déjà, les munitions commençaient à coûter trop cher ! Mon père n'est plus là pour me détailler sa part dans la mise au point finale de cet obus, mais il eut en tout cas l'honneur de compter parmi les responsables en place à l'ECP de Bourges lors de l'adoption en 1961 de l'« obus G » en format 105 mm pour l'AMX 30.



De l'audace dans le monde des explosifs

Un autre fait d'armes ne figure pas dans ses états de service : il ne se limita pas à la mise au point de nouvelles munitions mais fit preuve également d'une certaine audace dans la destruction de munitions anciennes en testant les limites supérieures du nombre que l'on pouvait pétarder en une seule fois. J'imagine qu'à l'époque l'absence de responsable de pôle technique et d'inspection des poudres et explosifs laissait une certaine flexibilité à ce genre d'activité, mais il semble toutefois que les propriétaires d'un grand nombre de fenêtres de l'agglomération de Bourges trouvèrent à redire de ces expériences disruptives. J'ignore si c'est à la suite d'un tel incident qu'il quitta Bourges pour intégrer Supelec et se reconvertir dans les transmissions, mais sa contribution officielle au domaine des matériaux énergétiques cessa, somme toute, assez vite en début de carrière. Je ne résiste cependant pas à l'envie de citer quelques autres aspects d'une trajectoire innovante marquée.

Protéger les transmissions des explosions

En rentrant de cette nouvelle spécialisation, il se trouva d'abord chargé des études d'applications militaires de la télévision, ce qui le conduisit à étudier dès les années 60 le concept de caméras de surveillance aujourd'hui omniprésentes, ainsi que le premier simulateur de pilotage d'AMX 30, puis il rejoignit quelques

années la DRME, avant d'entamer la carrière que je lui ai toujours connue dans les transmissions de la Marine. Toutefois, son ancrage pyro ne l'abandonna pas, et il se retrouva, au lieu de détruire, à devoir protéger les transmissions des effets des explosions en particulier nucléaires.

Lauréat du prix CHANSON

Surtout, il garda des contacts avec le milieu terrestre et fut, en 1986, le premier ingénieur de la DCN (pour ne pas dire le seul hors de l'armement terrestre) à recevoir le prix CHANSON, pour le système

SPIN de transmissions longue distance (à évocation de fréquence). Ravi de cette « Satisfaction Personnelle, Intense et Nouvelle », il précisa que l'Histoire aurait été changée si l'Empereur en avait disposé lors de la bataille de Waterloo. Je passe sur l'essentiel du reste de ses activités dans les transmissions, où côté terrestre il équipa le GIGN d'une antenne Marine offrant une capacité longue distance inégalée pour l'époque, pour rappeler qu'en fin de carrière, ses compétences pyrotechniques furent de nouveau valorisées : ainsi, après avoir été architecte du système de combat du PAN (qui ne s'appelait pas encore CdG), ainsi que de son architecture informatique (responsabilité impressionnante pour quelqu'un qui ne fut jamais capable d'utiliser un micro-ordinateur), l'IGA Gueldry se trouva quelque temps chef du groupe « munitions, missiles et pyrotechnie » du STCAN, avec notamment la fonction respectable d'« Inspecteur Technique de la Sécurité des Armements Nucléaires », ainsi que la protection du PAN contre les IEM. Il repartit ensuite un peu dans les Trans puis termina sa carrière comme président du conseil scientifique de la DCN.

Cela conclut ce portrait qui me semble plus ancré dans l'innovation que dans l'énergétique, mais il me semble aussi qu'il y transparait qu'un IA ne perd jamais sa coloration d'origine : pyro un jour, pyro toujours ! ☺

DE LA POUDRERIE ROYALE DU BOUCHET AU CENTRE DE RECHERCHES D'ARIANE GROUP 1821 - ..., DEUX CENTS ANS D'HISTOIRE PYROTECHNIQUE À VERT-LE-PETIT

par Michel Dill et Jean-François Guery

Évoquer l'histoire de la Poudrerie royale du Bouchet, nous fait remonter à 1821, année de sa création. Existait alors depuis le XVII^e siècle¹ à Essonnes, une poudrerie, connue pour avoir abrité les essais de Berthollet et Lavoisier. Durant son existence, cette poudrerie connaît de nombreux incendies et explosions dont les voisins ont à subir les effets. L'explosion du 16 octobre 1820 qui ne fait pas de victime, exception faite d'un blessé, cause des dégâts insupportables et scelle le sort de la poudrerie.

