



# LE MAGAZINE

## DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

# ENERGIES



**P04.** Préface de  
**LUC RÉMONT**  
Président – Directeur Général  
d'EDF

**P106.** INTERVIEW DE  
PHILIPPE JOST  
par Jérôme de Dinechin

N° 130 - OCTOBRE 2023

# MAKING NAVAL HISTORY

**NOUS CONSTRUISONS LE NAVAL DE DEMAIN.**

**Naval Group conçoit, réalise, maintient en service, déconstruit et démantèle des sous-marins et des navires de surface. Fort de ce modèle unique, notre groupe est le leader européen du naval de défense.**

**Innovation, internationalisation et excellence opérationnelle : notre avenir sera fait de défis, de passion et d'engagement.**

# MOT DU PRÉSIDENT

## LES IA AU RENDEZ-VOUS DE LA LPM ... ET DU NUCLÉAIRE !

Le 1<sup>er</sup> août dernier, la loi relative à la programmation militaire pour les années 2024 à 2030 a été promulguée après avoir été largement votée par le Parlement.

Même si ce budget inclut des ressources extra-budgétaires (13 G€) et une provision pour faire face aux effets de l'inflation (30 G€), et même s'il a entériné des reports de livraison de plateformes (Rafale, frégates, blindés ...) afin de renforcer notre position dans certains domaines (espace, renseignement, munitions, drones, numérique...), cette loi consacre une forte augmentation du budget de la défense (413 G€, soit +40%) par rapport à la dernière LPM (2019-2025). Saluons donc cette décision importante de nos autorités politiques et parlementaires et, à travers elles, de la Nation.

**L'adoption de cette nouvelle LPM nous engage tous !** Elle engage tout d'abord nos dirigeants politiques, tant membres du gouvernement que du parlement. Il est attendu de leur part le respect dans la durée des engagements financiers prévus par cette LPM, comme cela fut le cas lors de la LPM précédente. Cela ne sera sans doute pas facile dans un contexte économique et budgétaire toujours très contraint, mais le respect de cette LPM est essentiel au maintien de la crédibilité de nos forces et, au-delà, de notre pays en matière de défense et de sécurité.

Cette décision engage également l'ensemble de notre communauté, les ingénieurs de l'armement œuvrant dans l'administration et, en première ligne, au sein de la DGA, et comme ceux de l'industrie de défense française. Nous avons en effet un intérêt commun à assurer une réalisation efficace de l'ensemble de nos programmes d'armement, la DGA et l'industrie de défense visant deux objectifs convergents : tout d'abord, répondre au mieux aux besoins exprimés par nos forces armées mais également pouvoir proposer à l'exportation des matériels de défense performants et compétitifs.

Ainsi, plus que jamais, **le dialogue Etat – Industrie doit être le plus fécond possible** afin de pouvoir remplir ces deux objectifs. A sa place, la CAIA cherchera à apporter sa pierre à cette ambition commune. En effet, à travers l'ensemble de ses nombreuses actions (colloque, dîners-débats, magazine, pôle réflexion, groupes thématiques, groupes régionaux ...), la CAIA vise à

renforcer la compréhension mutuelle entre secteurs public et privé, et notamment entre le ministère des Armées et l'industrie de défense, condition indispensable à une bonne coopération Etat-Industrie et au succès de cet écosystème.

A titre d'illustration de l'importance de ce dialogue, notre magazine consacre son dernier numéro au thème des énergies. Il couvre donc un spectre très large, des besoins militaires aux applications civiles. Dans ce dernier secteur, comme l'ont montré les récents travaux de la commission parlementaire sur la souveraineté énergétique de la France, notre pays a malheureusement grandement souffert d'un manque profond de compréhension entre l'ensemble de ses acteurs politiques, étatiques et industriels. Cela a conduit à une situation critique de notre pays dans un domaine où il jouissait naguère d'une position de leader mondial et d'excellence technologique.

**Heureusement, le Président de la République et le gouvernement ont récemment décidé la relance de ce secteur stratégique avec le développement de nouvelles capacités électronucléaires en France.**

De nombreux ingénieurs de l'armement, forts de leurs expériences en matière de technique, de technologie et de gestion de projet, ont récemment rejoint cette filière, à commencer par notre camarade Luc Rémond, à la tête d'EDF.

Bien entendu, seuls, ces IA ne pourront pas tout résoudre, mais on peut certainement espérer que, forts du soutien dans la durée des autorités politiques et de la remobilisation de l'ensemble des équipes étatiques et industrielles françaises, **nos camarades pourront apporter une contribution essentielle à la relance de cette activité économique stratégique et essentielle pour notre pays, grâce à leur formation technique de qualité au sein d'un grand corps technique de l'Etat.** Tel est en tout cas notre vœu le plus cher pour l'intérêt de notre pays ! 🇫🇷

**Olivier Martin, IGA**  
Président de la CAIA







## 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](http://www.caia.net)  
E-mail : [contact@caia.net](mailto:contact@caia.net)  
Numéro de dépôt légal : 2265-3066

**DIRECTEUR DE  
PUBLICATION** : Olivier MARTIN

**RÉDACTEUR EN CHEF** :  
Jérôme DE DINECHIN

**RÉDACTEUR EN CHEF  
DÉLÉGUÉ** : Claude RENARD

**COMITÉ DE RÉDACTION** :  
Pierre BÉNARD, Bruno BELLIER,  
Claude CHENUIL,  
Yves DESNOËS,  
Flavien DUPUIS, Daniel JOUAN,  
Benôit DE LAITRE,  
Monique LEGRAND-LARROCHE,  
Louis LE PIVAIN,  
Dominique MONVOISIN,  
Denis PLANE, Amandine REIX  
Vincent SOL, Frédéric TATOUT

**CRÉDITS PHOTO** : CEA,  
EDF, EDF/Santer Van Hoof  
Architecture, courtesy of  
Principle Power, Genvia, NIF,  
MS-BEVIEW / CEA, Science &  
Technology Review

**ÉDITION ET RÉGIE  
PUBLICAIRE** :  
**FFE** 15 rue des Sablons 75116  
Paris  
01 53 36 20 40 - [www.ffe.fr](http://www.ffe.fr)

**DIRECTEUR DE LA  
PUBLICITÉ** : Patrick SARFATI

**CHEF DE PUBLICITÉ** :  
Franck LEVI - 01 40 21 76 23  
[franck.levi@ffe.fr](mailto:franck.levi@ffe.fr)

Ingrid DUBOCQ - 01 40 09 68  
47 [ingrid.dubocq@ffe.fr](mailto:ingrid.dubocq@ffe.fr)

**MAQUETTE** :  
Matthieu ROLLAT  
[matthieu.rollat@gmail.com](mailto:matthieu.rollat@gmail.com)

**IMPRESSION** :  
ESPACE GRAFIC

N° ISSN-L 2265-3066

# SOMMAIRE

**MOT DU PRÉSIDENT** ..... 1  
**ÉDITO**

*par Jérôme de Dinechin* ..... 3

**PRÉFACE**  
*Luc Rémont* ..... 4

**INTRODUCTION DU DOSSIER**  
*par Claude Renard* ..... 6

## NÉCESSAIRE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

**SORTIR DES ÉNERGIES FOSSILES**  
*par Sophie Mourlon* ..... 10

**ANTICIPER LES CRISES ÉNERGÉTIQUES  
POUR MIEUX ADAPTER NOTRE SYSTÈME  
ÉLECTRIQUE**  
*par Yves Rougier et Philippe Lorec* ..... 12

**L'ÉOLIEN EN MER**  
*par Matthieu Laurent* ..... 14

**INTERVIEW DE STEPHANE SARRADE**  
*Propos recueillis par Dominique Monvoisin* ..... 16

**INTERVIEW DE FLORENCE LAMBERT**  
*Propos recueillis par Dominique Monvoisin* ..... 20

**PILOTAGE ET V2G**  
*par Claude Renard* ..... 22

**ESSAIS EN VOL À L'HEURE  
DE L'AVIATION VERTE**  
*par Camille Souchet, Dimitri Drobysz  
et Damien Brenot* ..... 24

**PRODUIRE UN KÉROSÈNE DURABLE ?**  
*par Frédéric Tatout* ..... 26

**L'HYDROGÈNE PEUT-IL SAUVER L'AVIATION ?**  
*par Pierre-Alain Lambert* ..... 27

## RENOUVEAU DU NUCLÉAIRE

**LA RELANCE DU PARC NUCLÉAIRE**  
*par Luc Rémont* ..... 30

**OBJECTIFS ET ENJEUX DE LA REVUE DE  
MATURITÉ DU PROGRAMME EPR2**  
*par Herve Guillou* ..... 32

**MAITRISE D'OUVRAGE DU PROGRAMME  
NOUVEAU NUCLÉAIRE FRANCE**  
*par Hervé Grandjean et Clément Gambier* ..... 34

**LA GESTION DES COMPÉTENCES  
DANS LE NUCLÉAIRE**  
*par Richard Castaing* ..... 36

**LE PROJET NUWARD SMR**  
*par Nasrine Winther* ..... 38

**LA PROPULSION NUCLÉAIRE À L'HEURE  
DU RENOUVEAU ÉNERGÉTIQUE**  
*par Laurent Sellier* ..... 40

**DÉTACHÉ EN PROPULSION NUCLÉAIRE**  
*par Florent Tourolle* ..... 42

**INTERVIEW D'ANTOINE GUYOT**  
*Propos recueillis par Dominique Monvoisin* ..... 44

**LES LASERS INTENSES,  
AU CŒUR DE LA PRODUCTION  
DES NOUVELLES ÉNERGIES DU FUTUR**  
*par Emmanuel Sprauel* ..... 47

**LA FUSION INERTIELLE, MIRAGE LOINTAIN  
OU MANNE PROVIDENTIELLE  
POUR NOTRE FUTUR ÉNERGÉTIQUE ?**  
*par Frédéric Tatout* ..... 49

## ÉVOLUTION DE L'ÉNERGIE POUR LES FORCES

**L'ÉNERGIE,  
UNE DIMENSION DU CAPACITAIRE**  
*par Fabien Michelin* ..... 52

**LE SOUTIEN ÉNERGÉTIQUE DU FUTUR**  
*par Luc Margotin et Samuel Borey* ..... 54

**LES SAF**  
*par Rémi Bascou* ..... 56

**DES VÉHICULES TERRESTRES HYBRIDES**  
*par Michel Bouvet et François Delourneau* ..... 58

**LES BATTERIES DANS LE NAVAL**  
*par Louis Le Pivain* ..... 60

**STOCKAGE DE L'ÉNERGIE**  
*par Denis Plane* ..... 63

**LA FORMATION D'INGÉNIEURS POUR LE  
SECTEUR DES ÉNERGIES**  
*par Didier Dalmazzone* ..... 66

**L'EAU MOUILLE-T-ELLE LA GLACE ?**  
*par Rodolphe Grivet* ..... 68

## RÉFLEXION

**ÉNERGIE, ÉCOLOGIE, ÉCONOMIE :  
UN TRIPLE DÉFI À RELEVÉ**  
*par Dominique Monvoisin* ..... 70

**RAPPORT DU SÉNAT SUR  
« LE DÉVELOPPEMENT D'UNE FILIÈRE DE  
BIOCARBURANTS, CARBURANTS SYNTHÉTIQUES  
DURABLES ET HYDROGÈNE VERT »**  
*par Yves Desnoës* ..... 74

## ARMEMENT

**LA LOI DE PROGRAMMATION MILITAIRE**  
*par Guillaume Portal* ..... 76

**COMBATTRE AU LABORATOIRE**  
*par Eloi Berthier* ..... 78

**UNE NOUVELLE ACADÉMIE DÉDIÉE AU  
SPATIAL DE DÉFENSE**  
*par Olivier Lesbre* ..... 81

**AUX CHAMPS... ARMEMENT !**  
*par Marie David et Toan Nham* ..... 82

**UNE PREMIÈRE PARTICIPATION AU 14 JUILLET  
ÉGALEMENT RÉUSSIE POUR LA DMAÉ**  
*par Marc Howyan* ..... 85

## DOSSIER ENTREPRISES 87

## ASSOCIATION

**INTERVIEW DE PHILIPPE JOST**  
*par Jérôme de Dinechin* ..... 106

**NOUVEAUX STATUTS DE LA CAIA**  
*par Hervé Moraillon* ..... 109

**MENTORING ENTRE IA**  
*par Amandine Reix* ..... 110

**ACCUEIL DE 26 NOUVEAUX IA**  
*par Benoît Chandesis* ..... 111

**LE GROUPE RÉGIONAL NOUVELLE-AQUITAINE  
DE LA CAIA EST SUR LES RAILS !**  
*par Pierre Cambourmac et Philippe Loué* ..... 112

**OÙ SONT LES FEMMES ?**  
*par Amandine Reix* ..... 113

**DÎNER-DÉBAT CAIA DU 3 MAI  
AVEC NICOLAS CHAMUSSY**  
*par Jacques Doumic* ..... 114

**SOUVENIRS D'ALLEMAGNE : LE COBRA**  
*par Alain Filipowicz* ..... 116

**UNE JOURNÉE PARTICULIÈRE**  
*par Bernard Besson* ..... 118

**RENÉ NEYRET,  
LES SCIENCES ET LES LETTRES**  
*par Philippe Japiot* ..... 119

**VOUS SENTEZ-VOUS L'ÂME D'UN  
AVENTURIER ?**  
*par Bertrand Delmas-Marsalet* ..... 120

**APOCALYPSE MANAGÉRIALE  
ET ÉCONOMIE DE GUERRE**  
*par François-Xavier de Vaujany* ..... 122

**INNOVATION ET DÉCARBONATION**  
*par Alain Bovis* ..... 123

**LU POUR VOUS** ..... 124

**CAMARADES ÉCRIVAINS** ..... 125

**LU AU JO** ..... 126

**NOMINATIONS DGA** ..... 128

**DIVERTISSEMENT** ..... 131

# ÉDITO

Jérôme de Dinechin, *Rédacteur en Chef*



## Force agissante

Le film « Oppenheimer », qui dépeint le projet Manhattan de création de la bombe atomique américaine, s'établit comme un succès planétaire. L'histoire de cette course à la maîtrise de la fission puis fusion nucléaire nous touche par sa dimension symbolique et les questions qu'elle pose : des questions théoriques pour extrapoler les modèles de la physique ; des questions techniques pour imaginer un dispositif où la réaction en chaîne sera enclenchée ; des questions existentielles, « et si l'atmosphère se décomposait ? » ; des questions éthiques sur la justification morale de finir le projet lorsque l'Allemagne capitule ; des questions politiques qui constituent la trame de fond du film.

Même s'il ne s'agit plus de bombes – et nous avons notre propre histoire en France sur ce thème – nous retrouvons ces mêmes questions et cette dimension symbolique dans les débats actuels sur l'énergie.

Un domaine de scientifiques ? Le moins que l'on puisse dire, c'est que la compréhension de ce dont on parle n'est pas intuitive. Qui identifie clairement la différence entre un kilowatt, unité de puissance et un kilowattheure, unité d'énergie ? La proportionnalité entre les deux n'est pas évidente, par exemple pour les énergies intermittentes. Combien de MWh/an une éolienne de 2MW de puissance crête peut-elle produire ?

Côté énergies, comment également comparer un mégajoule, un litre de pétrole, une kilocalorie ou une BTU. Si vous souhaitez tester votre compétence énergétique, nous proposons un jeu montrant quelques ordres de grandeur amusants.

Un domaine d'ingénieurs ? La remarquable commission parlementaire sur la perte de souveraineté dans le domaine énergétique a mis en lumière le besoin de construire des décisions argumentées en intégrant le temps long. Nous pouvons nous réjouir de voir les corps d'ingénieurs et celui des IA en particulier largement impliqués dans le « nouveau nucléaire ». Plus on y regarde, plus on se rend compte que nos anciens avaient fait des prouesses. Comment reconstruire une ingénierie et une filière industrielle prenant en compte un cadre réglementaire tellement plus exigeant ? Et de manière plus large, comment répondre aux questions de stockage et au besoin de carburants liquides ou gazeux « décarbonés » ?

Un domaine militaire ? Le soldat connecté consomme et produit une quantité de données qui nécessitent des alimentations, batteries, sources d'énergie supportant les climats de théâtres d'opérations rustiques. Qui ne s'est pas trouvé en panne de portable au plus mauvais moment ? On ne peut l'admettre pour un soldat. Que le service des essences soit devenu le Service de l'Energie Opérationnelle n'est pas anodin.

Mais l'énergie n'est pas que cela. L'énergie matérielle ne se retrouve dans les dictionnaires qu'à partir de 1850 : une force agissante, notamment musculaire. Auparavant, le mot a pour synonymes « efficace, vertu, force », et désigne principalement la force du discours, de la parole : « cet homme a de l'énergie, l'énergie de l'âme ».

En nous concentrant sur l'énergie « esclave » de notre volonté, qu'avons-nous fait de notre force d'âme, dont le Président a rappelé l'importance l'an dernier pour « regarder en face le temps qui vient » ? Celle dont Carl Jung nous parle dans son Livre Rouge en disant « mon âme est un désert car j'ai mis mon désir – mon énergie – dans les choses, les hommes et les pensées » ou encore « aucune culture de l'esprit ne peut faire de mon âme un jardin ».

L'émotion collective qui avait saisi le monde entier lors de l'incendie de Notre Dame de Paris fait partie des sursauts qui nous réveillent l'âme. Illustration dramatique de la lutte entre l'énergie primitive, le feu, et l'énergie spirituelle, la cathédrale, il a provoqué des millions de dons pour une sauvegarde et une restauration. Nous sommes honorés qu'un ingénieur de l'Armement, Philippe Jost, ait été choisi à la suite de Jean-Louis Georgelin pour en faire agir la force. ☺



# PRÉFACE

---

**Luc Remont, *Président – Directeur Général d'EDF***



La série de chocs vécue par le marché de l'énergie, avec les conséquences de la pandémie, la vigueur de la reprise économique qui a suivi, puis de la guerre en Ukraine a montré combien l'énergie était d'abord un enjeu de souveraineté.

Pour faire face à cette situation exceptionnelle, des décisions rapides ont été prises pour garantir la sécurité d'approvisionnement. Parallèlement, un processus de concertation est engagé au niveau européen pour réformer l'organisation du marché de l'énergie, dont la vision essentiellement focalisée sur le court terme a montré ses limites.

Cette conjoncture difficile est renforcée par la nécessaire prise en compte du changement climatique. Tous les analystes l'affirment, une accélération des usages de l'électricité est nécessaire et se traduira par un besoin accru de production d'électricité décarbonée. Nucléaire, hydraulique, solaire, biomasse et éolien..., toutes ces formes de production doivent fournir un mix électrique robuste et performant à l'ensemble de nos concitoyens. EDF fournit déjà une électricité décarbonée à 91% ce qui est évidemment un record mondial, mais notre mission, c'est de se préparer à répondre à la croissance de cette demande. Pour être au rendez-vous, l'industrie de l'énergie va vivre un cycle d'investissement de grande ampleur, dont EDF sera évidemment l'un des piliers.

Pour le nucléaire, nous entrons dans la phase la plus importante du grand carénage du parc existant avec chaque année un nombre croissant de visites décennales des réacteurs de 30 et 40 ans qui vont permettre la prolongation du parc nucléaire en procédant à des remplacements de gros composants. Il s'agit d'amener le parc nucléaire à fonctionner en toute sûreté au-delà de 60 ans en intégrant des améliorations significatives de sûreté.

Parallèlement, s'engage la phase industrielle du programme de nouveau nucléaire avec un premier ensemble de 6 EPR 2 soit une capacité de production supplémentaire de près de 10 GW, dont les travaux du premier réacteur à Penly pourraient débuter début 2024. A ces projets de grande puissance, s'ajoute le développement des nouveaux types de réacteurs de plus petite taille (dont le projet Nuward) qui permettront de répondre à d'autres types de besoins.

Un mix électrique décarboné repose également sur des moyens de production renouvelables hydrauliques, éoliens et solaires dont les investissements les plus récents, je pense à l'éolien en mer, apportent sur le réseau des capacités nouvelles, comme les 480 MW du parc éolien de Saint-Nazaire, connectés au réseau début 2023.

Sans oublier les moyens thermiques décarbonés qui apportent un complément précieux au réseau et à l'équilibre en général lorsqu'il s'agit d'avoir de la flexibilité de pointe notamment.