Le comte d'Artois qui visite les lieux après l'explosion est sensible à l'émoi des habitants et intervient auprès de son frère, Louis XVIII. Le 30 janvier 1821 paraît une ordonnance royale qui mentionne en son article 1^{er} « La fabrication de poudre jusqu'ici établie à Essonnes sera transférée au Bouchet, Commune du Petit Vert, Canton d'Arpajon, Département de Seine-et-Oise ». C'est l'acte de naissance de la poudrerie du Bouchet alors « royale ».

Les terrains disponibles sont proches d'Essonnes, alors éloignés des habitations, boisés – caractéristique propice à limiter les effets des explosions – et la proximité de la Juine présente la force motrice nécessaire à l'entraînement des moulins à poudre. Un document manuscrit du 23 juillet 1821 définit l'aménagement de la canalisation de la Juine qui autorise l'édification de trois poudreries ; haute, moyenne et basse.

Construite à l'origine pour fabriquer essentiellement des poudres noires, la Poudrerie du Bouchet fut l'un des premiers établissements où l'on entreprit en 1847 la fabrication du coton-poudre découvert un an plus tôt, puis de la poudre sans fumée à simple base inventée



Moulins de la poudrerie basse (Gravure sur bois, 1838 - Collection Paul Allorge, Monthléry, Série C c 25)

en 1884 par Paul Vieille. Dans un contexte d'essor de la recherche, de très nombreuses substances explosives ont fait leur apparition (tolite, mélinite, ...) et la poudrerie va se lancer dans leur étude et leur mise au point industrielle.

Guerres mondiales et changements majeurs pour la poudrerie

La Grande Guerre, marquée

en particulier par un usage particulièrement conséquent de l'artillerie, va entraîner une évolution majeure de la poudrerie. Celle-ci, qui procédait essentiellement à des études et des essais doit alors produire pour le besoin des forces armées. Pour développer la production, sa surface va être doublée par la réquisition de terrains et ses effectifs multipliés par 10. D'une superficie de 20 ha à sa création en 1821, la poudrerie atteindra 120 ha à la fin de la guerre.

En 1921, conséquence de la Grande Guerre, la poudrerie est dotée de laboratoires relatifs à la défense chimique, qui seront rejoints en 1937 par des laboratoires de biologie. Les activités de pyrotechnie et de défense biologique et chimique se développeront conjointement au sein de l'établissement du Bouchet jusqu'à leur répartition dans deux entités distinctes relevant toujours de la Défense nationale.

Au cours de la seconde guerre mondiale, après un pillage du site alors que l'établissement s'était replié dans le Sud, et la neutralisation de certaines installations, les autorités allemandes restituèrent la poudrerie aux autorités françaises sous la condition qu'aucune activité d'industrie de guerre n'y soit réalisée, la « Station d'essais du Bouchet » est alors rattachée au Laboratoire central des services chimiques de l'État.

1 : Un document ancien cite une explosion survenue en 1628

Des poudres explosives à la propulsion solide : conquête spatiale et dissuasion

Le 4 mai 1945, l'établissement change une nouvelle fois de nom et devient le Centre d'Etudes du Bouchet. D'importants travaux seront entrepris pour transformer le site en un lieu de recherche fondamentale et appliquée. Georges Maire crée au Bouchet en 1946 un laboratoire de propulsion. Persuadé que les moteurs fusée à propulsion liquide pourront être avantageusement remplacés par des « moteurs à poudres », il lance ses activités de recherche sur les compositions solides capables d'être moulées en gros blocs de plusieurs centaines de Kg, pour de très longues durées de combustion, avec des performances balistiques très supérieures aux poudres classiques. Il met ainsi

au point les premiers propergols composites qui dans les années 50 permettront la percée des industriels français dans la propulsion tactique, et transformeront la poudrière de Saint-Médard en usine pilote.

L'usine du Bouchet du CEA

Tirant parti d'espaces disponibles sur le site de la poudrière du Bouchet, le CEA s'y implante dès 1946 (le site est alors surnommé B1), et y produit le combustible du premier réacteur nucléaire français, la pile atomique ZOE. En parallèle de la production d'uranium métal, le site du Bouchet continuera ses études, ce qui permettra d'extraire les premiers milligrammes de plutonium en 1949, puis de placer la France au premier rang des producteurs de sels de thorium au monde à la fin des années 50. L'activité du CEA cessera en 1971 et la zone sera décontaminée.

En 1957, de premiers blocs de propergols solides à liant polyuréthanes sont fabriqués au Bouchet. Cette famille permettait d'envisager la réalisation de gros engins, encore fallait-il savoir les « coller » sur une structure. Plusieurs problèmes devaient être résolus, que ce soit dans la chimie des assemblages, mais également dans les méthodes de conception pour savoir faire fonctionner ce type de moteur : pour un moteur fusée, le propergol solide est à la fois, l'ergol, son propre réservoir, le sys-



Pilote de chimie : montée en échelle de procédés avant transfert sur site industriel et production d'ingrédients nouveaux en quantité suffisante pour essais représentatifs

tème d'injection, et sa propre chambre de combustion ! Il fallait donc maîtriser la chimie, la combustion, la balistique et le dimensionnement mécanique et thermique de l'ensemble. Ce sera chose faite au Bouchet en 1960. Lorsque la France lance le programme des « Pierres Précieuses » (lanceur de satellite qui préfigure la force de dissuasion), les équipes du Bouchet sont mises à contribution pour les deuxième et troisième étages du lanceur Diamant. Le premier moteur de 2,2 tonnes est fabriqué au Bouchet en 1961, avant que la fabrication des moteurs en structure de vol ne soit transférée à Saint Médard en 1962. La réalisation du troisième étage de Diamant, en structure bobinée se révélera plus difficile, car il fallait résoudre les problèmes de grandes déformations mécaniques et d'étanchéité de la

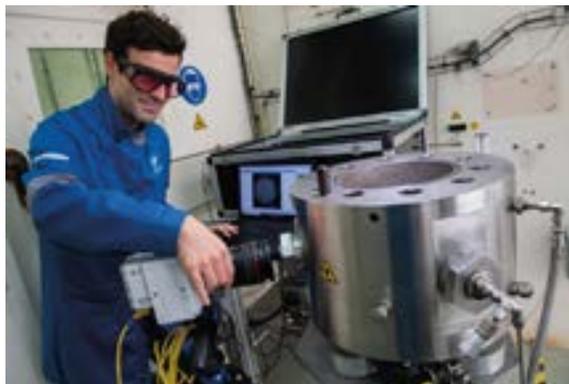
structure. Ce sera chose faite en 1962. Le 26 Novembre 1965, le premier tir de Diamant, avec ses étages à propergol solide, permettra à la France de lancer son premier satellite artificiel baptisé « Astérix ».

Après ces développements réalisés en un temps record, l'activité du centre sera en partie consacrée à la maîtrise des connaissances et du fonctionnement des moteurs (dont la normalisation des essais de caractérisation et la modélisation) dans le but de fiabiliser l'usage de la propulsion solide pour la FNS tout en recherchant de nouvelles formulations capables d'augmenter les performances des engins.

Vers un centre de recherches unique sur les matériaux énergétiques

En 1971, une loi décline les dispositions du traité de Rome et réforme le régime des poudres jusqu'alors étatique. Cette loi va avoir des effets directs sur le site du Bouchet dont l'ensemble des activités du domaine NBC demeurent au sein de l'État, donnant naissance à ce qui est aujourd'hui DGA Maîtrise NRBC alors que les activités du domaine des poudres et de la pyrotechnie en sortent et sont confiées à une société, la SNPE, devenant le Centre de Recherches du Bouchet (CRB). D'importants investissements d'infrastructure y sont réalisés par la SNPE afin d'accroître les moyens d'études en matière de propulsion, poudres et explosifs décidées par l'Etat.

Cette caractéristique fondatrice, de rassembler en un seul lieu les études sur l'ensemble des matériaux énergétiques, propergols solides, poudres pour armes ou explosifs, depuis la synthèse des molécules, la mise au point des formulations de matériaux, la caractérisation de leurs propriétés, l'étude de prototypes, et la simulation numérique de leur fonctionnement, est l'ADN du CRB. C'est un choix judicieux qui a permis à la France de disposer à moindre coût de recherche des meilleures avancées dans chacun des domaines.



Etude de la physique de l'allumage et de la combustion des propergols

Le Centre de Recherches du Bouchet, par son modèle unique en Europe, est un atout fort pour la souveraineté nationale, à la fois pour le maintien des systèmes actuels (traitement d'obsolescence ou de points critiques ardu) et la préparation du futur. La localisation en un seul lieu de la capacité à synthétiser des molécules jusqu'à tester à échelle

suffisante les matériaux, associée au périmètre d'application très large des études conduites permet de réduire fortement les cycles de développement et d'innovation par effet synergétique.

Cette porosité entre les diverses compétences et applications a permis de développer les explosifs composites, sur la base des technologies employées pour les propergols solides, puis avec la découverte de l'ONTA, une molécule explosive particulièrement insensible, de mettre au point les explosifs MURAT (Munitions à Risques ATTénués), embarqués sur le porte-avions Charles de Gaulle, de nouvelles molécules comme le Butacène®, catalyseur balistique greffé sur un polymère, employé sur divers missiles et dont la production initialement au Bouchet a été transférée à l'établissement de Toulouse, le MethylBapo, agent d'adhésion liant-charge pour les propergols composites, employé dans les propergols d'Ariane et militaires, la synthèse du PAG, polymère énergétique ou du CL20, molécule explosive la plus énergétique à l'heure actuelle, vers l'établissement de Sorgues (aujourd'hui Euroenco), ou encore les procédés de synthèse d'hydrazine ultra-pures, grâce à une unité mixte de recherche avec le CNRS et l'Université de Lyon, pour la production à Toulouse de l'UDMH puis de la MMH pour les lanceurs spatiaux et satellites.