Pour réaliser ce grand programme d'investissement essentiel à souveraineté énergétique de la France, il sera nécessaire de consolider la filière industrielle en particulier dans le domaine nucléaire. Cela recouvre les outils industriels, les compétences humaines et des modèles économiques robustes pour répondre à ces défis.

En matière de recrutement, l'enjeu des années qui viennent porte sur la quantité, pas la qualité. On a entendu le chiffre d'un besoin de 10 000 ingénieurs par an durant 15 ans rien que pour le nouveau nucléaire.

Cette question des compétences d'une filière industrielle n'est pas spécifique à l'énergie. Les enjeux de réindustrialisation se posent dans de nombreux secteurs. Nous devons apporter des solutions et plus spécifiquement attirer des talents. Les formations existent elles ne sont juste pas suffisamment remplies. Donc il faut commencer par appeler les talents les attirer dans les formations techniques leur donner envie de pratiquer ces métiers.

Le secteur de l'armement, dont je viens, connaît les mêmes enjeux et il me semble naturel qu'il y ait des passerelles entre les deux, qui partagent haute technicité, temps long, importance des investissements et longue durée d'exploitation, auxquels on pourrait rajouter aujourd'hui numérisation.

Les articles rassemblés dans ce magazine montrent de bien des manières comment l'énergie est devenue un sujet d'intérêt pour les armées, dans différentes dimensions, et j'encourage les ingénieurs de l'armement à continuer de venir apporter leurs compétences en direction de programme et en direction technique en s'ouvrant au domaine de l'énergie. ☺



# L'ÉNERGIE EST NOTRE AVENIR...

par **Claude Renard**, ICA

Nous sommes face à une constante, l'homme s'adapte à son environnement toujours en évolution. Nous faisons face aux changements, aux progrès, nous faisons preuve de résilience. Quelles soit progressives ou de ruptures, ces évolutions ont généralement un aspect naturel, comme l'adoption des smartphones ou de l'utilisation d'internet. Parfois elles sont clairement contraintes en réponse à un enjeu spécifique comme les interdictions de fabrication ou d'usage de certaines matières ou produits. Dans la lutte contre le changement climatique, sujet intrinsèquement lié au secteur de l'énergie, le protocole de Montréal signé en 1987 a abouti à l'interdiction de la production de chlorofluorocarbures (CFC), effective dès 1995 au sein de l'Union Européenne. Beaucoup plus récemment, la fin de la vaisselle jetable, a été mise en œuvre bien plus rapidement.

A la fin du siècle dernier, les enjeux long terme n'étaient pas vraiment pris à bras le corps, le 2 septembre 2002 à Johannesburg, on apprend que « l'on regarde ailleurs ». Le sujet à l'époque était de connaître les solutions de l'après pétrole, après épuisement des réserves. Mais l'exploration, les techniques d'extraction, la fracturation hydraulique permettaient de repousser les limites et les gisements exploitables paradoxalement augmentaient au fur et à mesure de leur diminution. On captait les énergies fossiles de plus en plus loin, de plus en plus profondément. L'industrie offshore était très attractive, techniquement, financièrement...

Mais ça, c'était avant... Nos connaissances et la science nous démontrent l'inexorable changement climatique, au mieux on peut encore un peu limiter la hausse des températures constatées à la fin du siècle, mais il faut aller vite et fort. Définir des objectifs ambitieux pour des enjeux mondiaux. Décliner des plans d'actions à long terme, de grandes décisions et des engagements forts sont pris et conditionnent notre trajectoire de politique publiques des 30 prochaines années. On se lance dans un grand exercice de formalisation en se fixant, notamment des objectifs législatifs et réglementaires contraignants, sur les deux sujets intimement liés que sont l'énergie et le climat. Nous voyons ainsi fleurir des stratégies, des planifications, des programmations, réactualisées, amendées, ajustées. La stratégie française énergie climat (SFEC), la stratégie nationale bas carbone (SNBC), la loi de programmation sur l'énergie et le climat (LPEC), les programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE), la stratégie de développement des mobilités propres (SDMP), le plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC)..., désolé si j'en ai oublié. Ces documents s'imbriquent, s'entremêlent se complètent, potentiellement avec un manque de visibilité d'ensemble. Des simulations sont réalisées, des scénarios envisagés, tous les secteurs sont mis à contribution. Le changement principal concerne l'échelle de temps, alors que les précédentes décisions étaient à quelques années, les visions stratégiques doivent être à long terme et pour leur crédibilité, clairement jalonnées.



**La transition énergétique est nécessaire**, indispensable. Les énergies renouvelables doivent prendre une place majeure dans notre mix énergétique, notamment la loi relative à l'énergie et au climat de 2019 fixe pour la France un objectif de 33% d'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie en 2030, nous étions à moins de 10% en 2005 et à 20,7% en 2022. Les projets d'éoliens en mer, inscrits sur du temps long contribueront à atteindre cet objectif. Au-delà de la production, l'utilisation de l'énergie se doit également d'évoluer, en sortant le plus rapidement des énergies fossiles, en particulier dans le domaine des transports, si l'on pense naturellement à la wature dont la pénétration du marché à fait un bond depuis quelques années. Actuellement, une voiture sur quatre immatriculées en France est électrifiée (100% électrique ou hybride rechargeable), le secteur aérien fait lui aussi face à une nécessaire décarbonation.

Depuis plus de 50 ans, la France est une puissance nucléaire, maîtrisant l'atome dans ses multiples usages. Si pour la production d'énergie, on pense rapidement aux centres nucléaires de production d'électricité, il ne faut pas oublier qu'en amont des alternateurs, l'énergie nucléaire produit principalement de la chaleur, énergie calorifique qui via des turbines devient énergie mécanique. La chaleur pouvant être exploitée directement. Après une impression de stagnation voire de sensation de déclin, on semble redécouvrir un des premiers bénéfices de la filière nucléaire : son aspect fortement décarboné. Ainsi, le lancement d'une politique dynamique sur l'atome nous entraîne dans **un véritable nouveau nucléaire** avec en particulier la mise en place d'une délégation interministérielle fin 2022.

La mise en place, l'année dernière, d'un secrétariat général à planification écologique directement rattaché à la Première ministre, tout comme le Conseil de planification écologique réuni par le Président de la République en septembre dernier, permet de définir précisément les orientations des actions à prendre. Encore plus concrètement, **les évolutions énergétiques pour les forces** sont déjà présentes et doivent également s'accélérer. Des trois volets énergétiques que sont la production (moins de fossile), le stockage et la consommation (décarbonée), le stockage et donc la disponibilité de l'énergie est sujet important.

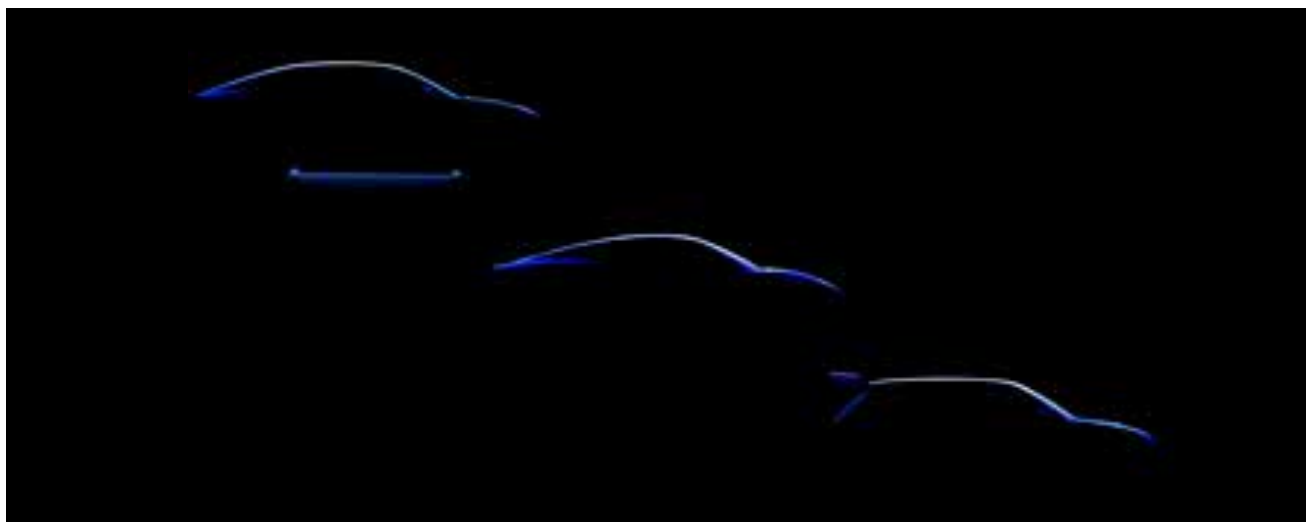
Nos engagements sont de plus en plus à long terme, non pas pour se laisser du temps mais bien pour illustrer la nécessité d'accélérer, alors que tout va déjà si vite. Mais à ne pas douter, encore une fois, nous nous adapterons.

En vous souhaitant une excellente lecture, n'oublions pas ce petit message à la fin de certains messages publicitaires : « L'énergie est notre avenir, économisons-la ! » ☺



**Claude Renard, ICA**

Coordonnateur IRVE et ZFE (Infrastructures de recharge pour véhicules électriques et zones à faible émission) à la Direction générale énergie et climat



Les silhouettes des trois futures Alpine 100% électriques

## Cabinet de recrutement spécialisé dans le secteur des industries de Défense



Depuis 2007, notre cabinet est leader dans le recrutement par approche directe dans le secteur de la Défense.

### **CONTACT**

**Franck Jullié**



+33 6 25 90 63 30



fjullie@elzear.com



elzear-defense.com

The background image shows an offshore wind turbine with three white blades, one of which has a red tip. The turbine is mounted on a yellow cylindrical structure. In the foreground, another yellow cylindrical structure is visible, labeled 'F07'. The scene is set in a blue ocean under a blue sky with white clouds.

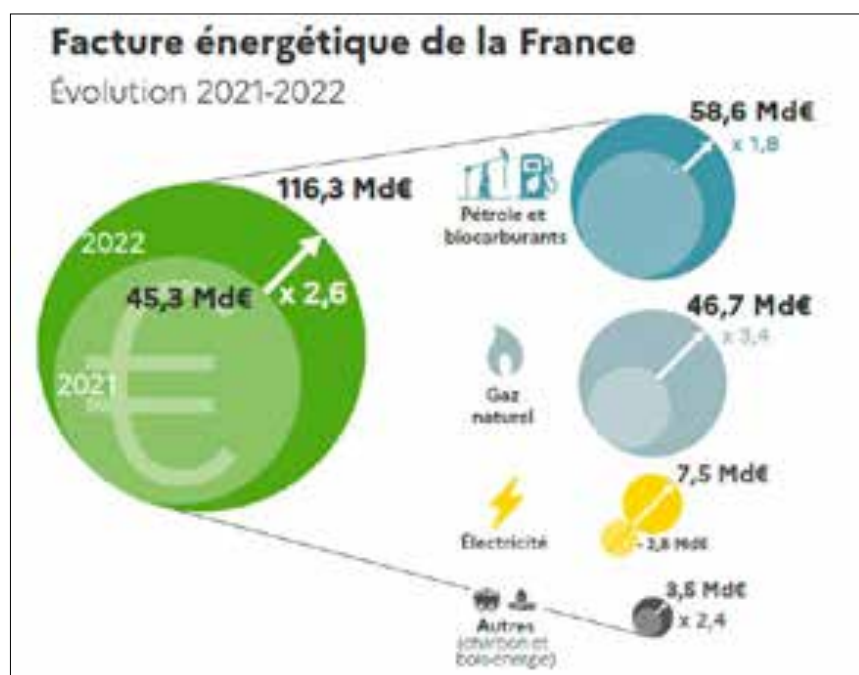
Partie 1  
**NÉCESSAIRE  
TRANSITION  
ÉNERGÉTIQUE**

# SORTIR DES ÉNERGIES FOSSILES

## DES ENGAGEMENTS À TENIR

Par **Sophie Murlon**, *IGMines*

La France s'est engagée à atteindre la neutralité carbone en 2050, conformément aux objectifs européens et à l'ambition de l'Accord de Paris. Pour atteindre nos objectifs climatiques et renforcer notre souveraineté énergétique, nous visons ainsi à devenir le premier grand pays industriel à sortir des énergies fossiles. Cette transition suppose une accélération sans précédent de notre action climatique.



La crise de l'hiver 21 22 a conduit à un presque triplement de la facture énergétique sans augmentation de volume, montrant la dépendance de la France aux énergies fossiles

La France devra désormais baisser ses émissions de gaz à effet de serre de 5 % chaque année entre 2022 et 2030, contre 2 % de réduction annuelle en moyenne de 2017 à 2022, pour atteindre le nouveau jalon fixé avec nos partenaires européens pour 2030 d'avoir une réduction d'au moins 50% en brut par rapport à 1990.

Le défi de la réduction des émissions est immense, et tous les secteurs devront être mobilisés dès maintenant et dans la durée : les transports, le logement, l'industrie, l'agriculture... C'est l'objet des travaux de la Stratégie française pour l'énergie et le climat, pilotée

par la DGEC, qui font l'objet d'une mobilisation intense des parties prenantes, des ministères et du secrétariat général à la planification écologique.

Dans le domaine de l'énergie, notre premier objectif est de réduire la consommation d'énergie, par la sobriété et l'efficacité énergétiques. Nous avons d'ores et déjà posé les bases d'une sobriété énergétique pérenne grâce à un plan présenté en octobre 2022 et qui a permis l'hiver dernier de réduire notre consommation d'électricité et de gaz de plus de 10%. Dans la durée, chaque secteur est concerné, et des mesures

sont déjà identifiées pour atteindre nos objectifs : rénovation des logements, alternatives à la voiture individuelle, sobriété des process industriels...

Nous devons aussi accroître la production d'énergie décarbonée. L'accélération de la sortie des énergies fossiles suppose l'électrification d'une grande partie de nos consommations futures d'énergie et la décarbonation de l'ensemble de la production de chaleur. L'accélération du développement des énergies renouvelables, en particulier la chaleur, le photovoltaïque et l'éolien en mer, sont des leviers essentiels d'ici à 2030, ainsi que l'augmentation de la puissance disponible et la production annuelle des réacteurs nucléaires existants, dans le respect du cadre de sûreté. A plus long terme, avec la poursuite du développement de toutes les énergies renouvelables, de nouveaux réacteurs nucléaires seront nécessaires pour remplacer les réacteurs actuels.

Cette transition, tant du côté des usages que des moyens de production, doit nous conduire à adapter les réseaux de transport et de distribution d'énergie. Ces réseaux ont connu ces dernières années des évolutions majeures, qui devront s'accélérer. Le réseau électrique devra prendre en compte le développement des projets d'électricité renouvelable répartis sur le territoire, prévoir le



### Septembre 2023 : L'OCDE se prononce sur le nucléaire

En préparation de la COP 28 (à Dubaï du 30 novembre au 12 décembre), une conférence internationale sur l'avenir du nucléaire a été organisée à Paris par le ministère de la Transition énergétique et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (NEA), les 28 et 29 septembre 2023. Les 20 ministres participants, dans un communiqué commun, sous le titre «*Roadmaps to New Nuclear*», ont déclaré leur engagement dans l'énergie nucléaire pour atteindre la neutralité carbone et se sont mis d'accord sur les principes qui doivent guider l'accélération de la construction des nouveaux projets nucléaires.

Les thèmes soulevés sont notamment ;

Le financement, qui devrait être en partie privé, en faisant reconnaître le classement du nucléaire avec les autres énergies bas carbone ;

Le besoin de coopération, sur les aspects réglementaires comme sur le traitement des déchets ;

Le soutien public à la R&D y compris sur les petits réacteurs (SMR) ;

Les filières industrielles, comprenant le cycle complet du combustible ;

La nécessité d'échanges sur la formation et les compétences ;

Le recours à un soutien public continu ;

Et enfin le développement de systèmes hybrides, combinant par exemple nucléaire et hydrogène.

Les industries invitées se sont également engagées à coopérer et à travailler conjointement avec les financeurs privés et les entités publiques.

raccordement d'unités très puissantes comme les parcs éoliens offshore et des futurs réacteurs nucléaires, tout en assurant l'électrification de nouveaux usages très intensifs dans l'industrie, l'alimentation des nouvelles bornes de recharges de véhicules électriques et des électrolyseurs pour la production d'hydrogène. Les réseaux de gaz devront évoluer pour permettre le raccordement de projets de production de gaz renouvelables ou

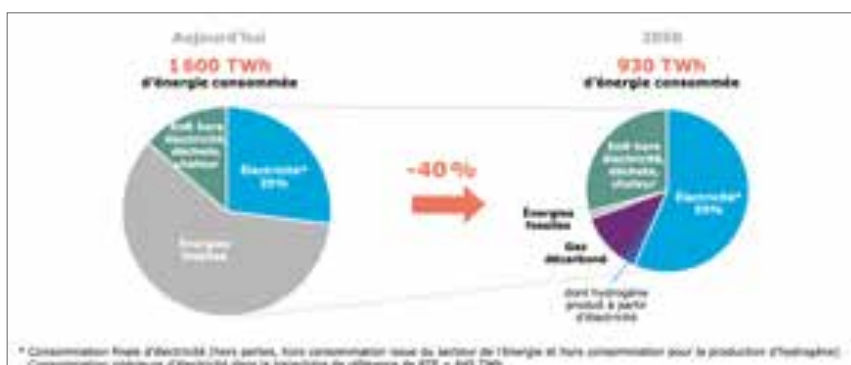
bas carbone, tout en voyant leur utilisation baisser du fait de la réduction globale de la consommation de gaz.

Ces transformations doivent se réaliser dans un contexte marqué par les enjeux de sécurité d'approvisionnement. La guerre déclarée par la Russie à l'Ukraine, et la baisse voire l'arrêt des importations de gaz et de produits pétroliers russes qui en a découlé, ont

fortement mis sous tension notre sécurité d'approvisionnement. Une partie importante de l'approvisionnement européen en gaz, historiquement assuré par des importations depuis la Russie par gazoduc, a dû se reporter vers des importations de gaz naturel liquéfié (GNL) par navire. La France s'est pleinement mobilisée afin d'assurer sa sécurité d'approvisionnement tout en exportant un maximum de gaz naturel vers nos voisins européens. Nous allons également réévaluer notre réseau d'infrastructures de stockage de gaz au vu de l'évolution de notre consommation et du nouveau contexte d'approvisionnement.

Enfin, les prix de l'énergie sont un enjeu essentiel, et nous devons préserver le pouvoir d'achat des ménages et la compétitivité de nos entreprises. Notre priorité est notamment de mener à bien la réforme du marché de l'électricité afin de protéger l'ensemble des consommateurs contre des évolutions excessives des prix de marché et de mieux refléter dans les prix qu'ils payent les coûts du système électrique, au service de la décarbonation.

Les équipes de la DGEC restent pleinement engagées pour faire aboutir les travaux de planification énergétique, et leur déclinaison dans les territoires. ☺



Une croissance de la part de l'électricité dans une réduction globale (source Rapport RTE 2050)



Sophie Mourlon

Sophie Mourlon, ingénieure générale des mines, X96, corps des mines, Sophie Mourlon a travaillé 8 ans à l'Autorité de Sécurité Nucléaire (ASN) dont elle a été directrice générale adjointe pendant 3 ans. Après un passage à la cour des comptes, elle devient en 2019 directrice de l'énergie à la Direction générale de l'énergie et du climat (DGEC) avant d'en prendre la tête en 2023.

# ANTICIPER LES CRISES ÉNERGÉTIQUES POUR MIEUX ADAPTER NOTRE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

## L'EXEMPLE DU PLAN DE DÉLESTAGE 2022-2023

Par Yves Rougier, ICA et Philippe Lorec, IA

La réglementation européenne, les attermolements sur la relance du programme nucléaire français et les suites de Fukushima ont généré un climat d'incertitudes, dans le contexte de l'augmentation des besoins mondiaux en énergie, créant des risques exacerbés par la guerre ukraino-russe ... Comment se prépare-t-on face à la menace d'une crise ?

### Jeux Olympiques de Paris

Deux points majeurs d'attention pour les JOP :

La recherche d'exemplarité en termes de lutte contre le réchauffement climatique

conduit à la décision de ne plus alimenter les stades et sites olympiques par des groupes électrogènes mais par le réseau électrique. Il faut donc mettre en place deux alimentations indépendantes sur chaque site de manière à disposer d'un secours qui garantisse le déroulement des épreuves sans risque de délai ou de report. La disponibilité de l'électricité sera sujette à faible risque en saison de faible consommation.