Après avoir acheté SME pour créer Herakles en 2012, Safran installe au Bouchet son centre de recherches sur les matériaux composites. En 2016, Herakles est intégré dans ArianeGroup ce qui rapproche encore les équipes du CRB des fonctions lanceurs et missiles et permet de consolider la valeur « système » des travaux conduits.

En novembre 2021 et sous l'égide de la DGA, une convention est signée entre ArianeGroup, Roxel et Euroenco qui permet à ces derniers de bénéficier directement des recherches conduites sur les matériaux énergétiques et perpétuer l'ADN fondateur du Centre de Recherches du Bouchet.

Aujourd'hui, le CRB est résolument tourné vers le futur, avec ses compétences pluridisciplinaires et son réseau de partenaires académiques, pour préparer les révolutions qui viennent dans le domaine des molécules énergétiques, des matériaux énergétiques, ou des systèmes les utilisant, et dont la cadence continuera à s'accélérer grâce aux progrès de l'intelligence artificielle, de procédés disruptifs comme l'impression 3D ou la chimie en flux, de l'accroissement des puissances de calcul pour prédire in silico le comportement de la molécule jusqu'au système, afin de répondre aux besoins des forces et de l'accès à l'espace. ☺



Jean-François Guery

Après avoir occupé différents postes au CRB à partir de 1990 (chef de service simulation numérique, directeur des projets de R&T, chef de département matériaux énergétiques), Jean-François GUERY a été directeur des programmes d'Europropulsion pour le développement et la production des moteurs à propergol

solide des lanceurs Ariane et du premier étage de Vega, puis son directeur technique et qualité. Revenu au CRB en 2018 il œuvre à l'orientation du centre au bénéfice de Roxel et d'Euroenco et des autres industriels de l'armement. Auditeur de la 47^e session nationale Armement et Economie de Défense de l'IHEDN.



Michel Dill

Michel DILL, IC1ETA (er), a été de 2008 à 2013 adjoint au directeur du Centre d'études du Bouchet (CEB), devenu DGA Maîtrise NRBC, pour la gestion et l'organisation. Il y anima la section « Patrimoine culturel » du club de la défense du Bouchet.

« L'INDUSTRIE DANS LA GRANDE GUERRE »

COMITÉ POUR L'HISTOIRE ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE DE LA FRANCE

Sous la direction scientifique de Patrick Fridenson et Pascal Griset, aux éditions IGPDE

La Grande Guerre a vu la plus formidable mobilisation des ressources françaises de toutes natures.

Ainsi l'industrie chimique française a dû faire face à des besoins exponentiels en poudre et explosifs, alors même qu'elle était initialement beaucoup plus faible que l'industrie allemande, qu'elle s'est vue privée d'emblée d'une forte proportion de ses usines par l'avancée de l'armée ennemie et qu'elle était évidemment coupée de ses nombreux fournisseurs d'outre-Rhin.

L'utilisation intensive de l'outil industriel disponible, la construction de nouvelles usines de produits finis, l'approvisionnement en matières premières et produits intermédiaires auprès du Royaume-Uni ou des neutres ont permis de fournir progressivement les armées, leur permettant notamment les importantes consommations occasionnées par les grandes batailles de 1916 (Verdun, la Somme).



Mais ce système industriel à peine pleinement opérationnel est remis en cause par la guerre sous-marine à outrance déclenchée début 1917 par l'Empire Allemand. La crise des transports maritimes conduit à privilégier l'importation de produits finis, bien moins pondéreux que les matières premières et les produits intermédiaires. Cette solution est rendue possible par l'entrée en guerre des États-Unis qui développent leur industrie des poudres et explosifs et offrent des facilités de paiement aux Alliés : ce dernier point est crucial car le crédit des Alliés commençait à atteindre ses limites et les produits finis coûtent évidemment bien davantage que les matières premières...

Au total, la Première guerre mondiale a considérablement renforcé l'industrie chimique française mais a aussi mis en lumière ses dépendances structurelles, qu'elle a heureusement su réorienter de l'Allemagne vers les puissances anglo-saxonnes. ☺

Philippe PUJES

QUELLES TRANSFORMATIONS POUR LA DÉFENSE DE DEMAIN ?

Etude du comité Défense d'IESF, présidé par Jacques Bongrand, IGA

Il est commun de constater que notre monde se transforme à un rythme rapide. La récente étude (décembre 2021) en examine les conséquences dans le domaine de la défense.

L'ambition a été de proposer une vue d'ensemble synthétique, d'abord sur les vulnérabilités et les menaces pour un État comme la France, puis sur les moyens et mécanismes de défense.

Trois principales sources de vulnérabilité ont été identifiées : des mentalités individuelles plus exigeantes et fragiles ; des sociétés plus complexes, en raison notamment d'un souci d'optimisation illustré par la mondialisation, et confrontées à différents défis ; des avancées scientifiques qui parfois ne sont pas exemptes de menaces.

Dans ce contexte, la fonction de défense des États peut être caractérisée par trois grandes tendances : une dis-

inction moins nette entre paix et guerre, dans un champ d'affrontements plus large et diffus ; des acteurs et des armements sans cesse plus divers ; des modes d'action plus élaborés et subtils, donnant une place croissante aux combats de l'esprit.

Finalement, il est suggéré quelques pistes à approfondir, dans quatre directions : la répartition des responsabilités au sein de l'État, une participation élargie de la nation, des recherches de défense un peu plus diversifiées et orientées à long terme, une préservation de l'autonomie à différents niveaux.

Le comité défense d'IESF comprend 5 IA, en plus de son président. ☺



Lien direct vers le rapport : <http://bit.ly/3dZUPwE>

IMPACT DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE SUR LES DROITS FONDAMENTAUX

par la CNCDH, disponible en ligne



Dans le JO du jour de Pâques (17 avril, texte N°99), la CNCDH (commission nationale consultative des droits de l'homme) publie un avis sur les dangers de l'IA, et recommande des mesures concrètes et des orientations très générales.

Le sujet est abordé du point de vue des droits, pas d'un point de vue technique. Aussi le lecteur pourra être étonné de voir que les logiciels classiques (même peu compréhensibles comme «parcours sup») et logiciels d'IA proprement dite, unis sous un même vocable nouveau de «système algorithmique d'aide à la décision», soient traités de la même façon. Les exigences d'explicitabilité, supposées accessibles, portent sur ces deux applications, et ignorent les poupées russes logicielles (logiciels empilés) maintenant omniprésentes dans les deux cas.

À côté de recommandations très générales de vigilance, formation et poursuite des travaux, la «communication par l'administration sous une forme intelligible des informations sur le fonctionnement de l'algorithme» est un pari osé. Les plus concrètes réduisent le caractère implacable des logiciels, même si des exceptions demeurent (risque imminent et grave, installations d'importance vitale) :

- un contrôle préalable au développement lorsque les conséquences peuvent porter sur des personnes, avec une étude d'impact,
- l'interdiction du «social scoring» (à la chinoise), de l'identification biométrique à distance, de l'identification des émotions (que demande déjà le comité européen pour la protection des données),
- le maintien en parallèle d'un accès à un agent humain, et le droit à un réexamen humain.

On notera que le site internet de la CNCDH, réalisé par une société de conseil, ne respecte pas les règles de la CNIL sur les cookies, ce qui montre par avance les difficultés que susciteront les recommandations. ☹

Denis Plane

HOMME, FEMME, CE QUE NOUS DISENT LES NEUROSCIENCES

par René Ecochard, aux éditions Artège (avec la contribution d'Esther Pivet, ICA)

Les publications scientifiques présentent un discours clair sur le caractère sexué du cerveau, et ce dès la naissance. Le débat public se prive de ces repères. Il repose plus sur des idées et des sentiments que sur des faits constatés et vérifiés. Pour accompagner de manière adéquate le

développement de l'identité sexuelle, un dialogue apaisé sur ce sujet, intégrant les données des neurosciences, est nécessaire. C'est ce que propose le livre *Homme, Femme, ce que nous disent les neurosciences*, paru cette année chez Artège. En s'appuyant sur plus de 500 références répertoriées de la neuropsychologie et de la biologie humaine, le professeur Ecochard nous explique comment, de la conception à l'âge adulte, le garçon ou la fille, à partir d'un donné naturel, se construit dans son corps, sa psychologie, son rapport aux autres et au monde extérieur.



De grands thèmes sont évoqués, les uns heureux, comme la beauté ou l'harmonie, les autres douloureux, comme les troubles qui atteignent l'identité sexuelle. Enfin, quelques conclusions pratiques sont tirées des études des neurosciences afin de mieux accompagner ces troubles,

donner des orientations favorables pour l'éducation des enfants et cheminer vers une relation homme-femme plus harmonieuse dans le couple et dans la société.