Par ailleurs, des travaux importants ont dû être réalisés pour garantir l'alimentation en électricité de la cérémonie d'ouverture sur un site qui ne disposait pas des capacités requises.

Ces deux points feront l'objet d'une surveillance particulière pendant les JOP car la panne n'est pas acceptable...



À l'approche de l'hiver 2022-2023, le faible taux de disponibilité du parc électro-nucléaire français a rendu plus probable le risque de devoir procéder à des délestages maîtrisés certains jours pour pallier un éventuel déséquilibre entre l'offre et la demande.

À cette occasion, un travail interministériel a été conduit sous la direction d'une préfète nommée à cette occasion et dans le cadre d'une « CIC (Cellule interministérielle de crise) délestage ». Il a permis de mettre à jour les listes des clients prioritaires dont les alimentations ont été protégées afin

de ne pas subir de délestage programmé, sans que puisse leur être garantie l'absence de coupure en cas d'événement brutal nécessitant une réponse réflexe de préservation du réseau. Ces délestages programmés visent à maintenir les équilibres locaux et globaux du réseau pour éviter son effondrement qu'il faut absolument éviter.

En effet, le dernier effondrement global du réseau électrique en France a causé une panne géante de quelques heures, le 19 décembre 1978, avec des conséquences lourdes : métros arrêtés, feux de signalisation coupés, em-

bouteillages monstres, ascenseurs bloqués, bureaux et usines à l'arrêt, des blocs de chirurgie coupés et des opérations qui se sont terminées à la lampe de poche ... Or, entre 1978 et aujourd'hui, la continuité de distribution électrique est devenue cruciale pour de nombreuses activités supplémentaires. Les conséquences seraient donc probablement bien pires aujourd'hui.

Les travaux, pilotés par la CIC, ont été réalisés par les préfetures qui ont arbitré entre les demandes, toujours trop nombreuses, et les capacités limitées des clients à se préserver. Dans ce travail, l'importance de chaque client dans la vie de la Nation et les conséquences d'une coupure brutale sur l'outil industriel ont été prises en compte, ainsi que les taux de clients prioritaires, qui sont définis par un règlement européen.

Parmi les problèmes majeurs qui ont dû être abordés, deux peuvent être exposés ici et ils montrent comment les évolutions de la société complexifient les décisions à prendre dans ces situations.

**Cas des écoles.** La probabilité d'une coupure électrique est plus forte entre novembre et début mars. Entre mi-décembre et fin janvier, il fait nuit jusqu'après 8h et la

question est de savoir si les écoles peuvent recevoir les élèves, quitte à les laisser en récréation pour la durée de la coupure. Comme les écoles sont des ERP (Etablissement recevant du public) et que leurs dispositifs de sécurité ne fonctionnent pas sans électricité, il conviendrait de les évacuer. Mais cela peut avoir de multiples conséquences : comme il est très difficile de réorganiser les transports scolaires, les élèves qui ne viendraient pas le matin ne pourraient pas rejoindre leur établissement plus tard dans la journée. Les parents devraient rester à la maison pour les garder (au moins un des deux), d'où une désorganisation massive pour les employeurs. Les enfants non gardés pourraient aller dans des rues avec un éclairage et des feux éteints, d'où un risque supplémentaire. Si en revanche, les écoles restent ouvertes sous la responsabilité de leur chef d'établissement, c'est lui qui court un risque car en cas d'accident il sera mis en examen....

Cet exemple est représentatif de ce que dans notre société les conséquences juridiques de chaque décision peuvent aussi s'opposer à une gestion « en bon père de famille » ...

Les exemples de sujets à questionnements sont nombreux : tunnels routiers qui fermeraient du fait de dispositifs de sécurité inopérants, impossibilité de faire le plein de carburant à une station-service délestée, risque de voir des habitants coincés dans des ascenseurs, transports en commun arrêtés car les opérateurs de transports ne voudraient pas prendre le risque de devoir gérer des trains bloqués en pleine nature, blocage potentiel des centres de données ...

Un autre point est celui de la téléphonie mobile qui se trouverait inopérante dans les zones déles-

### La gestion de crise s'est traduite par la mise en place de nouvelles procédures

Un déséquilibre entre l'offre et la demande est prévisible avec 3 jours de préavis. L'outil « Ecowatt » permet à RTE de communiquer sur ce déséquilibre possible et s'il est faible, les mesures de réduction de la consommation citoyenne peuvent permettre d'éviter d'avoir recours à des délestages.

Si le déséquilibre se confirme, RTE définit les sites qui devront être délestés par grandes mailles puis Enedis dispatche, à J-1, entre celles qui subiront un délestage et celles qui en seront préservées.

Ainsi les clients savent la veille en fin d'après-midi s'ils vont subir un délestage et peuvent s'y préparer. Le délestage dure deux heures et si nécessaire d'autres clients sont coupés pour la tranche horaire suivante ; l'objectif étant qu'un même client ne soit coupé qu'une fois par jour au maximum. Les tranches envisagées s'étalent de 7h à 12h et en fin de journée.

tées. La question posée est moins celle de la privation de téléphone durant deux heures, que celles du redémarrage des antennes relais et des équipements des opérateurs, et des incertitudes sur l'accès aux numéros d'urgence.

Même le réseau historique (sur base de cuivre), dans les endroits où il n'a pas été retiré, pose des problèmes de disponibilité parce qu'il a été modernisé avec des relais électriques et des fibres optiques branchés sur le réseau.... De ce fait, un dispositif exceptionnel a été imaginé pour préserver autant que possible l'accès aux numéros d'urgence de manière à limiter les risques de voir un patient décéder faute d'avoir été secouru.

Dans un pays moderne comme le nôtre, l'électricité est partout et ce travail d'anticipation a montré les conséquences énormes de délestages sur son organisation et sa capacité à réagir à une crise en conservant le paradigme de la normalité. En effet, comment faire en sorte qu'en cas de crise majeure de type délestage ou Covid-19, un certain nombre des acquis de la société ne doivent être mis en balance d'un comportement de bon père de famille afin de compenser

les effets de l'indisponibilité de dispositifs légalement indispensables du point de vue de la sécurité ? Nul ne sait le dire. ☹



**Yves Rougier, ICA**  
- IGPEF

Après une carrière de 25 ans dans le service des programmes navals, Yves Rougier rejoint le ministère du développement durable en 2008 pour traiter de sujets de sûreté d'abord dans les transports, puis de sécurité routière et de SI routiers. Aujourd'hui il est responsable de la gestion de crise sur l'ensemble du pôle ministériel MTECT-MTE-SEM.



**Philippe LOREC,**  
Secrétaire général  
du MTECT

Il entame sa carrière en 1992 au Ministère de la Défense et la poursuit en 1997 au Ministère des Finances. En 2003 il devient conseiller diplomatique du ministre de l'industrie. En 2006, il revient à la Direction Générale de l'Energie et du Climat puis il prend la coprésidence du Plan Solaire Méditerranéen au sein des services du Premier Ministre. En 2015 il devient Chef du département « Informations, Synthèse et Analyse des Risques » au Ministère des finances. Il a rejoint le secrétariat Général du MTECT en 2019.

# L'ÉOLIEN EN MER

## CHALLENGER POUR L'ÉLECTRICITÉ DÉCARBONÉE

Par Matthieu Laurent, IA

La décarbonation de notre mix énergétique passera par le développement accéléré de l'éolien en mer, une source d'énergie compétitive, faiblement émettrice de carbone, créatrice d'emplois, à fort facteur de charge et au potentiel important. Alors qu'un seul parc de 480 MW était en opération fin 2022 au large de nos côtes, 40 à 45 GW ont vocation à être installés d'ici 2050. Le développement de ce nouvel usage de la mer nécessite d'être planifié et que soient adaptées les règles de coexistence avec les usagers historiques, en particulier la défense nationale.



Ferme flottante WindFloat Atlantic au large du Portugal - Credit : Photo courtesy of Principle Power. Artist: DOCK90

Les émissions de gaz à effet de serre sont principalement générées par le recours aux énergies fossiles, qui représentent environ 60 % de la consommation d'énergie en France.

Dans la mutation énergétique que nous vivons, le besoin en électricité devrait augmenter de 10 TWh par an dès 2025 pour atteindre 645 TWh en 2050 selon l'estimation de RTE. Il est **indispensable de développer rapidement et massivement de nouveaux moyens de production d'énergies renouvelables, dont les énergies marines renouvelables, en particulier l'éolien en mer.**

En France, l'éolien en mer est à ce stade la seule technologie d'énergie marine renouvelable industriellement mûre, compétitive, disposant d'un potentiel technique important, et à fort facteur de charge (entre 40 et 55%). Ce potentiel place l'éolien en mer comme l'une des principales filières à développer pour atteindre

les objectifs de transition énergétique. A ce titre, l'éolien en mer a vocation à devenir à horizon **2050 la seconde<sup>1</sup> source de production d'électricité de notre pays derrière le nucléaire**, fournissant entre 20 et 30% de notre électricité.

En France aujourd'hui, près de 4,6 GW de capacité ont déjà été attribués et commencent à rentrer en opération (parc de Saint Nazaire en 2022, parcs de Saint Brieuc et Fécamp et ferme pilote Provence Grand Large en 2023). 3,25 GW sont en cours d'attribution en Méditerranée, au large de la Bretagne Sud, d'Oléron et de la Normandie et 2,5 GW de projets supplémentaires ont déjà été identifiés.

Des objectifs de développement de l'éolien en mer situés entre 40 à 45 GW à horizon 2050 ont été exprimés par le Président de la République et le Secrétariat général pour la Planification Ecologique. Ces orientations ont vocation à être traduites et précisées dans la loi en 2024. Au niveau européen, la Commission Européenne fixe pour sa part un objectif de 300 GW installés au large de ses pays membres à horizon 2050.

Le déploiement de 40 à 45 GW d'éolien en mer impliquera l'occupation de 1 à 2 % de l'espace

maritime de la France métropolitaine. Il est à ce titre **nécessaire de planifier son développement et d'identifier les zones au sein desquelles cette technologie sera développée** et certains usages seront éventuellement limités. C'est à ce titre qu'un débat public national sera lancé à l'automne, mutualisé avec la révision des documents stratégiques de façade et la détermination de zones qui feront l'objet d'une protection forte au titre de la biodiversité. Pour l'éolien en mer, ce débat a pour objectif de faire émerger des zones dans lesquelles des projets de parcs éoliens en mer totalisant au moins 15,5 GW pourront être attribués dans un délai de dix ans suivant son adoption, ainsi que des zones susceptibles d'accueillir des projets totalisant au moins 14 GW à l'horizon 2050.

L'éolien en mer est susceptible d'avoir des impacts sur les paysages, la biodiversité, la pêche professionnelle, le trafic maritime ou encore la défense nationale. L'ensemble de ces enjeux seront discutés par le public et pris en compte dans le choix final des zones de projet par l'État. La mer étant un espace important pour les forces armées et la DGA (entraînement, tirs de missiles, radars...), **des compromis devront être trouvés afin de faire coexister nos objectifs**

1 : NDLR : actuelle deuxième source, l'hydroélectricité représentait en 2022 26 GW en exploitation produisant 63 TWh par an.





Éolienne posée au large de Saint-Nazaire et navire d'installation - Crédit : EDF

**de défense nationale avec nos objectifs énergétiques**, qui ont vocation à décarboner notre pays et aussi à le rendre davantage résilient grâce à une diversification des moyens de productions d'électricité, en termes de technologie et dans l'espace, et à la production d'énergie sur son sol. Il est à noter que le partage de la mer n'est pas nécessairement exclusif, et que certaines activités peuvent être compatibles entre elles (possibilité d'activités de pêche au sein des parcs, en particulier posés, « effet récif » des parcs éoliens pouvant favoriser la biodiversité).

### Les grandes caractéristiques de l'éolien en mer

Une éolienne en mer est constituée d'une éolienne conçue pour le milieu marin qui est soit posée sur le fond marin (éolienne posée), soit installée sur un support flottant, ancré au fond marin (éolienne flottante).

Ces éoliennes sont reliées entre elles par des câbles inter-éoliennes et raccordées au réseau public de transport d'électricité par l'intermédiaire d'un poste électrique en mer, relié lui-même à un poste électrique

à terre. Les projets issus de l'exercice de planification auront une puissance de 1 à 2 GW et seront reliés au réseau électrique en courant continu.

Malgré la baisse des coûts de l'éolien en mer, un soutien public est néanmoins prévu afin de favoriser les investissements et de couvrir les coûts de construction et d'exploitation quelle que soit l'évolution à long terme du prix du marché.

Pour ce soutien, l'État a fait le choix du dispositif « complément de rémunération » : l'État complète la rémunération perçue par le producteur lorsque celui-ci vend son électricité sur le marché, pour atteindre le tarif fixé lors de la procédure de mise en concurrence. Le complément de rémunération est symétrique : dans le cas où les prix de marché de l'électricité sont supérieurs au tarif fixé lors de la procédure de mise en concurrence, le producteur rembourse la différence à l'État. Considérant le faible coût des projets éolien en mer, en particulier posés, **il est estimé que l'« éolien en mer » sera un contributeur positif net au budget de l'État.**

L'Europe est aujourd'hui chef de file sur le marché de l'éolien en mer mais l'Asie, en particulier la Chine qui propose des coûts très compétitifs, émerge à grande vitesse et pourrait bouleverser le modèle actuel caractérisé par un fort contenu européen.

L'Europe est « la terre d'origine » de l'éolien en mer puisque les premiers parcs éoliens en mer ont été inaugurés sur le continent au début des années 1990. On y comptait fin 2022 près de 6 000 éoliennes en mer installées, représentant une puissance d'une trentaine de GW de parcs éoliens en mer mis en service dans 12 pays, en particulier au Royaume-Uni, en Allemagne, aux Pays-Bas, en Belgique ou au Danemark.

La concrétisation des sept premiers parcs éoliens en mer a permis le développement et la structuration d'une filière industrielle de l'éolien en mer en France qui contribue d'ores et déjà à l'économie française.

**En 2022, l'éolien en mer a créé 914 emplois en France pour un total d'environ 7 500 emplois directs**, notamment au sein des Chantiers de l'Atlantique positionnés sur la construction de sous-stations électriques, des usines de pales et de nacelles de Siemens Gamesa (Le Havre) et GE (Cherbourg et Montoir-de-Bretagne), de l'usine de câbles Prysmian dans l'Yonne ou encore des multiples ports ayant réalisé des aménagements pour accueillir des activités liées à ces projets.

En France, une politique ambitieuse est mise en place pour développer l'industrie de l'éolien flottant car cette technologie sera cruciale pour atteindre les objectifs d'éolien en mer installés en 2050 qui seront fixés. Avec France 2030, ce sont plus de 300 M€ de financements qui visent à accompagner la construction des infrastructures portuaires nécessaires aux projets flottants, et à faire émerger des acteurs industriels sur les façades françaises. ☞



**Matthieu Laurent**, adjoint au chef de bureau des énergies renouvelables hydrauliques et marines à la Direction Générale de l'Énergie et du Climat

X13, Berkeley, architecte naval, a conçu des flotteurs pour divers projets éolien flottant en opération ou en construction et a participé à la mise en service de la 2<sup>e</sup> ferme «éolienne flottante» au monde : WindFloat Atlantic. Actuellement responsable d'une équipe chargée de la réalisation des études techniques et environnementales des sites «éolien en mer», du suivi des sujets internationaux, innovation et industrialisation, de l'attribution de deux projets en Méditerranée et de la planification de l'éolien en mer.



# PAS DE « NET ZÉRO » 2050 SANS UN MIX ÉNERGÉTIQUE BAS CARBONE INTÉGRÉ

INTERVIEW DE STEPHANE SARRADE  
DIRECTEUR DES PROGRAMMES ÉNERGIES BAS  
CARBONE AU CEA

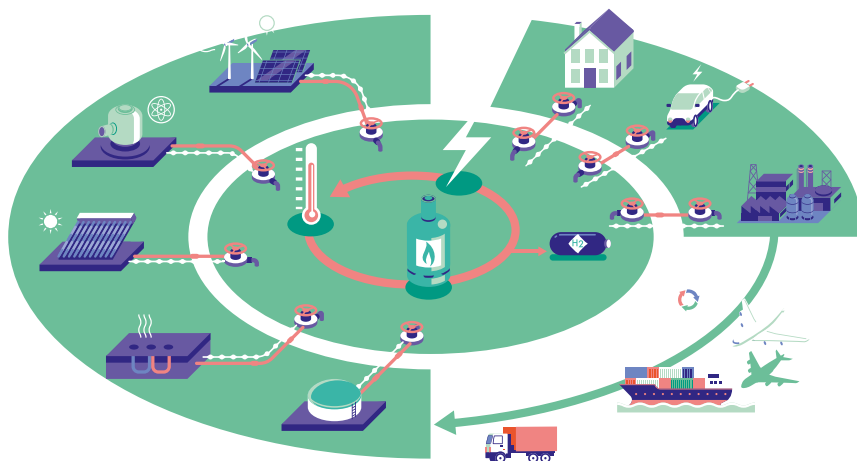
Propos recueillis par Dominique Monvoisin, IGA

Stéphane Sarrade, est ingénieur diplômé de Polytech Montpellier et docteur habilité en génie des procédés. Après un parcours préalable de 25 ans au sein du CEA, il pilote depuis bientôt 4 ans la stratégie de l'ensemble des activités de R & D de cet organisme dans le domaine des énergies bas carbone. Il est par ailleurs l'auteur de plusieurs livres de vulgarisation scientifique et essais dans le domaine de la chimie et de l'énergie.

**La CAIA : L'avenir énergétique de la France repose sur la production massive d'électricité décarbonée et l'abandon progressif des combustibles fossiles. Comment caractériser-vous ce paysage de l'énergie en transformation ?**

**Stéphane Sarrade :** Le paysage énergétique national et européen est en effet en pleine mutation compte tenu de l'impératif de décarbonation de nos activités, auquel s'est superposée une tension énergétique d'ampleur et durable. La souveraineté énergétique (pour s'affranchir de notre dépendance aux pays producteurs de pétrole et de gaz), l'efficacité et la sobriété énergétiques, la transformation de nos usages sont désormais des priorités stratégiques.

Même si les économies d'énergie qui en découleront devraient conduire à une baisse sensible de la consommation totale d'énergie, il est clair que nous sommes face à une demande gigantesque d'énergie décarbonée à satisfaire, avec une part d'électricité dans notre mix énergétique qui atteindra 55% en 2050, ce qui est considérable. Par ailleurs, notre pays doit faire face



Représentation d'un mix énergétique bas carbone intégré à l'horizon 2050

à des défis qui lui sont propres : peu de matières premières sur son sol, la nécessité de renouveler une partie importante de son parc de production d'électricité dans les prochaines décennies, des filières industrielles intégrées à construire ou à renforcer, et la nécessité d'y attirer les talents.

Le CEA a considéré que ses programmes de recherche devaient être définis et conduits dans le cadre d'une vision intégrée de l'énergie, ce qui l'a conduit à créer en 2020 la direction des énergies. Celle-ci pilote ainsi ses programmes sur la

base d'un rapprochement entre les équipes travaillant sur l'énergie nucléaire et celles impliquées sur les nouvelles technologies pour l'énergie, ceci afin de favoriser la convergence entre différentes solutions énergétiques.

**La CAIA : Pouvez-vous nous préciser ce que vous entendez par vision intégrée de l'énergie ?**

**StS :** Notre vision intégrée du système énergétique inclut plusieurs piliers interconnectés : la production d'énergies bas carbone (nucléaire, renouvelables, hydrogène, carburants de synthèse...) ; les solutions

de flexibilité et de stockage pour compenser la variabilité des renouvelables, s'appuyant sur les batteries, mais aussi sur l'hydrogène; les réseaux « intelligents » à même de traiter des flux importants de données en temps réel pour gérer les pics de consommation en fonction des énergies disponibles; le tout dans une logique d'économie circulaire des matières, allant des combustibles nucléaires aux matériaux critiques des composants électroniques (batteries, éoliennes, panneaux photovoltaïques).

Toutes les options doivent être considérées de façon à atteindre la neutralité carbone en 2050 au moindre coût pour la société et en renforçant notre souveraineté.

### La CAIA : Pourquoi assiste-t-on à un renouveau du nucléaire ?

**StS** : Ce regain d'intérêt vis-à-vis de l'énergie nucléaire, aux côtés des renouvelables, se comprend facilement : cette énergie est pilotable, non émettrice de CO<sub>2</sub>, compétitive par rapport au marché des énergies fossiles et financièrement stable.