J'ai contribué à la relecture de cette synthèse pour la rendre le plus accessible possible, après de nombreuses années d'information sur la diffusion de la théorie du genre à l'école, conclues par un livre¹, et de formations sur l'écologie humaine². ☹

Esther Pivet, ICA

1 : Enquête sur la théorie du genre, 2019, ARTEGE
2 : www.grammairedelavie.fr

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE

UNE AFFAIRE ENTRE LA NATURE ET L'HOMME

par Michel Vieillefosse aux éditions L'Harmattan

Un nouveau livre sur le climat ? Oui, mais sans effet médiatique comme beaucoup d'autres plus à la mode actuelle. Michel Vieillefosse, ingénieur en chef de l'armement, qui en est l'auteur, est un pionnier de l'auscultation de la Terre par satellite. Au CNES, il a établi les premières cartographies des variations thermiques de la Terre mesurées depuis l'espace. Longtemps associé aux programmes de la NASA et de l'agence spatiale russe, il possède une compétence certaine de ce domaine.

Pourquoi le taux du tant décrit CO₂ dans l'atmosphère a-t-il augmenté autant en 2020 alors que la crise sanitaire de la Covid a conduit à l'arrêt d'un quart des usines

de la Terre et que les automobiles sont restées au garage pendant le plus fort du confinement quasiment mondial ? Ce constat ne met-il pas en cause l'effet de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère comme seule explication du réchauffement ?

Après un rappel des conditions de l'équilibre thermique de la Terre, Michel Vieillefosse rappelle que la Terre ne peut se refroidir de l'énergie reçue du soleil ou de la chaleur créée en interne que par le rayonnement infrarouge. Limiter le réchauffement passe autant par la limitation de la chaleur créée que par le transfert de cette chaleur vers l'espace. « L'effet de serre », cheval de bataille du GIEC, n'est pas une approche appropriée pour décrire les phénomènes constatés. La Terre ne se comporte pas comme une serre, car le transfert de la chaleur vers l'espace est plus efficace que dans une serre où la chaleur est bloquée par le plafond de la serre. Le phénomène d'évaporation, essentiel pour réguler la température, y est aussi très différent.



L'auteur analyse quelques-uns des autres paramètres qui influent aussi sur la hausse des températures. La concentration en méthane, gaz à effet de serre important est certainement l'un des premiers d'entre eux. Largement répandu dans l'atmosphère notamment à cause des fuites constatées sur les hauts lieux de production de gaz (une dizaine de sites bien répertoriés au monde), sa contribution est importante et plus facile à réduire que celle du CO₂. Il cite aussi l'influence des fluctuations de l'activité solaire, la régulation complexe des échanges thermiques par l'ozone en interaction avec les rayonnements ultraviolets, le rôle de l'Arctique qui se comporte en climatiseur de la Terre. Il souligne l'effet de l'activité humaine et notamment l'urbanisation généralisée, qui augmente l'absorption de la chaleur solaire, les sols bétonnés de couleur sombre retenant plus la chaleur. Enfin il s'inquiète de la déforestation accrue (Brésil), la transpiration des plantes et des arbres étant le poumon de l'atmosphère.

Loin d'être pessimiste, l'auteur nous invite à bien cerner les véritables causes du réchauffement et plaide pour orienter les efforts écologiques de façon efficace en laissant les batailles stériles sur de faux sujets qui ont un impact plus médiatique.

Un livre très intéressant à lire pour celui qui veut avoir des idées objectives sur l'écologie au moment où s'ouvre en France un nouveau quinquennat qui sera marqué par l'écologie. Un livre court, mais dense, qui nécessite une véritable culture d'ingénieur, car les notions évoquées nécessitent une bonne culture scientifique, notamment en thermodynamique, mécanique des fluides et chimie. ☺

Daniel Jouan

PAR DÉCRET ET ARRÊTÉ DE FÉVRIER 2022

Fixation du nombre de postes offerts au recrutement dans le corps des IA :

Le nombre de postes offerts pour le recrutement d'ingénieurs de l'armement en 2022 est fixé à :

- 22 places au titre du tableau de classement de sortie de l'Ecole Polytechnique (article 4 du décret 2008-941)
- 4 places au titre du recrutement à titre initial d'IA stagiaires par concours sur titres (article 5 – 2°)
- 3 places au titre du recrutement en cours de carrière par concours sur épreuves au grade d'IA (article 6 – 1°)
- 3 places au titre du recrutement en cours de carrière par concours sur épreuves au grade d'IPA (article 6 – 2°).

Est nommée au grade d'ingénieur général de 2^e classe :

Pour prendre rang du 1^{er} mars 2022

L'ICA Lonchamp (Corinne).

Est nommé :

L'IGA1 Luzeaux (Dominique), directeur de l'Agence du numérique de défense (5 mai 2021).