Dans sa projection énergétique en 2050, la France aura besoin de plus de nucléaire de puissance, complété par des petits réacteurs nucléaires qui proposeront des services complémentaires mais totalement inédits : produire de l'électricité locale en synergie avec les énergies renouvelables, mais également de la chaleur pour l'industrie lourde, de l'hydrogène.

Les petits réacteurs nucléaires (SMR, AMR, MMR<sup>1</sup>) font appel à des concepts en rupture avec les réacteurs de puissance. Ils sont plus faciles à construire, à fabriquer, à transporter et à assembler, avec une sûreté assurée souvent de manière passive. Si les SMR (puissance de 50 à 300 MWe) s'ap-

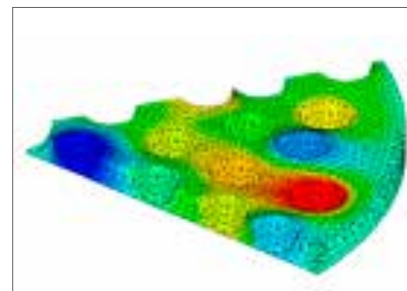
puient sur la technologie des réacteurs à eau, pressurisée ou bouillante, dite de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> générations, les AMR (de même gamme de puissance) reposent sur des technologies de 4<sup>e</sup> génération, avec la capacité de fermer le cycle du combustible et de valoriser les matières nucléaires sans emploi (notamment l'uranium appauvri présent sur le territoire national), contribuant ainsi à l'indépendance énergétique de la France. Les MMR (puissance de 1 à 20 MWe) visent d'autres usages : remplacement de groupes électrogènes, transport maritime, zones isolées, spatial.

Les industriels commencent d'ailleurs à considérer les SMR non pas comme des réacteurs alimentant les réseaux en électricité mais comme des produits à acquérir, adossés à leurs usines pour satisfaire leurs propres besoins.

Le nucléaire de puissance devra, quant à lui, s'adapter à une part croissante de renouvelables intermittents (jusqu'à 30% à 40%) au sein du réseau électrique, avec la nécessité de disposer de combustibles compatibles avec une variation rapide de température, en descente ou en montée. La prolongation de la durée d'exploitation du parc actuel est également un objectif majeur auquel le CEA apporte sa contribution via son expertise de longue date sur les matériaux de cuve.

### La CAIA : L'État a décidé de soutenir l'émergence de nouveaux concepts de petits réacteurs nucléaires portés par des start-up. Comment percevez-vous cette initiative et quel rôle y joue le CEA ?

**StS** : En effet, dans le cadre du programme France 2030, l'État a souhaité lancer un appel à projets (AAP) « réacteurs nucléaires innovants » en s'adressant notamment à des



Simulation de la déformation de la matrice de combustibles sphériques micro-encapsulés pour des réacteurs de type AMR-MMR.

acteurs émergents qui ont l'ambition de créer un nouvel écosystème de start-up nucléaires, en complément des acteurs traditionnels du secteur. France 2030 a d'emblée demandé au CEA d'accompagner les start-up candidates à l'AAP, si elles le souhaitent, pour accélérer leur maturation.

Les start-up dans le nucléaire, c'est totalement nouveau en France, et c'est enthousiasmant !

Nous avons rencontré une dizaine de candidats et start-up dans les domaines de la fission et de la fusion. Nous les avons challengés sur la réalité technologique de leurs propositions, la temporalité annoncée et leurs besoins techniques. Il était important aussi de les amener dans une acculturation du monde nucléaire, par exemple sur les enjeux de sûreté et le niveau d'exigence attendu dans ce domaine, ainsi que sur le cycle du combustible nucléaire. Ceci pour aider les porteurs à rédiger et présenter des dossiers de haute qualité lors de la phase de sélection de l'AAP.

Pendant les deux années qui viennent, le CEA fournira autant que possible toute son expertise scientifique et technique aux start-up lauréates pour les conduire à un niveau pré-APS (avant-projet sommaire) : aide à la conception, mise à disposition de données expérimentales et de codes de calculs qu'il faudra adapter aux concepts étudiés.

1 : SMR : small modular reactor - AMR : advanced modular reactor - MMR : micro modular reactor

**La CAIA : Votre périmètre d'action porte également sur la flexibilité et le stockage (batteries, hydrogène) et le couplage des énergies au sein d'un réseau électrique. Peut-on s'attendre à des avancées majeures d'ici 20 ans ?**

**StS :** Concernant les batteries, qui s'adressent à un stockage journalier, le CEA et le CNRS se sont associés dans le cadre d'un PEPR (Programme et équipements prioritaires de recherche) pour fédérer la communauté scientifique en vue de soutenir l'innovation en matière de batteries. Les priorités portent sur le développement des batteries futures, l'approvisionnement et le développement de matériaux nécessaires à leur fabrication, et la gestion de leur fin de vie par reconditionnement ou recyclage. Trois axes majeurs guident nos actions : les chimies innovantes (technologie tout solide, chimie post Li-ion), les systèmes de gestion de batteries innovants adaptés à ces nouvelles chimies, et le développement de nouveaux outils de caractérisation et de simulation pour mener ces recherches.

« LA FRANCE  
ET L'EUROPE ...  
POSSÈDENT UNE  
« MINE CACHÉE » »

Concernant l'hydrogène, qui répond à des besoins de stockage saisonnier, le CEA intervient sur toute la chaîne de la valeur : sa production par électrolyse haute température, son stockage dans des réservoirs haute pression (de 300 à 700 bars), son transport (gestion de la fragilisation des métaux), la prise en compte des problèmes de sûreté associés, la conversion d'hydrogène en électricité (pile à combustible). La première priorité est de

développer et d'industrialiser l'électrolyse haute température, compte tenu des besoins énormes attendus pour la mobilité lourde (transports routier, aérien et maritime), où le recours à l'hydrogène en très grandes quantités et aux carburants de synthèse devrait s'avérer indispensable.

**La CAIA : Vous mettez en avant le besoin incontournable de sobriété pour atteindre l'objectif « Net zéro » en 2050 ainsi que le rôle clé de l'économie circulaire. Comment le CEA y contribue-t-il ?**

**StS :** La transition énergétique se fera sur la base d'un mix énergétique bas carbone nécessitant des besoins croissants en matières premières critiques, ce qui conduit à déplacer l'enjeu énergétique des énergies fossiles vers celui des matériaux. Plus particulièrement, l'effet cumulé de l'électrification massive et de l'intensité matière requise par les nouvelles technologies de l'énergie, sur un éventail d'éléments chimiques élargi, génère des tensions matières multisectorielles.

La France et l'Europe ne disposent pas ou peu de ressources minières, mais possèdent une «mine cachée» : d'abondantes quantités de métaux contenus dans les déchets miniers et industriels, mais aussi dans les produits en fin de vie qui s'accumulent dans nos décharges ou sites de stockage. La récupération pour valorisation de ces déchets locaux est une démarche d'économie circulaire qui peut contribuer à répondre aux enjeux d'approvisionnement des matières en développant de nouvelles filières industrielles sur toute la chaîne de valeur (minerais, matières, composants et systèmes).

Les filières industrielles doivent aussi être repensées pour évoluer d'une stratégie guidée par le produit en fin de vie à recycler, à une stratégie guidée par le produit à fabriquer

en identifiant les matières d'intérêt disponibles dans les déchets afin d'alimenter une industrie relocalisée et ainsi renforcer les filières industrielles actuelles.

Le CEA s'inscrit depuis 60 ans dans cette dynamique au profit de l'industrie nucléaire. Il a décidé en 2020 de transférer cette expertise en économie circulaire à l'ensemble des problématiques rencontrées sur les énergies bas carbone, ceci en s'appuyant sur son Institut des sciences et technologies pour une économie circulaire des énergies bas carbone (ISEC), implanté sur son centre de Marcoule. La mission de cet institut consiste à élaborer et mettre en œuvre une approche intégrée de l'économie circulaire en fédérant l'ensemble des équipes concernées du CEA et en prenant en compte l'intégralité du cycle de vie de ces matières. Des actions autour du recyclage des batteries, des panneaux photovoltaïques ou bien des aimants des éoliennes se déroulent actuellement sur la base de partenariats industriels concrets.

**La CAIA : En tant qu'ingénieur passionné par les énergies et personnalité engagée dans la transition écologique en cours, quels messages essentiels voulez-vous nous délivrer à titre personnel ?**

**StS :** L'énergie est au cœur de notre vie et c'est ce qui rend ce domaine passionnant. Notre évolution, depuis qu'homo sapiens a réalisé sa révolution cognitive il y a 70 000 ans environ, est consubstantielle à la maîtrise de l'énergie, depuis le feu jusqu'à la fusion nucléaire. Mais tout cela n'est pas sans conséquences pour notre planète, aussi nous sommes au stade de notre évolution où il va falloir songer à dé-consommer de l'énergie, c'est-à-dire consommer l'énergie juste nécessaire en prélevant moins de matières premières et en rejetant moins de déchets. ☺





Nos 20 000 collaborateurs se mobilisent chaque jour pour décarboner vos territoires, en **développant les énergies renouvelables et de récupération**<sup>1</sup>.

Ce sont ainsi 4 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> qui sont évitées chaque année<sup>2</sup>.

Découvrez nos solutions sur notre site éco-conçu<sup>3</sup> [dalkia.fr](https://www.dalkia.fr)

Pour décarboner vos territoires, nous travaillons aussi avec la nature.



<sup>1</sup> Bois-énergie, thalassothermie, géothermie, etc.  
En savoir plus : [www.dalkia.fr/solutions/](https://www.dalkia.fr/solutions/)

<sup>2</sup> Source : EDF - Document d'enregistrement universel 2022, page 85, [www.edf.fr/urd2022](https://www.edf.fr/urd2022)

<sup>3</sup> [www.dalkia.fr/sitewebeco/](https://www.dalkia.fr/sitewebeco/)

L'énergie est notre avenir, économisons-la !





# LA PRODUCTION EN FRANCE D'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ, C'EST BIENTÔT UNE RÉALITÉ

INTERVIEW DE FLORENCE LAMBERT,  
CEO DE GENVIA

Propos recueillis par Dominique Monvoisin, IGA

Florence Lambert a effectué un parcours de 22 ans au CEA, notamment à la tête du CEA-LITEN, deuxième centre de recherche européen entièrement dédié à la transition énergétique. Elle dirige l'entreprise Genvia depuis sa création, en mars 2021. Elle est membre de l'Académie des Technologies et Ambassadrice France 2030.

L'objectif de Genvia est d'industrialiser rapidement la fabrication d'électrolyseurs haute température (HT) pour produire en masse de l'hydrogène décarboné, une première en France : un défi technologique, industriel et humain, qui s'inscrit dans le cadre des objectifs gouvernementaux de décarbonation et de réindustrialisation des territoires.

**La CAIA : Vous présentez Genvia comme un modèle unique de partenariat public-privé. Pouvez-vous nous en dire plus ?**

**Florence Lambert :** La société Genvia est en effet née au travers d'un modèle unique de partenariat, qui associe les savoir-faire et expertises de ses deux actionnaires majoritaires, le CEA via CEA investissement et SLB (ex-Schlumberger), à ceux de VINCI Construction, Vicat et de l'Agence Régionale des Investissements Stratégiques Occitanie. En complément des équipes de recherche du CEA, SLB apporte une expertise d'ingénierie système et de production incontournable qui nous permet de raccourcir la durée d'industrialisation de notre technologie d'électrolyseur HT. Vinci Construction et Vicat, sont, quant à eux, en recherche de nouvelles solutions de décarbonation, tandis que la Région Occitanie veut être la première région à énergie positive d'Europe. Genvia a pour objectif d'accélérer le développement de la technologie d'électrolyseur HT à oxyde solide du CEA, basée sur 40 brevets initiaux déposés par cet organisme et autant en préparation. L'hydrogène

décarboné produit à partir d'électricité bas carbone issue du réseau électrique, de champs solaires ou éoliens, sera utilisable par les industriels de secteurs-clés (acier, ciment et chimie) mais pourra aussi permettre la production de futurs carburants de synthèse.

**La CAIA : En quoi consiste la technologie Genvia d'électrolyseurs HT ? Quels sont ses avantages différenciants par rapport à des technologies concurrentes ?**

**FL :** La technologie Genvia d'électrolyseur à haute performance fonctionne avec de l'eau vaporisée et répond à un enjeu d'efficacité globale. Cette technologie permet en effet un rendement supplémentaire de 15% par rapport aux autres technologies d'électrolyse (alcaline, PEM – Proton Exchange Membrane) qui peut être porté à 30 % par couplage avec des sources de chaleur fatales émises par les process industriels. Elle constitue une solution incontournable pour la décarbonation de l'industrie qui utilise de l'hydrogène produit aujourd'hui par vaporeformage de méthane, procédé qui émet 10 kg de CO<sub>2</sub> par kg d'hydrogène produit.



Electrolyseur à oxyde solide haute température  
- Crédit photo Genvia

Au-delà de la seule production d'hydrogène, Genvia vise d'autres applications où l'hydrogène peut être utilisé en substitution du méthane dans les fours industriels, sachant que l'oxygène produit simultanément permet de générer une oxycombustion, ce qui a un effet accélérateur. Il peut également être combiné avec du CO<sub>2</sub> ultime, qui est alors valorisé en carburant de synthèse, pour répondre notamment aux besoins de l'aviation.

**La CAIA : Quel est votre calendrier directeur de montée en maturité technologique ?**

**FL :** Nous respectons notre feuille de route, avec une ligne pilote de fabrication d'électrolyseurs haute température inaugurée au printemps dernier à Béziers, première étape vers la construction de notre

factory qui deviendra gigafactory, au rythme du marché. En parallèle, les équipes design et ingénierie ont développé le premier démonstrateur qui sera installé et testé d'ici la fin de l'année sur les sites Genvia de Béziers puis de Grenoble, avant qu'un démonstrateur en conditions réelles soit installé sur le site lozérien d'ArcelorMittal en 2025 ! A partir de 2026, nous projetons une phase de croissance industrielle forte dont l'évolution sera en cohérence avec la maturité du marché cadencé lui-même par la capacité de nos futurs clients à se décarboner.

Nous n'identifions plus de verrou technologique et nous développons un jumeau numérique de notre outil de production, ce qui nous permet d'optimiser simultanément le produit et le process, et ainsi de maîtriser notre calendrier. Nous disposons de 2 ans pour prouver que notre produit va atteindre sa cible économique.

**La CAIA : L'électrolyse HT peut-elle accompagner le développement des sources d'énergie bas carbone, voire contribuer à la flexibilité des réseaux électriques ?**

**FL :** L'hydrogène constitue un vecteur énergétique déterminant, en termes de stockage et de transport, pour le développement des énergies renouvelables qui sont par nature intermittentes à l'image de l'éolien et du photovoltaïque. L'électrolyse HT, compte tenu de son rendement et de sa capacité à permettre des couplages énergétiques variés, sera une des technologies d'électrolyse majeures répondant aux besoins de flexibilité des réseaux. Le nucléaire peut fournir une source de chaleur et d'électricité stable et continue, permettant aux électrolyseurs HT de fonctionner dans leur zone de meilleur rendement à un prix compétitif.

**La CAIA : Comment voyez-vous le déploiement de l'hydrogène décarboné sur le territoire national ?**

**FL :** La France s'est dotée dès 2018 d'une stratégie hydrogène avec 9 Md€ mobilisés pour un objectif de 6,5 GW de production sur le sol national d'ici 2030. Les projections dépassent aujourd'hui le million de tonnes d'hydrogène par an en 2030 et plus de 50 000 créations d'emplois sont attendues<sup>1</sup> sur l'ensemble de la chaîne de valeur (technologies, production, stockage, transport). Nos industries essentielles se transformeront, se regrouperont, pour combiner la production d'hydrogène avec probablement des réacteurs nucléaires de type SMR à proximité. Ces hubs seront de véritables traits d'union entre industrie, énergie et mobilité dans le paysage énergétique français et européen.

**La CAIA : Quels défis industriels et humains vous attendez-vous à relever ?**

**FL :** La montée en puissance de la filière hydrogène sera globale ou ne sera pas. Les premiers projets de gigafactory seront conditionnés par l'émergence et la mise à l'échelle de tout un écosystème d'acteurs sur l'ensemble de la chaîne de valeur. C'est tout l'enjeu de la stratégie nationale hydrogène et du programme France 2030, qui structurent actuellement et coordonnent les acteurs dans une logique de « Concurrent Engineering » pour dérisquer et accélérer le déploiement des solutions. Il en va de même au sein de Genvia où nous développons en simultané les différents éléments de notre système électrolyseur. Enfin l'enjeu est aussi humain. Nous recrutons tous les mois de nouveaux talents avec le défi de redonner de l'attractivité aux métiers de l'ingénierie mécanique et de la



Ligne pilote sur le site de Béziers - Crédits photo Genvia

production qui attirent de moins en moins les nouvelles générations mais qui sont pourtant indispensables au déploiement des nouvelles énergies.

**La CAIA : Votre parcours professionnel est impressionnant et inspirant pour de nombreux jeunes. Quelles sont les valeurs qui animent vos actions ?**

**FL :** Ma passion pour l'énergie et la technologie vient de la visite d'une centrale hydroélectrique en Tarentaise alors que j'étais en collège à Grenoble et qui m'a absolument fascinée. En 1996, mon doctorat a porté sur un sujet de thèse financé par l'ADEME, le premier en France et au CEA, sur le stockage des énergies renouvelables. Depuis cette époque, j'ai continué à creuser le sillon des énergies renouvelables avec le regard tourné vers l'impact de l'énergie sur les populations. Toute ma carrière a été influencée par le sens de mes actions, par les valeurs auxquelles je suis toujours restée attachée et par mes racines. Le trait d'union de toutes mes expériences est d'abord l'humilité puis surtout la fierté de faire s'élever les équipes qui m'entourent. Mon management est profondément ancré autour de la transparence, de la proximité et de la sincérité, avec l'objectif de donner envie à mes collaborateurs et de les embarquer sur des projets novateurs. En soi, il n'est pas révolutionnaire, mais jusqu'ici il a fait ses preuves, et c'est ma meilleure recette ! ☺

1 : <https://www.economie.gouv.fr/industrie-nouvelle-strategie-hydrogene-pour-la-france>

# PILOTAGE ET V2G

Par Claude Renard, ICA

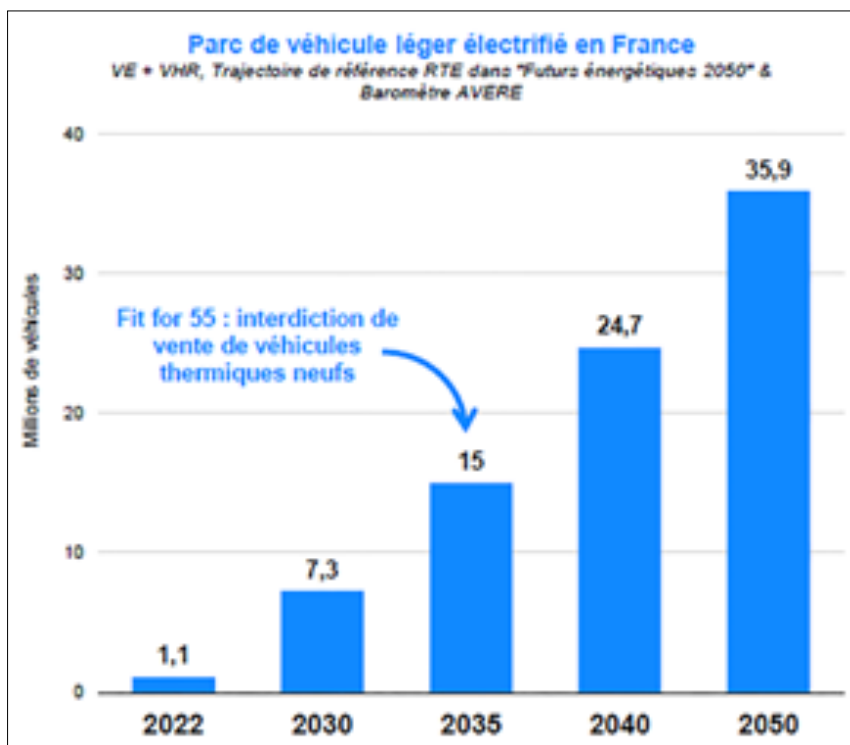
« Combien faudra-t-il construire de centrales nucléaires pour recharger toutes les voitures électriques ? » ou « pourra-t-on se recharger en hiver quand nous aurons tous des voitures électriques, alors même qu'on nous demande déjà de baisser le chauffage et de faire preuve de sobriété énergétique ? ». Combien de fois n'ai-je pas entendu ces questions... de la part de détracteurs à la « watture » mais aussi de ceux qui veulent se rassurer car ils ont quand même un petit doute.

Pour répondre au développement massif du véhicule électrique dans les années à venir, il sera nécessaire de disposer d'une quantité d'énergie électrique importante en substitution aux énergies fossiles mais aussi de répondre au principal enjeu de la gestion de la pointe de consommation par rapport aux capacités de production.

**Comment la recharge intelligente ou smart charging pourra non seulement répondre aux enjeux énergétiques mais en plus pourrait permettre à ce que l'électromobilité apporte un bénéfice globalement positif sur le système électrique ?**

Premier point et non des moindres, le passage total à la mobilité électrique se fera sur un temps relativement long en raison premièrement de la durée de vie des véhicules : même si aujourd'hui en France près d'un quart des voitures particulières immatriculées sont électriques (17% de VE pures électriques et 7% d'hybrides rechargeable) nous sommes toujours à environ 2% du parc roulant qui est électrifié (VE (Véhicule électrique) et VHR (véhicule hybride rechargeable)). Les particuliers achètent majoritairement des véhicules d'occasion (première main ou seconde ou au-delà) ainsi nous aurons une montée progressive, rapide toutefois, des besoins électriques pour la mobilité routière.

Entre 2019 et 2050, RTE, dans son rapport « Futurs énergétiques 2050 » envisage une évolution de



la consommation annuelle d'électricité en France de 475 TWh dont une consommation marginale pour les véhicules électriques à 564 TWh hors VE et 81 TWh pour les VE. Leur consommation pourrait ainsi représenter près de 15% de la consommation électrique totale, elle-même en forte croissance en raison d'objectifs de diminution importante des énergies fossiles telles que le fioul ou le gaz remplacés progressivement par des pompes à chaleur pour les besoins de chauffage. A noter que les mesures de sobriété ou d'efficacité énergétiques bien qu'absolument nécessaires ne seront pas suffisantes dans l'équilibre du système électrique. Pour répondre à la croissance des besoins d'énergie, il est prévu des investis-

sements massifs dans de nouvelles capacités de production : nucléaire à long terme, ENR (énergie renouvelable) à court et moyen terme : photovoltaïque, éolien terrestre, éolien en mer... avec un inconvénient majeur puisqu'il s'agit de sources d'énergie intermittentes et non pilotables.

Actuellement, le maximum annuel de puissance appelée pour la consommation française est compris entre 80 et 90 GW, atteint en hiver, il pourrait théoriquement augmenter de 23 à 32 GW en raison des recharges de 36 millions de véhicules électriques. L'augmentation de la puissance appelée à la pointe est donc extrêmement significative, et nécessiterait l'installation de



**Zoom sur le projet aVEnir** financé par l'État dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir et opéré par l'ADEME, porté depuis 2019 par un consortium de treize acteurs de la mobilité électrique d'origine diverse : gestionnaire du réseau de distribution d'électricité, agrégateurs, opérateurs de bornes de recharge, constructeurs automobile, fournisseurs de service de mobilité, ...

Programme ambitieux d'études et d'analyses de solutions de pilotage intelligent de la recharge de VE. Le consortium a clôturé le projet le 26 juin 2023, fort d'avancées techniques majeures sur différents cas d'usage :

- 1/ Modulation de la puissance et décalage temporel de la recharge via un signal réseau transmis aux opérateurs de bornes
- 2/ Le V2G testé à une maille locale du réseau – Injecter de l'électricité stockée dans les voitures selon une consigne transmise par le réseau
- 3/ Modulation de la recharge en faisant appel à un agrégateur de flexibilité
- 4/ Synchronisation à la maille locale de la recharge de VE avec la production photovoltaïque
- 5/ Fournir des hypothèses pour optimiser la puissance de raccordement en aval du point de livraison par une connaissance du comportement de recharge des utilisateurs et des solutions de pilotage
- 6/ Disposer d'une vision d'ensemble des recharges des VE et développer un modèle prévisionnel de la recharge des VE

[www.enedis.fr/sites/default/files/documents/pdf/cp-enedis-projet-avenir-en-2030-les-francais-piloteront-la-recharge-de-leur-vehicule-electrique.pdf](http://www.enedis.fr/sites/default/files/documents/pdf/cp-enedis-projet-avenir-en-2030-les-francais-piloteront-la-recharge-de-leur-vehicule-electrique.pdf)

nouvelles capacités de productions de pointe aujourd'hui principalement assurées par des centrales gaz. D'où l'importance d'optimiser le moment et la puissance des recharges.

**Pour l'équilibre du système électrique, il est nécessaire de passer d'un pilotage de production (centrale gaz thermique de pointe) à un pilotage de consommation (stockage dans les batteries des VE)**

La recharge naturelle, qui commence dès que l'on branche le véhicule, est donc à éviter à minima au profit de la « recharge tarifaire », facile à mettre en place à domicile sur le signal HC/HP (heures creuses/heures pleines), et qui commence à se faire pour les bornes ouvertes au public avec des tarifications différenciées jour/nuit. A un niveau supérieur, il est possible d'avoir un pilotage dynamique (V1G) selon divers critères tels que les autres usages du foyer pour garantir une limitation de la puissance totale appelée, ou la production d'ENR locale. L'impact est très positif car en plus d'éviter les pointes, il permet de réduire les écrêtements ENR. Dès 2030, on estime à 4 GW le potentiel de limitation d'appel de puissance

à la pointe soit 2 fois plus que pour les ballons d'eau chaude. Enfin, la solution d'avenir consiste au V2G (vehicule to grid) et la capacité du VE de restituer l'énergie stocké dans la batterie au réseau électrique. Même utilisé avec quelques pourcents de VE (sur plusieurs millions, les capacités de stockages sont très importantes), il est possible de réduire fortement les pointes et d'augmenter les marges du système électrique.

**On changera de fournisseur d'énergie chez le concessionnaire automobile**

L'exploitation du V2G nécessite, outre un véhicule et une borne compatible, une contractualisation avec un opérateur en capacité de valoriser l'énergie qu'il prend au VE. Des constructeurs vont ainsi prochainement proposer avec la vente d'une voiture électrique, l'installation d'une borne bidirectionnelle et un contrat avec un fournisseur d'électricité compatible.

Le VE n'est plus juste un consommateur d'énergie mais, puisque stationné près de 90% du temps, représente une capacité d'équilibrage du système électrique permettant une diminution des capacités de production de pointe, réduisant mé-

caniquement les investissements et le coût de l'électricité pour tous les consommateurs (en effet, la production de pointe est marginalement beaucoup plus chère que la production de fond, mais son coût est réparti entre tous les usagers). A cette réduction générale s'ajoutent les gains individuels d'une recharge au meilleur tarif et à la valorisation du service rendu au système électrique.

Ainsi, la nécessité de limiter au maximum la taille des batteries des VE en raison de mesure d'efficience de consommation due au poids ou de limitation de la ressource en matière première, pourrait être modulée à l'avenir avec le développement du V2G où la voiture ne sera plus un moyen de mobilité mais une source de stockage d'électricité renouvelable avec des roues... ☺



**Claude Renard,**  
ICA - IGPEF

Coordonnateur IRVE et ZFE (Infrastructures de recharge pour véhicules électriques et zones à faible émission) à la Direction générale énergie et climat

# ESSAIS EN VOL À L'HEURE DE L'AVIATION VERTE

Par Camille Souchet, IA, Dimitri Drobysz, LcL et Damien Brenot, ICA

L'aéronautique fait face à un enjeu majeur de résilience et de souveraineté énergétique. Les concepts ne manquent pas pour assurer cette transition : hydrogène, solaire, biocarburant, électricité, etc. Parmi ceux-ci, l'aviation décarbonée progresse rapidement et DGA EV contribue à cet envol.



Premier vol d'un NH90 avec du SAF

En apparence, l'aviation décarbonée semble au stade de balbutiement, *a fortiori* pour l'aviation militaire. Ce serait oublier que derrière cette façade se cache la naissance d'un « écosystème » complet pour permettre aux aéronefs de demain de continuer de voler. Est-il une meilleure place que celle des essais en vol pour prendre la mesure de cette émergence ? Dans le processus de développement d'un aéronef, les essais en vol sont la première occasion de confronter un concept à la réalité du terrain avec toutes les contraintes humaines, logistiques et opérationnelles qu'elle peut soulever. On peut cependant s'interroger sur l'intérêt opérationnel de l'aviation militaire à suivre cette transition énergétique. Il est triple. Il s'agit en premier lieu d'anticiper le jour où ces technologies seront assez mûres et deviendront incontournables pour apporter un avantage aux forces. Par ailleurs, l'aviation militaire jouit de plus en

plus des avancées de son homologue civile. Accompagner la transition énergétique de l'aviation civile, c'est l'assurance de pouvoir continuer à utiliser certaines technologies duales à bord de nos aéronefs. Enfin l'aviation verte peut s'accompagner d'avantages opérationnels qu'il est nécessaire d'identifier au plus vite, telle la potentielle diminution de la signature infrarouge d'un aéronef. Fort de ce constat, deux nouvelles sources d'énergie propulsives ont déjà été testées au sein de DGA Essais en Vol.

Ces essais s'inscrivent dans le cadre de la stratégie énergétique de défense et de la stratégie « Climat & Défense » du ministère des Armées, pour consommer moins, mieux et sûr. Ils permettent de préparer l'avenir, avec l'évolution vers des équipements militaires plus économes et indépendants des énergies fossiles.

## Voler avec de l'huile de friture

Dans la presse, l'aviation commerciale fait les grandes lignes avec l'utilisation de SAF (*Sustainable Aviation Fuel*). Derrière ce terme générique se cache une multitude de carburants différents qui ont pour unique point commun de se substituer au JET A1 qui alimente à l'heure actuelle les réacteurs et de contenir une part importante de carburant d'origine renouvelable. Ce type de carburant (ou plutôt mélange de carburants) deviendra progressivement la norme pour les aéronefs civils *a minima*. Pour suivre cette évolution, des essais en vol sur un hélicoptère NH90 ont été réalisés avec du SAF. Le carburant était produit par Total Energie à partir d'huile de friture usagée. Il contenait également quelques pourcents d'additifs fossiles, cela dans le but de ne pas avoir à faire de modification du moteur de l'hélicoptère. Ce type d'essai avec un carburant dit « drop-in » permet de s'assurer de la compatibilité des matériels actuels avec les nouveaux carburants. Après des essais sur banc chez Safran Helicopter Engines à Bordes, le bon fonctionnement au sol et en vol d'un des moteurs du NH90 avec ce carburant prototype a été vérifié début 2023 à Istres lors d'une campagne d'essais en vol. Nous avons également mesuré les écarts de performance et de signature infrarouge par rapport à un carburant de type JET A1. Plus que ces différences techniques, ces essais nous ont également permis de prendre la mesure des enjeux



Le Velis Electro, de Pipistrel, est le premier avion électrique certifié par l'EASA

logistiques qu'implique l'utilisation de SAF : production d'un carburant quasi sur-mesure, chaîne d'approvisionnement et d'avitaillement différente du JET A1, recyclage des déchets post-essais. Ces essais en vol constituaient le premier vol d'un hélicoptère militaire avec du SAF et contribuent au développement de l'expertise du centre dans ce domaine clef.

### **Voler avec des électrons**

La décarbonation de l'aviation conduit l'industrie à explorer et à développer les modes de propulsion électriques et hybrides. Les projets d'aéronefs se multiplient, les prototypes volent et les commandes ou intentions d'achat se confirment. Le salon du Bourget 2023 atteste de cette forte dynamique.

Dans ce contexte, il était impératif que l'Ecole des essais en vol se saisisse du sujet afin de sensibiliser les futurs équipages aux problématiques spécifiques que ne manque pas de poser l'aviation électrique. La promotion 2022-2023 Gilbert Defer a ainsi étrenné la première pratique essai « avion électrique » sur le Velis Electro.

L'appareil, de la gamme *Light Sport Aircraft* (LSA), est le premier aéronef électrique certifié par l'EASA. Il s'agissait pour les cadres et stagiaires de l'EPNER d'appréhender les problématiques d'autonomie, de gestion de puissance, de performances et d'interface liés à la présence de deux batteries (réserve d'énergie) dont la masse est constante au cours d'un vol, et d'un moteur dont la puissance ne varie pas en fonction de l'altitude. Comment donc traduire la traditionnelle sécurité carburant dans le domaine des électrons ? Comment traduire et comprendre la base de certification *LSA thermique* pour un moteur électrique ?

**« UNE RÉSERVE  
D'ÉNERGIE DE MASSE  
CONSTANTE, ET UN  
MOTEUR DONT LA  
PUISSANCE NE VARIE  
PAS AVEC L'ALTITUDE »**

Au-delà des aspects purement liés au vol du Vélic Electro, l'arrivée de batteries lithium-ion dans des hangars hébergeant des Mirage 2000, des Rafale ou un Fokker 100 a

soulevé un lot de questions liées à la protection des biens et des personnes, stimulant ainsi la réflexion de manière créative de tous les acteurs du site d'Istres de DGA Essais en Vol : moyens aériens, pompiers, contrôleurs.

De l'avis de tous, cette première fut une réussite et les résultats nombreux : l'aviation électrique va nous demander de repenser nos modes de planification (altitude de croisière optimale) et de conduite du vol (pré affichage de puissance et non de régimes moteur). Certains effets aéromécaniques sont parfois amplifiés (couple) et la gestion « des gaz » demande un doigté différent. Enfin, si les interfaces équipage-système répondent aux exigences de certification, des améliorations significatives pourront être envisagées afin de rendre plus sereine la conduite de la machine : la remise de gaz avec une autonomie restante de 9 minutes est toujours un peu émouvante...

L'expérience va donc être reconduite sans nul doute et l'EPNER continuera de suivre les avancées en matière de propulsion hybride afin de préparer au mieux les équipages d'aujourd'hui aux essais et aux enjeux aéronautiques de demain.

Carburants alternatifs, propulsion électrique ou hybride, et bientôt formules aérodynamiques innovantes : le spectre d'une aviation plus verte est large. Pour répondre à ses missions d'expertise, de veille technologique et dans son esprit d'avant-garde, DGA EV s'est pleinement saisi du sujet au travers de jalons marquants en 2022-2023 : Vol SAF sur NH90 et Pratique essai Avion électrique. Ces réalisations dépassent la simple prise en compte technique des avancées en matière de propulsions alternatives : elles permettent de cultiver l'esprit d'innovation et de donner une forte impulsion à la décarbonation de l'aviation. ☺



# PRODUIRE UN KÉROSÈNE DURABLE ?

RECENSION DU RAPPORT DE DANIEL IRACANE DANS LE CADRE DE L'ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES

Par Frédéric Tatout, ICA

La possibilité de voyager en avion dans l'économie décarbonée de demain suscite des controverses parfois enflammées. Elles ne doivent pas nous faire oublier l'essentiel, à savoir que la réponse à cette question doit être préparée sans plus tarder sous peine de voir émerger un scénario en forme d'impérite collective.



Une étude réalisée par notre camarade Daniel Iracane au sein de l'Académie des Technologies, présente un tableau précis du carburant durable, maillon clé de cette transition. En effet, pour le long et moyen-courrier, le tout-électrique n'est pas à l'ordre du jour et l'hydrogène restera minoritaire au moins jusqu'en 2050. Il faut donc envisager d'autres pistes, dans l'intervalle, permettant d'utiliser les infrastructures et les avions existants, comme le recyclage, le raffinage de biomasse ou la synthèse de kérosène à partir d'hydrogène obtenu par électrolyse. Ceci est préconisé dans le futur paquet législatif de transition pour le transport.

Les besoins en carburants verts sont estimés à 6 Mt pour la France (30 Mt pour l'Europe) à horizon 2050, ce qui donne la mesure du défi.

La biomasse séduit mais n'est pas la

panacée. Des limitations existent, liées notamment à un encadrement européen soucieux de pertinence environnementale et du respect des besoins agricoles. Des incertitudes pèsent sur les coûts de collecte, la résilience des forêts et leur capacité de captage de CO<sub>2</sub>. Il faut donc estimer avec prudence la quantité disponible. Elle devra faire l'objet d'un engagement collectif pour sécuriser les investissements nécessaires à l'industrialisation de procédés de production performants. La biomasse seule ne suffisant pas, un supplément de production électrique sera requis pour produire des e-fuels et augmenter peu à peu la part d'hydrogène dans l'aviation.

Le succès d'une filière de kérosène durable suppose donc de sécuriser la quantité de biomasse disponible, l'augmentation (conséquence) d'électricité disponible et l'industrialisation des procédés d'obtention, qui doit être engagée sans délai car elle est sur le chemin critique des objectifs 2050.

La production d'1 Mt de kérosène de synthèse nécessitera environ 37 TWh d'électricité pour actionner les électrolyseurs et capturer le CO<sub>2</sub>, sous réserve d'émergence d'un procédé suffisamment performant ; soit un peu plus que 4 gros réacteurs nucléaires. Le rapport examine la surproduction épisodique des ENR au regard de la flexibilité des électrolyseurs, et les conséquences sur l'arbitrage des flux électriques. Pour établir un schéma industriel crédible, il faut décortiquer au

préalable les multiples procédés d'obtention du « SAF » (Sustainable Aviation Fuel), acronyme bien commode regroupant de multiples approches), préciser les maturités et perspectives d'évolution, les éléments de viabilité économique, et sonder les incertitudes. Tout cela est analysé pas à pas, à bonne profondeur.

Précis et rigoureux, le raisonnement est assemblé comme une horloge ou une démonstration de physique (Daniel a œuvré principalement dans ce domaine au CEA). En fin de compte, la viabilité économique, conjuguée aux contraintes environnementales, suppose une électricité à peine plus décarbonée qu'en France aujourd'hui, ce qui nous épargnera un dilemme auquel peu de nos voisins échapperont : achever au préalable la transition vers une électricité décarbonée, ou importer massivement des carburants verts ou de la biomasse, au bilan environnemental mitigé. Le coût d'abattement direct du carbone ressort à 300 €/t (meilleur que celui des voitures électriques).

Limpide et imparable, la conclusion pose un message optimiste mais solennel : « **Est-ce possible ? Oui, si on le prépare sans plus tarder, méthodiquement et avec lucidité.** » En plus d'un parcours exigeant, ce rapport constitue donc un exercice nécessaire de pédagogie. En effet, la question concerne toute notre économie, dans un monde où les besoins en électricité seront appelés à doubler. ☺



# L'HYDROGÈNE PEUT-IL SAUVER L'AVIATION ?

## AVANTAGES ET LIMITES DE L'HYDROGÈNE COMME SOURCE D'ÉNERGIE, À BORD DES AÉRONEFS FUTURS

Par Pierre-Alain Lambert

Il est désormais admis que l'efficacité énergétique seule ne permettra pas au secteur du transport aérien d'atteindre son objectif de neutralité carbone d'ici 2050 : l'introduction massive des carburants durables, voire un changement complet de paradigme dans la source d'énergie embarquée est nécessaire. Quel rôle l'hydrogène peut-il y jouer ?

### L'avion à hydrogène, séduisant mais difficile

Utiliser l'hydrogène comme source d'énergie ne produit potentiellement que de l'eau : cela n'est vrai que si son mode d'élaboration est également décarboné. Cela n'est vrai également que si cette production d'eau, trois fois plus abondante qu'avec du kérosène à puissance équivalente, n'entraîne pas trop de traînées de condensation, suspectées de contribuer en grande part à l'impact climatique de l'aviation. Mais les propriétés et la persistance de ces traînées peuvent être très différentes : le développement de modélisations vérifiées par des essais en vol est indispensable pour dresser une étude d'impact indiscutable.

L'hydrogène a un contenu énergétique trois fois supérieur à celui du kérosène par unité de masse, mais il est très peu dense, un handicap pour des applications volantes en raison de la masse des réservoirs (dans le cas d'un stockage gazeux à haute pression) ou de leur volume (dans le cas d'un stockage liquide cryogénique). Alors que le stockage gazeux ne semble donc pouvoir s'envisager au-delà du transport de quelques passagers, le stockage liquide est un défi pour les avions commerciaux, car ces réservoirs fortement isolés thermiquement ne peuvent être installés que dans le fuselage, rendant difficile de



Septembre 2023 : H2Fly réalise le premier vol habité d'un avion à hydrogène liquide

conserver la finesse de la cellule sans réduire le volume de la cabine.