PAR DÉCRETS ET ARRÊTÉ DE MARS 2022

M. Joël Barre est maintenu dans ses fonctions de Délégué général pour l'armement jusqu'au 31 juillet 2022.

Modification du nombre de postes offerts au recrutement en 2022 dans le corps des IA :

Le nombre de postes offerts pour le recrutement d'ingénieurs de l'armement en 2022 est fixé à :

- 23 places (au lieu de 22) au titre du tableau de classement de sortie de l'Ecole Polytechnique (article 4 du décret 2008-941)
- 5 places (au lieu de 4) au titre du recrutement à titre initial d'IA stagiaires par concours sur titres (article 5 – 2°)

Sont nommés au conseil d'administration de l'Ecole nationale supérieure de techniques avancées (1^{er} mars 2022) :

L'IGA HC Sellier (Cécile) et l'IGA HC Dugué (Christian), en qualité de représentants du Délégué général pour l'armement.

MM. Giovachini (Laurent) et Papin (Eric), en qualité de personnalités qualifiées en raison de leurs compétences professionnelles, scientifiques ou académiques correspondant aux activités de l'Ecole.

L'IGA HC Dugué (Christian) est désigné en qualité de vice-président du conseil d'administration.

Sont nommés au conseil d'administration de l'Ecole nationale supérieure de techniques avancées Bretagne (9 mars 2022) :

L'IGA HC Dugué (Christian) et l'IGA Conan (Erwan), en qualité de représentants du Délégué général pour l'armement. M. Martinot-Lagarde (Vincent), en qualité de personnalité qualifiée en raison de ses compétences professionnelles, scientifiques ou académiques correspondant aux activités de l'Ecole.

L'IGA HC Dugué (Christian) est désigné en qualité de vice-président du conseil d'administration.

Sont nommés au conseil d'administration de l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (25 mars 2022) :

L'IGA HC Malet (Didier) et l'IGA1 L'Ebraly (Hubert), en qualité de représentants de l'État, pour la Direction générale pour l'armement.

L'IGA HC Malet (Didier) est désigné en qualité de vice-président du conseil d'administration.

Sont nommés :

L'IGA Bascary (Pierre, Michel), membre suppléant du conseil de la médaille de l'aéronautique en qualité de personnalité comptant des services exceptionnels en matière aéronautique (21 mars 2022).

L'IGA2 Bruxelles (Jean-Yves), adjoint spécialisé « marchés publics et évolution chaîne d'acquisition » au chef du Service des achats d'armement de la Direction des opérations de la DGA (1^{er} mai 2022).

PAR DÉCRETS D'AVRIL 2022

Est nommé au grade d'ingénieur général de 2^e classe :

Pour prendre rang du 1^{er} juin 2022

L'ICA Maryniak (Pascal).

Est approuvée l'élection du 9 février 2022 à l'Académie des technologies, en qualité de membres titulaires, de :

MM. Hervé Guillou, Daniel Iracane et Mme Caroline Laurent-Séchet.

Sont nommés :

Mme Laurent (Caroline), membre du conseil d'administration de l'Agence nationale des fréquences, en qualité de personnalité choisie pour sa compétence (28 avril 2022). L'IGA Maryniak (Pascal), président de la section études générales du Conseil général de l'armement et chargé de mission « transformation » auprès du secrétaire général du Conseil général de l'armement (1^{er} juin 2022).

PAR DÉCRET DE MAI 2022

Est nommée :

Mme Laurent (Caroline), présidente du conseil d'administration de l'Agence nationale des fréquences (6 mai 2022).

MOUVEMENTS DE JANVIER 2022

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Pierre-Marie LECAT (1978)	DO/ UMACE	SASD/EC	SGA/PORTE- PAROLE MINISTÈRE

MOUVEMENTS DE FEVRIER 2022

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Julien JAMAUX (1990)	IPA	MINDEF/ DGA	END GNSS Bruxelles
Charles CHRISTEN (1994)	IA	DT/MI	DT/IP
Marc DE MARESCHAL (1985)	ICA	DO/SMCO	DO/UMCOE
Victor CAUCHOIS (1990)	IPA	DP	DG TRESOR
Gustave RONTEIX (1994)	IA	DT/MNRBC	Création entreprise
Jean-Baptiste MOIROUD (1994)	IA	Aff temp SAFRAN	DT/IP
Christophe LE GALL (1985)	ICA	DT/IP	DP
Stephane DELETANG (1963)	ICA	CECP	AID

MOUVEMENTS DE MARS 2022

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Christophe MANGEANT (1973)	ICA	DCSIAé	DO/ UMHOR
Jean-Pierre HENRY (1970)	ICA	DI/MSOE	DO/UMHMI
Steeve JAGU (1974)	ICA	DO/SMCO	INSP
Arnaud BUSQUET DE CAUMONT (1996)	IA	DRH/SDP/ DGA-F	Aff temp Airbus Helicopters