Entre les deux grands paradigmes que sont la combustion dans des moteurs thermiques d'une part et la pile à combustible d'autre part, cette dernière apparaît séduisante car silencieuse et non émettrice d'oxydes d'azote (NOx). Elle est maintenant vue comme une alternative intéressante aux batteries électrochimiques pour la génération ou la propulsion électrique, mais doit encore résolument progresser en matière de compacité, de durée de vie et de coût avant de se poser en concurrent sérieux aux turbomachines pour l'aviation commerciale.

Les travaux de recherche sur la maîtrise de la formation de NOx, défi majeur de la combustion aérobie de l'hydrogène, laissent entrevoir des solutions ; pour autant il reste primordial de maîtriser finement la stabilité de la flamme et juguler la forte

dépendance de l'injection en phase gazeuse à la température et à la pression, facteurs prépondérants dans les moteurs modernes très chauds et fortement comprimés.

Le transport de l'hydrogène du réservoir au moteur est un autre défi, souvent sous-estimé, et dans lequel le retour d'expérience de la propulsion spatiale s'avère précieux : Safran et Airbus y travaillent conjointement. L'hydrogène induit un fort couplage entre le moteur et son système d'alimentation avec de très complexes et énergivores systèmes de pompage et de réchauffage, depuis les réservoirs cryogéniques jusqu'aux conditions compatibles avec l'injection dans le moteur. Cela nécessite le développement de solutions dédiées, compatibles avec les exigences d'opérabilité, de durée de vie et de sécurité du transport aérien. Cela nécessite également une attention particulière à la fragilisation des matériaux par cette molécule de très petite taille.

In fine, un avion civil à hydrogène liquide apparaît plus léger au décollage que son équivalent au kérosène, mais nettement plus lourd à vide en raison de la masse accrue des systèmes de stockage et de conditionnement. Ainsi, pour un même nombre de passagers, la distance franchissable maximale est réduite, rendant les applications long-courrier difficilement envisageables tant que l'on se cantonne aux configurations « tube-and-wings » des avions actuels, optimisées depuis des décennies.

### Le défi de l'écosystème, des opérations et de la sécurité

L'opération d'une flotte d'aéronefs à hydrogène implique une rupture et des investissements massifs dans les infrastructures d'approvisionnement, de stockage et de distribution sur plateforme aéroportuaire. Le ravitaillement en co-activité avec le débarquement et l'embarquement des passagers est un défi majeur, alors que l'expérience spatiale illustre la complexité de cette opération nécessitant assainissements et mise en froid progressive. Le niveau d'exigence de maîtrise des fuites est sans commune mesure avec ceux existants pour le kérosène, et d'un cran supérieur en stockage liquide cryogénique par rapport aux standards développés par les transports terrestres pour le gaz pressurisé. Il ne peut y avoir de régression sur la sécurité au sol et à bord et cela nécessitera un processus de certification dédié : le travail d'anticipation avec les autorités est d'ores et déjà engagé.

L'introduction de l'hydrogène dans l'aviation peut être à la fois un accélérateur et un bénéficiaire de l'évolution de l'ensemble du secteur de l'énergie vers l'adoption massive de cette molécule ; encore faut-il que les quantités fléchées vers le trans-

port aérien soient suffisantes et à un prix soutenable. Les projections récentes<sup>1</sup> montrent que des coûts d'hydrogène bas carbone sous forme liquide de l'ordre de 2 \$/kg pourraient être atteints à l'horizon 2050, rendant cette voie compétitive avec les filières conventionnelles. Ces objectifs nécessiteront l'alignement d'un ensemble de facteurs dépendant de multiples acteurs : coût de l'électricité bas carbone, développement massif et amélioration de l'efficacité de l'électrolyse et des liquéficateurs...

### L'hydrogène, une option de long terme au sein d'un ensemble de solutions

On voit donc possiblement se dessiner une introduction de l'hydrogène dans l'aviation en deux étapes. La première, envisageable avant la fin de la décennie mais cantonnée à des applications de petite taille compatibles avec un stockage gazeux, pourrait bénéficier de synergies avec le secteur des transports terrestres et serait précurseur à une seconde étape d'introduction de l'hydrogène liquide qui nécessitera un effort de préparation technologique, logistique et réglementaire beaucoup plus important. Il est capital de s'y préparer en adressant dès à présent tous les verrous évoqués, mais une introduction massive d'aéronefs à hydrogène dans le transport aérien reste peu probable avant 2050. Une part substantielle de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> devra encore longtemps être portée par l'introduction volontariste de carburants durables substitutifs au kérosène, en particulier sur les segments de marché les plus élevés (moyen et long-courrier).

### Et les applications de défense ?

Les premiers pas dans l'aviation à hydrogène furent militaires, avec le projet d'avion de reconnaissance

supersonique Lockheed CL-400 Suntan, abandonné en 1958 face à ses limitations en distance franchissable et aux difficultés de mise en œuvre opérationnelle, malgré des essais au sol prometteurs. Aujourd'hui, si l'on peut difficilement envisager un avion de combat à hydrogène liquide, les applications duales (transport, hélicoptères) et celles où le stockage gazeux reste possible, comme des drones de petite taille, seraient possibles sous réserve d'envisager une logistique « durcie » propre aux opérations militaires. Pour l'ensemble des autres applications, l'usage de l'hydrogène ne s'entend actuellement qu'en combinaison avec du CO<sub>2</sub> sous forme de « e-fuel » de synthèse dont le développement est fortement soutenu au niveau européen, et qui permet une compatibilité avec les carburants actuels et avec la politique de carburant unique de l'OTAN. En revanche, le champ des véhicules hypersoniques à missions courtes, pilotés ou non, se prête idéalement à l'utilisation de l'hydrogène, par l'ouverture des performances propulsives et de l'optimisation thermique véhicule qu'il offre. Ces nouveaux vecteurs ont l'intérêt d'être potentiellement produits sur le territoire national, répondant aux nécessités d'indépendance énergétique réaffirmés dans la Stratégie Énergétique de Défense de 2020. ☺



**Pierre-Alain Lambert, Safran**

Diplômé de l'École Centrale de Paris et docteur en énergétique, il débute sa carrière chez Snecma en 1992 avant de rejoindre la SEP (aujourd'hui Ariane-Group). Il retourne chez Safran en 2013 à la création du centre de recherches Safran Tech comme directeur du Pôle Énergie & Propulsion, en charge des concepts aéronefs et systèmes énergétiques pour la décarbonation du transport aérien, puis comme directeur des programmes Hydrogène du Groupe.

1 : "H2-powered aviation – Design and economics of green LH2 supply for airports", *Energy Conversion and Management*: X 20 (2023) 100442



Partie 2

# RENOUVEAU DU NUCLÉAIRE



# LA RELANCE DU PARC NUCLÉAIRE

Par **Luc Rémont**, ICA, PDG d'EDF

Après Penly et Gravelines, le Conseil de Politique Nucléaire du 19 juin dernier a retenu Le Bugey comme 3<sup>e</sup> site d'implantation du programme EPR2. Une nouvelle ère débute, sans équivalent depuis plus de 50 ans.



Le Bugey, futur troisième site d'EPR2

## Le futur énergétique en France

Un défi du 21<sup>e</sup> siècle est clairement posé : produire plus d'électricité décarbonée, le plus tôt possible. Le nucléaire y répond, et apporte en outre un atout de souveraineté énergétique et de maintien d'une industrie forte. Pour atteindre la neutralité carbone à horizon 2050, la stratégie retenue prévoit à la fois une diminution de 40 % des consommations d'énergie du pays, une sortie des énergies fossiles, une électrification massive des usages (transports, chauffage, industrie...).

L'électricité devrait alors représenter 55% du mix énergétique Français, contre 25% aujourd'hui. Le choix du nucléaire est un choix politique, industriel et les scénarios sont très clairs. Tous montrent que les meilleurs mix électriques, en termes économiques, environnementaux et industriels, sont fondés à la fois sur un développement des énergies renouvelables et un socle de 40 à 50 GW de nucléaire. Ils sont au moins 15% moins coûteux que sans nucléaire, et avec 4 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh, le nucléaire constitue un apport indispensable pour atteindre la neutralité carbone.

Lors de son discours à Belfort en février 2022, le président de la République a affiché sa volonté de mettre en service les premiers réacteurs EPR2 à l'horizon 2035-2037.

EDF est engagé dans la préparation d'un programme de nouveaux réacteurs nucléaires, six dans un premier temps, potentiellement complétés par huit autres. La première paire d'EPR2 sera construite à Penly (Normandie), en bord de mer. Les procédures nécessaires, dont le Dossier d'Autorisation de Création, sont en cours. L'objectif est de lancer les travaux préparatoires mi-2024. Les deux paires suivantes seront construites à Gravelines (Hauts-de-France), en bord de mer, et au Bugey, en bord de rivière. La mise en service des premiers EPR2 s'effectuerait à compter de 2035-2037 pour la première paire, et au milieu des années 2040 pour les derniers réacteurs. L'extension déjà à l'étude porte sur huit (4x2) réacteurs nucléaires supplémentaires de type EPR2, à proximité de sites nucléaires existants, encore à déterminer, et mis en service entre 2043 et 2050. Ces choix nous engagent jusqu'à la fin du siècle.

## L'EPR2 capitalise sur les forces de l'EPR avec des performances de sûreté, environnementales et de production parmi les plus élevées au monde

Basé sur la technologie de réacteur à eau pressurisée, la plus répandue dans le monde, l'EPR 2 intègre les retours d'expérience des chantiers EPR dans le monde ainsi que du parc de 56 réacteurs en exploitation en France, pour optimiser les coûts et les délais de construction.

Résilient, il prend en compte les enjeux liés au changement climatique. Ce réacteur de « Génération 3 » est issu majoritairement de la

technologie française, certifié et aux performances améliorées, avec un niveau de sûreté parmi les plus élevés au monde. Sa mise en œuvre a d'ailleurs été validée par les autorités de sûreté de quatre pays : la France, la Finlande, la Chine et le Royaume-Uni.

## Ce renouveau du nucléaire ne se limite pas à la France.

L'énergie nucléaire a un rôle très important à jouer dans le mix énergétique européen : des appels d'offres sont en cours en Pologne (pour 4 à 6 EPR) et en République Tchèque, la Slovaquie et les Pays-Bas envisagent de nouveaux programmes. L'Inde s'est engagée dans une transition énergétique et dispose de capacités industrielles importantes. C'est aussi naturellement le cas du Royaume-Uni.

## Demain, les nouvelles générations de réacteurs

Plusieurs nations s'intéressent à un nouveau concept : les « SMR », modulaires et de petite taille, de puissance unitaire inférieure à 300 MW. Initialement destinés à se substituer aux centrales à charbon en Europe, en Afrique ou en Asie, ils pourraient venir s'installer au plus près des utilisateurs. La création de Nuward, filiale à 100 % d'EDF, symbolise la mobilisation de l'Hexagone dans cette filière. Un dossier de demande d'avis sur les options de sûreté du réacteur a été déposé en juillet, ce qui précède une demande d'autorisation des créations auprès de l'ASN. Le premier béton est attendu en 2030, et une mise en service du premier prototype en 2035.



### Une gouvernance repensée et une performance collective

EDF a engagé une réflexion pour structurer et renforcer son organisation pour répondre à ce défi industriel. La préparation de ce programme de réacteurs nucléaires nécessite une gouvernance renouvelée, afin de maîtriser la bonne exécution d'un projet qui compte parmi les plus exigeants au monde. A la suite de la parution du rapport de Jean-Martin Folz sur la construction de l'EPR de Flamanville en 2019, il a été proposé de distinguer, au sein d'EDF, une maîtrise d'ouvrage de la maîtrise d'œuvre des projets. La maîtrise d'ouvrage, dans une logique « business owner », doit notamment contrôler l'avancée industrielle et technique des projets de construction, garantir le respect des coûts, des délais et de la qualité des EPR, et bien sûr sécuriser au niveau européen et avec l'Etat, la validation du cadre juridique et financier de ce programme. Les équipes de maîtrise d'œuvre doivent quant à elles s'inscrire dans une logique de pilotage du projet, de réalisation des études, de la préparation des sites et de la construction des réacteurs. Le groupe EDF s'est également engagé dans un vaste chantier d'excellence opérationnelle. L'objectif est que la performance collective soit au meilleur niveau au moment où s'amorce cette importante montée en charge. Ce travail de fond s'inscrit dans le projet d'entreprise et est étroitement mené avec l'ensemble des acteurs de la filière.

### Des perspectives majeures en termes de souveraineté énergétique et d'emploi

L'industrie nucléaire représente aujourd'hui en France 3 600 entreprises et 220 000 emplois qualifiés et non délocalisables, répartis sur tout le territoire.

A l'horizon 2030, la filière et son écosystème – donneurs d'ordre et partenaires industriels - devrait représenter près de 300.000 personnes, dont la moitié – du fait des départs à

la retraite – reste à embaucher dans les années à venir, dans une grande diversité de métiers : ingénierie, construction, services, fabrication, usine et exploitation.

### Une des clés de la réussite : les compétences

Le défi des compétences concerne l'ensemble de la filière nucléaire française, notamment en termes de recrutement. Anticiper, mobiliser, former... disposer des compétences pour réaliser ce programme en qualité, dans les coûts et les délais, est un des enjeux auquel la filière se prépare.

Une analyse sans concession des difficultés rencontrées sur Flamanville 3 et l'ensemble des projets EPR dans le monde a mis en exergue l'érosion des compétences à laquelle le projet a été confronté. Une érosion qui a concerné tous les acteurs directement ou indirectement impliqués, après plus de 20 ans d'interruption de la construction nucléaire en France. Un salarié sur deux qui travaillera dans le nucléaire en 2030 n'est pas encore aujourd'hui dans la filière. A lui seul, le programme de construction de six réacteurs en France mobilisera jusqu'à 30 000 emplois directs et indirects pendant la phase de construction. Les conditions de réussite portent à la fois sur le développement des ressources, le renforcement de l'efficacité opérationnelle et la capacité des entreprises à mener les projets. Parmi les principaux leviers d'actions à notre disposition : le plan stratégique sur les compétences de l'Université des Métiers du Nucléaire. Cette initiative vise à dynamiser les dispositifs de formation - du CAP au doctorat - du secteur nucléaire, aux échelles régionale, inter-régionale et nationale pour adapter les parcours et l'offre de formation aux besoins, en particulier sur les compétences critiques.

### Le renforcement de la supply chain à l'échelle européenne

Disposer d'une supply chain adaptée aux besoins des différents pro-

jets qui sont devant nous, capables également de porter l'expertise française au-delà de nos frontières, est un enjeu majeur pour leur réussite et la crédibilité de la filière. En donnant une vision partagée des capacités industrielles existantes, les conditions seraient réunies pour mettre en place une véritable supply chain au niveau européen et ce pour l'ensemble des projets nucléaires, en cours et à venir. Cela nécessite une coordination renforcée de tous les acteurs et d'inscrire le « made in France » dans la stratégie du « made in Europe ». A nous – ensemble – de mener à bien les projets, de démontrer notre capacité à délivrer, dans les coûts et les délais impartis. Bien sûr, l'ensemble de ce programme et les opérations actuelles d'EDF doivent trouver un modèle économique soutenable dans la durée. EDF s'engage dans un nouveau cycle d'investissements très lourds, de l'ordre de 25 milliards d'euros par an. Notre courbe d'investissement sera sans précédent dans l'histoire du groupe. Nous arrivons au bout d'un modèle et le nouveau en cours de gestation doit s'inscrire dans la nouvelle organisation du marché européen de l'électricité. Une chose est sûre, EDF est pleinement mobilisé pour contribuer à la réussite d'un enjeu majeur : la relance du nucléaire. ☺



**Luc Rémont, ICA,**  
Président EDF

Après une formation par la recherche il est à la direction du Trésor, puis dans plusieurs cabinets ministériels successifs de l'Economie et des finances. Après un passage dans la Bank of America Meryll Lynch (2007 – 2014), dont il dirige la branche française, il rejoint Schneider Electric comme directeur des opérations France, puis internationales, tout en présidant le Gimelec (groupement des entreprises de la filière électronique). Il est nommé en 2022 président d'EDF

# OBJECTIFS ET ENJEUX DE LA REVUE DE MATURITÉ DU PROGRAMME EPR2

Par Herve Guillou, IGA

Mettant fin à plus de deux décennies de gel des décisions et d'incertitudes sur l'avenir du parc électronucléaire français, le Président de la République a demandé en 2021 à EDF de remettre à l'État une proposition de la filière industrielle pour un programme de construction de trois paires d'EPR2 en France. En février 2022, ce besoin a été confirmé et il est demandé d'étudier l'extension à quatre paires additionnelles, répondant ainsi aux enjeux de neutralité carbone à horizon 2050.

Satisfaire cette ambition représente pour EDF mais aussi pour les administrations concernées et l'ensemble de la filière industrielle Française un défi considérable, tant en termes techniques et financiers qu'en matière de ressources humaines et de mobilisation des compétences de notre pays. Les ingénieurs de l'armement, par leur expérience de la conduite des grands programmes, et forts d'une expérience technique entretenue dans la durée et reconnue dans le nucléaire et les systèmes complexes, sont naturellement appelés à jouer un rôle de premier plan dans cette aventure.

*« ÉVALUER L'ÉTAT DE PRÉPARATION DU PROGRAMME AVANT D'ENGAGER LES PHASES DE DESIGN DÉTAILLÉ ET LE PROCESSUS DE DÉCISION D'INVESTISSEMENT »*

Prenant en compte les recommandations du rapport de Jean-Martin Foltz, une maîtrise d'ouvrage interne a été mise en place et un groupement industriel - le GIFEN - a été créé à l'image du GIFAS/GICAT/GICAN. Ils montent progressivement en puissance et il s'agit

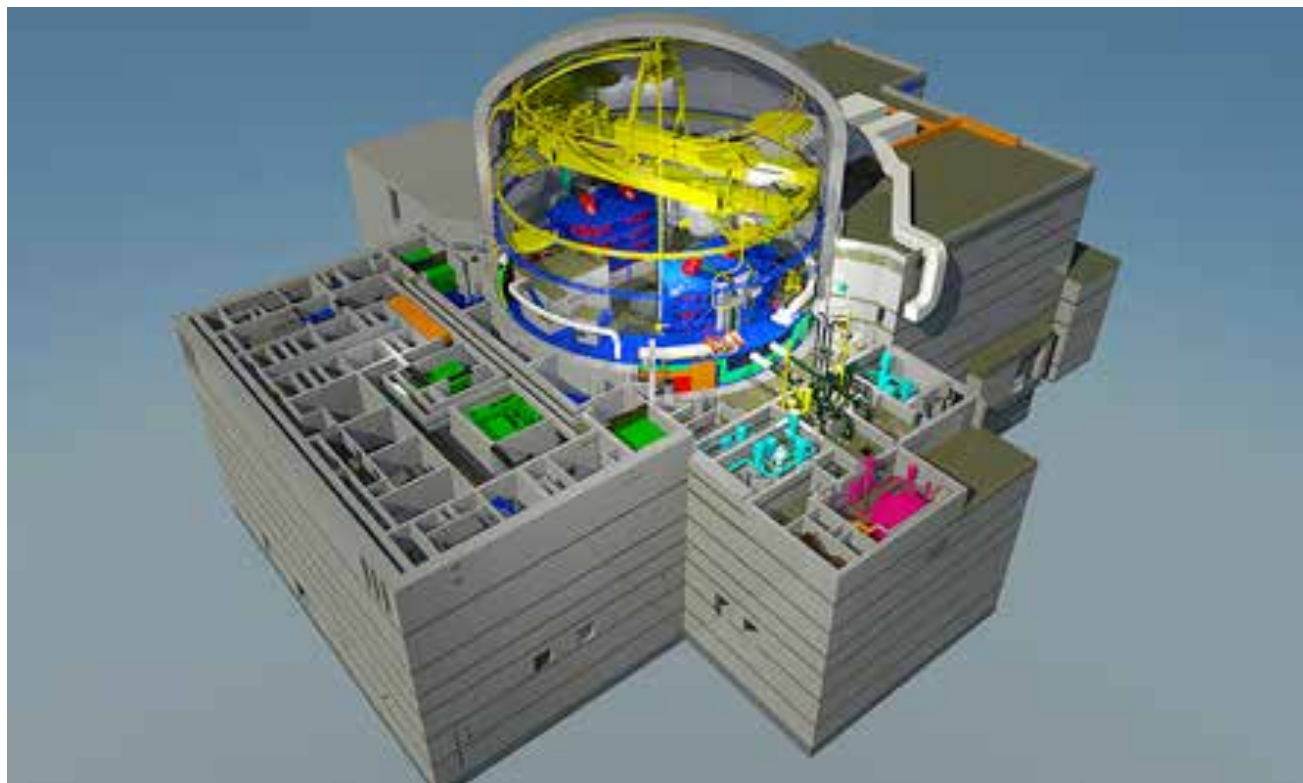
maintenant d'évaluer l'état de préparation du programme avant d'engager les phases de design détaillé et le processus de décision d'investissement. Le Président d'EDF, Luc Rémont, a ainsi décidé en janvier 2023, en accord avec Joel Barre nommé Délégué interministériel au nouveau nucléaire (DINN), de créer un comité de revue indépendant dont ils m'ont confié la présidence avec pour objectif de présenter un rapport à l'automne. Il s'agit :

- D'une part de faire une revue de maturité technique des études préliminaires des six bâtiments principaux de l'îlot nucléaire, de l'îlot conventionnel et de certains bâtiments auxiliaires : juste besoin, stabilité du référentiel technique et réglementaire, traitement des points techniques ouverts, résilience du design aux évolutions du climat, ...
- D'autre part d'évaluer la robustesse de l'organisation de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre, de l'état de préparation des ingénieries internes et externes comme de la supply chain, et de faire un bilan de maturité générale couvrant les aspects transverses : coûts, délais, risques et marges associées, gouvernance, sûreté et sécurité, politique contractuelle et aptitude de l'industrie à monter en compétences et à absorber les volumes, ...

## **Un travail collégial et une approche pluridisciplinaire**

Pour construire une opinion la plus pertinente possible et compte tenu de la variété des sujets à examiner, le comité de revue est composé de quatre personnalités qualifiées du secteur privé dans les principaux domaines (sûreté, BTP, conduite des chantiers, conduite de programme, architecture des réacteurs, ...) de quatre représentants de la DINN (maîtrise des coûts, conduite de programme, questions réglementaires, ...) et de cinq représentants d'EDF extérieurs au projet (sûreté, exploitants, direction technique, ...).

Notre objectif est de présenter au comité directeur présidé par le PDG d'EDF en présence du DINN une évaluation loyale de l'état du projet et des recommandations pour en assurer au mieux l'exécution dans des coûts et des délais raisonnables et fiables. Nous nous appuyons pour cela sur l'organisation de la maîtrise d'ouvrage qui commande les travaux préparatoires et assure le bon déroulement des séances plénières comme des réunions plus restreintes sur des présentations thématiques qui représentent un gros travail des équipes de projet d'EDF. Nous aurons en outre à évaluer les résultats des audits commandités par l'État sur la base de coûts et sur la supply chain, et à procéder à quelques auditions avec les autorités de sûreté.



Maquette 3D de l'EPR2 – source : EDF

Nous avons donc toute la matière pour nous forger une opinion, challenger les équipes et poser toutes les questions nécessaires pour valider les éléments robustes, dégager les points d'attention, proposer des pistes de progrès. Chacun apporte au groupe sa propre expérience professionnelle, ce qui permet de couvrir tous les sujets essentiels

**« C'EST LÀ QUE LES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT DOIVENT TROUVER TOUTE LEUR PLACE AU SERVICE DE L'INTÉRÊT COLLECTIF »**

#### **Créer les conditions de la réussite**

La revue, commencée en février, doit s'achever dans quelques mois. Un point d'étape a été présenté au comité directeur d'EDF qui permet déjà d'avoir un point de situation sur les aspects techniques et d'organisation et d'amorcer les premières évolutions. Il reste à travailler sur

les coûts, les marges et la supply chain, et en final évaluer correctement le reste à faire.

La base est solide, mais toujours perfectible, et l'esprit qui nous guide est toujours d'aider à créer les conditions de la réussite de ce grand programme si essentiel pour notre souveraineté énergétique. Sans complaisance, mais toujours constructifs, nous nous attacherons dans nos recommandations à aider les équipes d'EDF, l'État et toute la filière industrielle à trouver sans tabous le meilleur fonctionnement collectif et permettre à chacune des parties de tirer le meilleur profit d'une réussite collective nécessaire.

Ne nous le cachons pas, il s'agit d'un formidable défi qui doit mobiliser toutes les compétences disponibles et exiger de chacun de délivrer l'excellence. C'est là que les ingénieurs de l'armement doivent trouver toute leur place au service de l'intérêt collectif : les anciens qui doivent partager leur savoir faire et leur compréhension du management des grands programmes,

mais aussi de nombreux jeunes à recruter et à former pour accompagner ce programme qui nous mobilisera sur les cinquante prochaines années et – j'en suis certain – représentera un volet majeur de la ré-industrialisation de la France et de sa capacité à tenir ses objectifs de décarbonation.

Engagez-vous, on a besoin de tous... 🐼



Herve Guillou, JGA

- X 73, ENSTA 78, INSTN 81
- DCN Cherbourg et Indret : ingénieur spécialiste sécurité plongée et propulsion nucléaire
- DGA Cabinet d'Yves SILLARD et direction de programme Horizon a Londres
- Directeur général délégué de Technicatome, CEO d'EADS space transportation, CEO d'EADS Defence and communication systems, CEO d'EADS Cybersecurity, PDG de Navalgroup, vice-président du conseil général de l'Armement
- Président D'EXAIL, administrateur de sociétés



# MAITRISE D'OUVRAGE DU PROGRAMME NOUVEAU NUCLEAIRE FRANCE

## QUELLE ORIGINE, QUELS OBJECTIFS ?

Par **Hervé Grandjean**, ICA et **Clément Gambier**, IA

Parmi les causes qui ont pu expliquer les difficultés rencontrées lors de la construction de l'EPR de Flamanville 3, Jean-Martin Foltz, dans un rapport de 2019, avait pointé « l'absence de maître d'ouvrage bien identifié ». Afin de sécuriser son programme de nouveaux réacteurs nucléaires (dits EPR2), EDF a donc pris la décision en 2022 de se doter d'une maîtrise d'ouvrage interne. C'est ainsi qu'a vu le jour le programme « Nouveau Nucléaire France » qui a notamment la tâche de contrôler l'avancée industrielle et technique de ce projet majeur et de garantir le respect du triptyque « Qualité, Coûts, Délais » de ce qui est un des plus grands projets industriels du siècle en France.

La longueur des cycles de développement, de construction et d'utilisation de ces réacteurs nucléaires, aussi bien que les enjeux technologiques et de souveraineté industrielle, sont très semblables à ceux que connaît le monde de l'armement. Il est donc intéressant de se pencher sur le processus de création de cette maîtrise d'ouvrage interne à EDF, qui pourrait rappeler à plusieurs égards le rôle et le fonctionnement de la DGA.

### Qu'est-ce que le projet EPR2 ?

Le projet EPR2 consiste dans un premier temps dans le développement et la construction de six réacteurs répartis en paires sur trois sites nucléaires déjà existants : Penly (Seine-Maritime), Gravelines (Nord), Bugey (Ain). Son extension pour huit réacteurs supplémentaires est actuellement à l'étude, conformément à la demande du Président de la République. Les six premiers réacteurs assureront, chaque année pendant plus de 60 ans, la production d'une électricité décarbonée représentant près de la moitié de la consommation de la région Île-de-France.

Le défi technologique associé est immense : ce projet, qui représente plusieurs dizaines de millions d'heures d'ingénierie, des



Perspective du futur site industriel de la paire d'EPR2 prévue à proximité de l'actuelle centrale nucléaire de Gravelines (Nord) © EDF/Santer Van Hoof Architecture

centaines de milliers de m<sup>3</sup> de béton armé, est aussi le premier à prendre en compte, dès la conception, les recommandations qui ont fait suite à l'accident nucléaire de Fukushima. Au plan économique, il s'élève à plusieurs dizaines de milliards d'euros et son calendrier prévoit un « premier béton nucléaire » (l'équivalent de la « découpe de la première tôle » dans le naval) à l'horizon 2027. La mise en service industrielle du premier réacteur, c'est-à-dire le début de la production d'électricité, est prévue à l'horizon 2035.

### Une maîtrise d'ouvrage dans tout ça ?

Pour quiconque est familier des programmes d'armement, les caractéristiques de ce projet EPR2 évoquent celles d'un grand programme industriel de défense. Dans le respect des recommandations du rapport Foltz, le projet EPR2 bénéficie ainsi d'une maîtrise d'ouvrage interne portée par la direction de programme Nouveau Nucléaire France. Il s'agit en particulier de sécuriser le bon déroulement de ce projet, d'abord en établissant un cahier des charges prenant en compte les besoins en électricité du



pays, les contraintes d'exploitation et de maintenance, mais également les aspects réglementaires qui sont portés par différents organismes publics (ASN, IRSN, ANSSI, HFDS,...). Ces spécifications sont établies avec l'impératif du « juste besoin », notamment d'un point de vue technico-économique. Ensuite, il s'agit de mettre sous contrôle la qualité, les coûts et les délais du projet. Cela passe notamment par une identification précise (et un challenge !) des chemins critiques, et par une vérification de la bonne fourniture des livrables (en coûts et en délais).

### « LE MODÈLE DGA EST UN MODÈLE QUI A FAIT SES PREUVES »

Une prérogative importante de cette maîtrise d'ouvrage interne consiste également en la validation du franchissement des jalons techniques majeurs. De même qu'il existe des « revues de changement de stade » au sein de la DGA, pour sanctionner les étapes importantes de la vie d'un programme d'armement, EDF a mis en place, en s'appuyant sur un collège d'experts présidé par Hervé Guillou, une « revue de programme », qui permet d'ausculter le projet sous tous ses angles (technique, financier, calendaire, filière industrielle, achats...) et d'apporter à la gouvernance d'EDF et aux pouvoirs publics l'assurance d'un projet piloté et sous contrôle, en s'appuyant sur toute l'expertise du groupe EDF.

Le financement d'un projet de construction de réacteurs nucléaires ne repose pas sur des crédits budgétaires comme c'est principalement le cas dans une loi de programmation militaire. Il repose plutôt sur des modalités de financement variés qui peuvent impliquer des emprunts, nécessiter des aides d'État, etc. C'est une des missions de la maîtrise d'ouvrage que d'éta-

blir le financement du projet, et d'assumer le pilotage du business plan, le contrôle fin des investissements (CAPEX et OPEX) et la libération des provisions financières le cas échéant, sous le contrôle de la direction du groupe EDF et de son actionnaire.

Enfin, et c'est une différence notable par rapport à l'écosystème de l'armement, EDF doit également gérer une phase de débat public indispensable à la réalisation d'un tel projet. En effet, EDF doit présenter à la Commission Nationale du Débat Public (CNDP) un dossier précisant les objectifs et principales caractéristiques du projet et ses enjeux socio-économiques. De nombreux débats publics sont organisés dans toute la France qui viennent nourrir un avis de la CNDP, avis obligatoire pour obtenir in fine l'approbation du Dossier d'Autorisation de Création (DAC), l'équivalent du « permis de construire » pour les centrales nucléaires. La visibilité sociétale, médiatique et politique d'un projet de construction de réacteur nucléaire est très forte : elle nécessite donc que la maîtrise d'ouvrage y consacre de l'énergie.

Finalement, au-delà d'une relation « client-fournisseur » classique, la maîtrise d'ouvrage a également la responsabilité de créer un environnement de travail favorable pour la maîtrise d'œuvre. Outre la sécurisation du financement du projet, le programme Nouveau Nucléaire France s'est particulièrement engagé aux côtés du gouvernement pour un environnement réglementaire plus souple avec notamment l'adoption le 22 juin 2023 de la loi d'accélération du nucléaire facilitant un certain nombre de démarches du projet.

### Une maîtrise d'ouvrage, un modèle pertinent au-delà de la DGA

Le projet EPR2 en est encore au début de son histoire et il est donc

certain que la répartition des rôles entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre évoluera encore pour continuer à s'adapter à la maturité du projet.

Le modèle DGA est un modèle qui a fait ses preuves pour sécuriser le déroulement de projets technologiques d'ampleur sur des temps longs, qui nécessitent un soutien de la supply chain et une politique industrielle claire. C'est donc une source d'inspiration naturelle pour une industrie nucléaire qui est celle de la compétence, du temps long et de la souveraineté. Quel que soit le domaine technologique, force est de constater qu'un fournisseur est d'autant plus compétent qu'il a un client « intelligent » et exigeant. S'il peut en outre favoriser un environnement de travail favorable, aux plans budgétaire et réglementaire, les premiers ingrédients du succès sont réunis ! ☺



**Clément Gambier, IA**

Clément Gambier (X2019) est actuellement en formation administrative et militaire des ingénieurs de l'armement. Dans le cadre de son école d'application (Mines Paris), il a effectué un stage auprès du directeur des opérations et de la stratégie industrielle du programme « Nouveau Nucléaire France » d'EDF.



**Hervé Grandjean, ICA, X-ENSTA et docteur en mécanique des fluides.**

Hervé Grandjean (X-ENSTA et docteur en mécanique des fluides), a été rapporteur de la mission conduite par Bernard Attali sur l'Ecole polytechnique en 2015. Conseiller pour les affaires industrielles de la ministre des armées en 2017, il est nommé Porte-parole du ministère en 2021. Il est directeur des opérations et de la stratégie industrielle du programme « Nouveau nucléaire France » à EDF depuis 2022.

# LA GESTION DES COMPÉTENCES DANS LE NUCLÉAIRE

## L'EXEMPLE DE L'USINE DE SAINT-MARCEL DE FRAMATOME

Par Richard Castaing, IPA

L'usine de Saint-Marcel (71) de Framatome fabrique les gros composants de la boucle primaire des réacteurs nucléaires : les cuves, les générateurs de vapeur et les branches primaires. Le travail, en grande partie manuel concernant le soudage et certains contrôles, nécessite des compétences spécifiques.



Cuve EPR, prête à être livrée

### Quelques chiffres clés sur l'EPR

Un réacteur nucléaire EPR est composé d'une cuve (corps et couvercle), qui abrite la réaction de fission, et de quatre générateurs de vapeur, qui refroidissent l'eau du circuit primaire en vaporisant l'eau du circuit secondaire, vapeur qui fait tourner le générateur (la fameuse turbine Arabelle). La cuve pèse plus de 550 tonnes et supporte des pressions supérieures à 170 bars. Chaque générateur de vapeur mesure plus de 24 mètres pour environ 525 tonnes.

Les forges, comme celle du Creusot, fournissent les gros constituants (viroles, fonds, calottes, etc.) des cuves et générateurs de vapeur. Ils sont assemblés à Saint-Marcel, par soudage.

### Du travail en grande partie manuel ... et très contrôlé !

L'assemblage d'une cuve nécessite environ 80 000 heures de travail, un peu plus de 50 000 heures pour un générateur de vapeur. Si la robotisation et l'automatisation des procédés de soudage et de contrôle sont des axes de travail prioritaires de l'usine, le travail reste manuel pour plus de 70 % des opérations. Les métiers phares sont divers : soudeur, chaudronnier, usineur, thermicien ou encore ... contrôleur non destructif. En effet, la première mission des constituants du circuit primaire n'est pas de contribuer à la production d'électricité mais d'assurer la sécurité et la sûreté des centrales nucléaires. C'est la priorité de Framatome et la qualité

des produits est donc surveillée de très près : aux multiples contrôles internes s'ajoutent la surveillance indépendante Framatome ainsi que la surveillance exercée d'une part par les clients et d'autre part par les organismes habilités par les autorités de sûreté des pays concernés.

### Une école de soudage interne

J'ai eu l'occasion de souder (sur une plaque test je vous rassure) : ce n'est pas évident, ne serait-ce que d'aller droit, le champ de vision étant très réduit. Et pourtant j'étais dans d'excellentes conditions (pas de fatigue, position adéquate, etc.). Le soudage est bien plus complexe qu'il n'y paraît. Il faut choisir le procédé (électrode enrobée, TIG, etc.), le matériau d'apport et sa nuance, les paramètres de soudage (vitesse, intensité, etc.), etc. qui répondent à des exigences de fabrication spécifiques. Puis il faut qualifier le mode opératoire afin de s'assurer que le résultat est conforme à la spécification. Cette qualification dure plus d'un an et fait l'objet de nombreux contrôles, destructifs dans ce cas.

Il faut ensuite qualifier le soudeur, ce qui peut prendre plusieurs semaines même à un soudeur confirmé. Il existe plus d'une centaine de qualifications différentes dans l'usine et un soudeur peut en avoir jusqu'à une dizaine. Chaque qualification est de plus à renouveler régulièrement (tous les six mois

au minimum). Les enjeux sur le développement et le maintien des compétences sont donc énormes. Pour cela, l'usine dispose d'une école de soudage, qui vise à former les nouveaux entrants et à maintenir les compétences des soudeurs indispensables pour assurer la production. Cinq à six cents qualifications sont ainsi délivrées tous les ans par l'école.

*« UN SOUDEUR DE L'USINE EST DEvenu EN JUIN CHAMPION DE FRANCE DE SOUDURE À L'ÉLECTRODE ENROBÉE. UNE BELLE RECONNAISSANCE POUR LE TRAVAIL DE FORMATION ET DE DÉVELOPPEMENT DE COMPÉTENCES MIS EN PLACE DEPUIS PLUSIEURS ANNÉES. »*

L'école contribue de plus au recrutement. L'usine embauche actuellement une quinzaine de soudeurs par an (pour un effectif total de



Soudage sur un générateur de vapeur

près de 100 soudeurs). Le vivier étant contraint, une autre voie a été développée il y a plusieurs années avec l'union des industries et métiers de la métallurgie (UIMM) : les CQPM (pour certificat de qualification paritaire de la métallurgie). Il s'agit d'un mécanisme de reconversion, les personnes étant formées (et salariées) pendant un an au soudage puis, si elles confirment leur appétence et ont le niveau requis, sont recrutées par Framatome. L'usine assure ainsi plus d'un tiers de ses recrutements en soudeurs mais également en contrôleurs, chaudronniers et usi-

### La relance du nucléaire à Saint-Marcel

Après une période creuse, qui a conduit à un plan de départ volontaire conséquent en 2015 (avec la perte de compétences associée), le changement de braquet est important : la production va devoir doubler dans les cinq prochaines années pour répondre aux projets d'EPR2 pour le parc français. Outre des recrutements importants, un investissement conséquent est prévu afin d'augmenter la surface de l'usine et d'installer de nouveaux équipements avec notamment le soutien de France Relance. L'usine va de plus passer à une production rythmée tout en assurant le meilleur niveau de qualité. Le nucléaire a aussi, comme la défense avec l'économie de guerre, un objectif d'augmenter les capacités de production. ☞

#### Framatome et la défense

Framatome a lancé en octobre 2020 la marque Framatome Défense pour promouvoir ses activités au profit de la défense, affirmer son engagement et renforcer sa contribution à ce secteur stratégique. En effet, depuis des décennies, Framatome intervient notamment sur les composants de la propulsion nucléaire de la marine nationale française. Par exemple, en juin 2021, Framatome a démarré les fabrications pour les chaufferies du PA NG sur son site du Creusot avec une première pièce forgée de démonstration de plusieurs dizaines de tonnes.

De plus, la défense et le nucléaire partagent de nombreux points communs : matériels en service sur plusieurs dizaines d'années, investissements importants avec le soutien indispensable de l'État, très grande technicité, petites séries, etc. Les parcours croisés entre la défense et le nucléaire méritent d'être développés et Framatome est prêt à accueillir des ingénieurs de l'armement en période d'ouverture. N'hésitez plus !



**Richard Castaing,**  
IPA, responsable  
du pilotage du plan  
industriel de l'usine  
de Saint-Marcel de  
Framatome

Il est détaché chez Framatome depuis mai. Il était jusqu'alors chef de cabinet du Directeur des opérations de la DGA. Auparavant, il a été rapporteur de la mission sur les grands corps techniques de l'État, a travaillé au SGDSN sur la sécurité économique et la non-prolifération et au CATOD.



# LE PROJET NUWARD SMR

## LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES COMPACTS AU SERVICE DE LA NEUTRALITÉ CARBONE

Par Nasrine Winther, *Technicatome*

Le développement des petits réacteurs nucléaires modulaires (SMR) s'inscrit dans le cadre de la décarbonation des énergies et d'un déploiement plus large de l'énergie nucléaire. Ces SMR ciblent un marché complémentaire de celui des gros réacteurs de puissance et ouvrent des possibilités aux pays contraints par les limites de leurs réseaux électriques ou leurs capacités d'investissement. Ils pourraient proposer, en plus de la fourniture d'électricité, de la cogénération de chaleur à différentes fins : chaleur industrielle, production d'hydrogène, dessalement d'eau de mer. Le projet de SMR NUWARD vise à devenir le modèle européen de référence.