MOUVEMENTS D'AVRIL 2022

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Johana PELLETIER (1980)	ICA	DT/TT	DP
Gautier LANCIAUX (1981)	ICA	DP	DI/SDEAS
Toan NHAM (1984)	ICA	DP	DO/ UMNBC
Christophe BRETAULT (1985)	ICA	DT/IP	DP
Augustin GIRARD (1991)	IA	DT/IP	SIAé
Justin VANDERHAEGHE (1987)	IA	DT/IP	OCCAR Bonn
Matthieu LAURENT (1993)	IA	DRH/SDP/ DGA-F	Aff temp Thales
Charles CHRISTIN (1989)	IA	DP/SDP/ BOA4	Bercy Dir Budget
Guillaume HOUEL (1984)	ICA	DT/IP	OCCAR Bonn

MOUVEMENTS DE MAI 2022

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Harold HOFF (1977)	ICA	DT/MI	SASD/CMI
Jean-Baptiste HENNIART (1979)	ICA	DO/UMNAV	DO/UMCOE
Audrey HERMANT (1981)	ICA	DO/ UMAMS	SASD/ASP
Francois-Nicolas POT (1986)	ICA	DT	DO/UMNAV
Yann GENDRY (1986)	ICA	EMAA/ BEA-E	SMQ
Remi LASFARGUES (1987)	IPA	DT/EV/IS	DP
Gael DESILLES (1971)	ICA	AID	CGARm
Arnaud BORDE (1985)	IPA	Det DGAC	DT

ONT ÉTÉ NOMMÉS :

Laurent Boissard (1970), sous-directeur missions et données d'observation de la Terre & applications aval, à la direction des systèmes orbitaux et des applications du CNES (01/2022).l'OCCAR/Malakoff (1/2/2022)

Nassima Auvray (1982), Directrice de la stratégie et du marketing des solutions Cloud de confiance au sein de Orange France (3/1/2022)

Thierry Mileo (1961), DG de SQLI France (1/2/2022)

Charles Christin (1989), bureau de la défense et de la mémoire à la Direction du budget (1/4/2022)

Arnaud Busquet de Caumont (1996), Ingénieur projet innovation à Marignane chez Airbus Helicopters (1/4/2022)

Matthieu Laurent (1998), Chef de projet éolien en mer à la Défense (92) au Ministère de la Transition Ecologique (1/4/2022)

Guilhem de Robillard (1977), Chef de service de la performance, du financement et de la contractualisation avec les organismes de recherche (SPFCO) au MESRI (4/4/2022)

Luc Renouil (1970), Directeur développement stratégique et relations institutionnelles de BERTIN (27/4/2022)

cea
COMMISSION DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE

DIRECTION DES APPLICATIONS MILITAIRES

L'ENGAGEMENT ET L'EXCELLENCE
AU SERVICE DE LA DÉFENSE
ET DE LA SÉCURITÉ DE LA FRANCE :

ARMES NUCLÉAIRES,
PROPULSION NUCLÉAIRE NAVALE,
LUTTE CONTRE LA PROLIFÉRATION NUCLÉAIRE,
LUTTE CONTRE LE TERRORISME,
ALERTE AUX TSUNAMIS,
SOUTIEN À LA DÉFENSE CONVENTIONNELLE...

RELEVONS ENSEMBLE LES DÉFIS DE DEMAIN
www.dam.cea.fr



BLINDÉS

Nexter, architecte et systémier intégrateur de défense terrestre en France, est une référence majeure dans les systèmes blindés de combat et d'artillerie et dans le domaine munitionnaire. Nexter conçoit des solutions innovantes dans les composantes terre, air et mer, afin d'apporter aux forces armées françaises et étrangères un avantage opérationnel décisif.



**TOURELLES
& CANONS**



MUNITIONS



ÉQUIPEMENTS



**SYSTÈMES
D'ARTILLERIE**



**SERVICES
CLIENTS**

NEXTER-GROUP.FR

   [nexter_group](#)

nexTER
A COMPANY OF

**K+N
D+S**

Nous
sommes là
pour agir

Santé, vie quotidienne,
pouvoir d'achat

Il y a ceux qui parlent
et ceux qui font.

Sur le terrain,

Unéo fait la différence.

À vous d'en juger au 0970 809 709'

Unéo, MGP et GMF
sont membres d'
UNEOPOLE
la communauté
sécurité défense

Unéo, la mutuelle
des forces armées
TERRE - MER - AIR - GENDARMERIE
DIRECTIONS & SERVICES
Référéncée
Ministère des Armées



Santé – Prévoyance
Prévention – Action sociale
Solutions du quotidien



Votre force mutuelle