Une centrale de 340 MWe comprenant 2 réacteurs intégrés

Le discours du Président Macron au Creusot en 2020, suivi de l'annonce d'un plan de soutien d'1 milliard d'euros par *France 2030*, ont mis sur le devant de la scène les SMR (Small Modular Reactors), petits réacteurs nucléaires innovants, d'une puissance généralement inférieure à 300 MWe, soit environ 5 fois moins qu'un EPR. En investissant significativement dans les projets SMR, la France ambitionne de rester à la pointe de l'innovation dans le domaine du nucléaire et de maintenir sa compétitivité sur le marché mondial de l'énergie.

Dans l'enveloppe de *France 2030*, 500 M€ sont réservés au projet NUWARD SMR. Ce projet a été officiellement lancé en 2019 pour regrouper les acteurs de la filière française sur la base des travaux de R&D réalisés par les partenaires

historiques, EDF, TechnicAtome, le CEA et Naval Group ; chaque partenaire apportant une expertise complémentaire à celle des autres (EDF en tant qu'architecte ensemble et exploitant nucléaire, TechnicAtome apportant son expertise sur la conception des réacteurs nucléaires compacts comme ceux embarqués dans les sous-marins ou le porte-avions, le CEA pour la partie recherche et qualification de nouvelles technologies, et Naval Group pour son expérience de fabrication et industrialisation de composants nucléaires). L'équipe du projet s'est récemment élargie avec l'arrivée d'autres acteurs-clé du nucléaire français, Framatome et Edvance, ainsi que de Tractebel, l'ingénierie nucléaire belge, permettant ainsi à NUWARD SMR de bénéficier d'un niveau d'expertise unique.

### Les caractéristiques de NUWARD SMR

Les grandes options d'architecture de la centrale NUWARD SMR et de ses principaux systèmes ont progressivement été validées en phase d'Avant-Projet Sommaire (ou « *conceptual design* »). Cette phase a également permis de confirmer le marché visé prioritairement : le remplacement des centrales à charbon en Europe, important marché dans la gamme de puissance des SMR, poussé par les engagements européens de réduction d'émission de gaz à effet de serre. Le dossier d'options de sûreté a été déposé cet été à l'Autorité de Sûreté Nucléaire, et le projet est aujourd'hui en phase d'Avant-Projet Détaillé (ou « *basic design* »), avec l'objectif d'un premier béton en 2030.

La centrale NUWARD SMR est une centrale de 340 MWe comportant deux réacteurs de 170 MWe. La technologie est celle des réacteurs à eau pressurisée (REP), référence française pour le nucléaire civil et pour les réacteurs conçus par TechnicAtome pour la propulsion nucléaire. Le combustible est standard, proche de celui utilisé dans les centrales EDF. L'objectif est ainsi de capitaliser sur les nombreuses années de retour d'expérience des réacteurs en exploitation.

Si la filière est connue et maîtrisée, la conception retenue embarque une série d'innovations majeures visant à optimiser la sûreté et à rendre le produit compétitif. NUWARD SMR est ainsi l'un des réacteurs les plus intégrés et les plus compacts des projets SMR en développement. Tous les équipements du circuit primaire sont placés à l'intérieur de la cuve (le cœur et son système de barres de contrôle, les pompes primaires, les générateurs de vapeur ainsi que le pressuriseur), et chaque équipement est conçu pour que les dimensions de la cuve restent compatibles avec l'outil industriel existant. La cuve est située à l'intérieur d'une enceinte métallique de 16m de haut et de 15m de diamètre jouant le rôle de troisième barrière. Ces dimensions réduites doivent permettre d'optimiser les actions réalisables en usine et de minimiser le génie civil sur site.

La centrale NUWARD SMR comporte également des innovations en matière de sûreté passive, c'est-à-dire sans besoin d'énergie externe. Le réservoir d'eau dans lequel est immergée l'enceinte métallique permet d'assurer le refroidissement du réacteur à l'arrêt en toute situation avec un délai de grâce de plusieurs jours (sans nécessité d'intervention humaine).

### L'enjeu de compétitivité

Au-delà du défi technologique, l'autre enjeu majeur pour les SMR est leur compétitivité. Le niveau de

puissance ne permet pas le même effet d'échelle que les réacteurs de forte puissance pour amortir les coûts du projet. Pour répondre à ce besoin, le projet NUWARD SMR s'appuie sur 3 leviers complémentaires : la conception/fabrication modulaire, la simplification du design, et une production en série.

La conception modulaire doit en effet permettre de maximiser la fabrication, l'assemblage et les tests en usine, limitant ainsi la durée de construction et les risques liés aux activités chantier. Des systèmes complets peuvent être montés et testés en usine, puis transportés sur site dans des conteneurs standards (ISO 20 pieds par exemple). Le projet NUWARD SMR capitalise ici sur les méthodes et l'expérience de mise en œuvre de la fabrication modulaire dans la construction navale, grâce au partenaire Naval Group.

La simplicité du design est rendue possible par la puissance réduite. Celle-ci permet d'envisager l'utilisation de systèmes passifs pour assurer les fonctions de sûreté, ou encore de composants du commerce au sein de différents systèmes de la centrale.

Enfin, la standardisation du design est un enjeu clé pour maximiser l'effet de série. L'objectif est de limiter les reprises de conception nécessaires en fonction des spécificités du site ou du pays retenu. Elle suppose une prise en compte en amont par les ingénieurs dès la phase de conception, mais également une évolution du système réglementaire international afin d'harmoniser les approches de sûreté dans le monde.

Les organismes internationaux (l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique et l'Agence pour l'Énergie Nucléaire - OCDE) ont pris conscience de la nécessité d'harmoniser les règles de sûreté, et de nombreux groupes de travail ont été

lancés ces dernières années en ce sens. Ce besoin a également fait émerger des initiatives inédites telles que la *Joint Early Review* mise en place par NUWARD, qui a pour objectif d'associer plusieurs autorités de sûreté européennes au processus de conception.

### Un nouveau modèle pour le nucléaire

Les SMR rencontrent un fort engouement mondial qui tient aux promesses offertes dans un contexte de recherche de solutions énergétiques décarbonées : un accès moins coûteux à l'énergie atomique, une diversification de ses usages, une source d'énergie pilotable et flexible.

Du chemin reste à parcourir pour que toutes ces promesses se concrétisent. Réussir à passer d'une économie d'échelle à une économie de série dans les délais attendus par le marché exige de (1) trouver le bon équilibre entre expertise historique et capacité à innover, (2) développer un écosystème favorable entre industriels, autorités réglementaires et institutions publiques, et (3) fédérer l'équipe de France du nucléaire.

Ce sont autant d'objectifs ambitieux mais extrêmement motivants pour les ingénieurs appelés en grand nombre à rejoindre la filière nucléaire. ☺



**Nasrine Winther,**  
Directrice  
développement  
& stratégie  
Technicatome

Diplômée des Mines de Nancy et de l'Université de Toronto (Canada), Nasrine Winther débute sa carrière chez TechnicAtome. Elle rejoint ensuite le groupe AREVA en tant qu'adjocte au Directeur des Opérations de la BU Bioénergies en charge de la vente à l'international de centrales biomasse, puis en tant que responsable des projets d'AREVA Stockage d'Énergie. Elle revient chez TechnicAtome en 2017, et est désormais en charge de la Direction Développement et Stratégie.

# LA PROPULSION NUCLÉAIRE À L'HEURE DU RENOUVEAU ÉNERGÉTIQUE

MAINTENIR CE SAVOIR-FAIRE EXTRAORDINAIRE, C'EST LE FAIRE ÉVOLUER

Par Laurent Sellier, IGA

Le porte-avions qui remplacera le Charles de Gaulle en 2038 sera propulsé grâce à deux réacteurs nucléaires compacts. Leur développement intervient au moment où la propulsion nucléaire recrute de jeunes ingénieurs pour remplacer les concepteurs qui avaient mis au point la génération précédente des chaufferies : ce passage de témoin, recherché pour régénérer les compétences en matière de réacteur embarqué, est une opportunité extraordinaire pour débiter une carrière dans un domaine d'exception et participer à une nouvelle aventure scientifique et technologique !

Les réacteurs nucléaires à eau pressurisée (REP) sont nés pour la propulsion des sous-marins. Ils sont désormais majoritaires pour la production d'électricité (dans le monde, près de 70% des centrales nucléaires sont des REP ; en France, c'est 100%).



Sous-marin Nucléaire d'Attaque « Duquay-Trouin » en essais devant Cherbourg

Dans un REP, l'eau du circuit primaire est sous pression pour rester liquide malgré une température pouvant dépasser 300°C. Elle se réchauffe dans le cœur nucléaire grâce à la chaleur dégagée par la fission de l'uranium et y ralentit les neutrons pour autoriser cette fission. Elle transmet sa chaleur à un circuit secondaire via un échangeur (générateur de vapeur). Dans cet échangeur, l'eau secondaire s'évapore et entraîne les turbines pour produire de l'électricité et/ou propulser le navire. La vapeur est ensuite refroidie dans un condenseur et réinjectée liquide dans le généra-

teur de vapeur. Eau primaire et eau secondaire fonctionnent en circuits fermés séparés. La source froide du condenseur est prise sans risque dans l'environnement, mer, fleuve ou atmosphère : deux barrières séparent l'eau primaire de l'environnement.

**La propulsion nucléaire française (PN) a optimisé l'architecture des REP pour les miniaturiser, encore améliorer leur sûreté et réduire leur coût.** Depuis les sous-marins nucléaires de type Rubis entrés en service dans les années 80, la PN utilise des réacteurs compacts où le générateur de vapeur, placé directement sur la cuve, lui sert de couvercle. Les absorbants neutroniques qui contrôlent les réactions de fission sont action-

nés à l'intérieur du cœur depuis la périphérie de la cuve grâce à un système de tringleries et de renvois d'angles astucieux. Cette géométrie confère à la PN une robustesse inégalable : si les pompes primaires (qui font circuler l'eau primaire à travers le cœur et le générateur de vapeur) cessent de fonctionner, un thermosiphon les remplace naturellement : l'eau sortant du cœur, réchauffée et donc moins dense, monte vers le générateur de vapeur ; cette eau, qui se refroidit au contact du circuit secondaire et s'alourdit, redescend ensuite vers le cœur. Ce mouvement garantit non seulement que le cœur sera toujours refroidi mais également que le navire sera toujours propulsé quelle que soit la disponibilité de ses pompes.

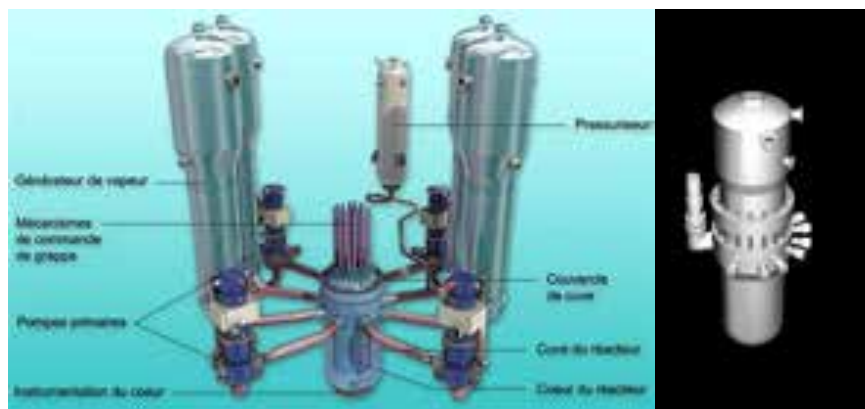


Schéma simplifié comparant un REP électrogène (à gauche avec 1 cuve desservant 4 GV et 4 pompes) et un réacteur de PN (avec le GV au-dessus de la cuve)





Inauguration du supercalculateur EXA1 par le ministre des armées

Par ailleurs, contrairement aux États-Unis notamment, les cœurs de la PN sont réalisés à partir d'uranium faiblement enrichi, à l'identique des centrales nucléaires : le coût de la matière est ainsi optimisé et ne nécessite pas d'installations d'enrichissement spécifiques. En contrepartie, les cœurs doivent être changés tous les 10 à 20 ans selon les navires.

Ces caractéristiques de la PN semblent immuables. Elles nécessitent néanmoins que nous prenions soin des compétences scientifiques et industrielles sur lesquelles elles reposent. C'est ainsi que le futur porte-avions sera équipé de réacteurs nucléaires compacts : au-delà de la quête de performances pour propulser un navire presque deux fois plus gros que le porte-avions Charles de Gaulle, le développement de ses réacteurs permettra de régénérer les compétences de conception – chez TechnicAtome, concepteur des chaufferies embarquées, chez Naval Group, fabricant des gros composants et au CEA, autorité de conception – par l'embauche de nouveaux ingénieurs avant le départ en retraite de ceux qui avaient conçu dans les années 1980-1990 les chaufferies des SNLE type Le Triomphant et du porte-avions Charles de Gaulle et dont sont dérivées celles des SNA de type Suffren et des futurs SNLE de 3<sup>e</sup> génération.

**La régénération des compétences de la PN va bien au-de-**

**là d'une simple capacité à reproduire ce que l'industrie nationale a su faire par le passé.**

Les réacteurs nucléaires sont en perpétuelle amélioration, tant dans la compréhension des phénomènes physiques mis en jeu et des niveaux de sûreté atteignables que dans la qualité de production des outils modernes. On s'émerveille, en comparaison des durées de développement actuelles, des prouesses des pionniers de la PN qui, partis de rien, ont réussi en moins de 10 ans à réaliser la chaufferie du SNLE Le Redoutable. Mais admettons qu'ils n'auraient jamais pu mettre au point, ni en 10 ni même en 15 ans, la chaufferie conçue pour les SNA de type Suffren : celle-ci résulte des connaissances et savoir-faire accumulés en France au fil de six décennies. A titre d'exemple, la chaufferie des SNA de type Suffren allie des performances propulsives, même sans pompe primaire disponible, et des niveaux de sûreté jamais atteints : sa cuve et les dispositifs adjacents sont dimensionnés pour supporter une fusion du cœur nucléaire, scénario accidentel dont on a pourtant démontré l'impossibilité...

La période actuelle de régénération des compétences PN constitue une opportunité d'épanouissement pour tous les ingénieurs qui veulent travailler dans le domaine des chaufferies nucléaires : toutes leurs caractéristiques sont revisi-

tées pour définir les réacteurs du futur porte-avions. La performance des moyens de calculs – notamment ceux conçus et mis en œuvre par la direction des applications militaires du CEA dans le cadre de son programme simulation qui vise à garantir les performances des armes nucléaires – offre de nouvelles possibilités de conception et d'exploitation, tenant compte des aspects multiphysiques et de la géométrie réelle des fabrications. C'est ainsi qu'auparavant, pour simplifier les calculs, les mêmes marges de protection des cœurs et des chaufferies couvraient les domaines d'exploitation courante et les domaines accidentels (pour les démonstrations de sûreté). L'application de marges différentes selon les plages de température/pression/débit/taux de combustion, rendue possible par les moyens de calcul, permet de réduire ces marges au strict minimum dans la plage d'utilisation courante – plage sûre – et ainsi augmenter la puissance, l'énergie et la disponibilité accessibles.

Si le renouveau de la PN ne changera pas ses grands principes d'architecture, il apportera dans les prochaines années une autre façon d'appréhender l'énergie nucléaire, à la fois plus scientifique et plus pragmatique. ☺



**Laurent Sellier,**  
IGA, Directeur  
de la propulsion  
nucléaire CEA/  
DAM

Laurent Sellier, X87, ENSTA option armes nucléaires, entre à la DGA au Centre d'Analyse de Défense en 1992. De 1998 à 2003, il est architecte puis manager M51 au service des programmes nucléaires. Après 3 ans dans les finances, il devient directeur du programme M51 puis de l'unité de management Cœlacanthe. De 2012 à 2020, il dirige l'unité de management Opérations d'armement navales. Il est directeur de la propulsion nucléaire depuis 2020 à la direction des applications militaires du CEA.

# DÉTACHÉ EN PROPULSION NUCLÉAIRE

## TROIS ANS À TECHNICATOME POUR CONCEVOIR ET ASSEMBLER LES CHAUFFERIES

Par Florent Tourolle, IA

Le 8 décembre 2020, Emmanuel Macron annonce que le PA-NG sera doté d'une propulsion nucléaire. L'augmentation significative de la puissance des chaufferies par rapport à celles du Charles de Gaulle excède l'accroissement du volume alloué. Les développements qui en découlent sont une opportunité pour la formation technique d'un IA comme pour sa connaissance du partenaire qu'est TechnicAtome.



Le PA-NG disposera d'un déplacement pratiquement deux fois plus élevé que celui du Charles de Gaulle affectant de ce fait la puissance des chaufferies. Ces dernières ne peuvent plus être communes aux SNLE comme c'était le cas pour celles du Charles de Gaulle.

### Servir l'État, dans l'industrie, de manière passionnée

« Servir la nation ». Répété en stage de formation humaine et militaire, le mot fait sens et « imprime ». Mûri pendant l'X au fil des échanges, il s'étoffe d'une passion pour les forces armées comme d'un goût prononcé pour l'État. La découverte de l'atome en cours à l'X détermine la suite. Alliant sens et passion, ce sera la propulsion nucléaire.

La découverte de la Marine Nationale, de ses personnels et d'un SNLE a été pour moi un tournant. Le contact avec la machine, l'exigence de la vie à bord et des contraintes opérationnelles, le cadre qui façonne les marins comme le dévouement qui les anime confortent un engagement dans la filière. Véritable attachement aux forces et

aux navires, ces deux mois arrivent l'ingénieur à sa mission pour les années à venir.

Plus en détail, la guerre sous-marine, le type de mission, les conditions d'exercice des différents postes sont des sujets d'échanges quotidiens à bord. L'appropriation des installations autres que la chaufferie (production et traitement de l'air, réfrigération, recalage de position, systèmes d'armes...) à l'image de ce qui est requis de chaque marin est l'occasion d'une ouverture unique sur d'autres sujets techniques. L'expérience vécue offre alors une perception concrète de notions telles que le cumul d'avaries, la gestion en temps réel de phénomènes incompris, ou le subtil équilibre entre rusticité et complexité technologique.

L'exemple d'avaries successives sur plusieurs groupes de chasse rapide aux ballasts (capacités d'air sous pression pour faire surface rapidement en cas d'avarie) fut édifiant. Contre intuitivement, les débits d'air perdus augmentaient avec l'accroissement de la pression extérieure, perturbant la compréhension de ce qui se passait... La situation fut mise sous contrôle et permit la poursuite de la mission.

### Se former techniquement ; apprendre un métier

Mon arrivée à TechnicAtome il y a un an offre une toute autre perspective. Le métier « fonctionnement général » (FG) est à l'intersection de nombreux domaines (neutronique, thermohydraulique, contrôle commande, sûreté...) et doit garantir la disponibilité de la chaufferie dans les conditions prévues par le Document Unique du Besoin (DUB). Au cœur du processus de conception industrielle, les études successives demandent de jongler entre l'utilisation de modèles complexes et les calculs d'ordres de grandeur couvrant des phénomènes incertains. Le quotidien n'est pas tant à la compréhension des grands phénomènes qu'au traitement de détails décelés par l'analyse sur simulateur ou anticipés grâce à la connaissance de la machine, des scénarios ou du retour d'expérience.

Les études au FG sont conduites sur un simulateur dénommé SARIE.

### Un compromis permanent entre sûreté et disponibilité

Des échanges étroits sont menés entre métiers, en particulier entre le « Fonctionnement général » (FG) et la « Thermohydraulique et physique du combustible » (TPC), qui a pour mission de garantir la sûreté de la chaufferie dans les scénarios incidentels ou accidentels envisagés (défaillances multiples d'organes, brèches, dénoyage du cœur, ruptures d'éléments combustibles...). Un compromis sûreté/disponibilité est en permanence élaboré de concert entre métiers, affectant les marges retenues pour la validation de scénarios de conduites. Il impose des interactions très horizontales notamment pour s'assurer que les conditions d'études respectives sont cohérentes de part et d'autre ou pour vérifier l'impact réciproque de modifications.

Ce dernier reproduit le fonctionnement d'une chaufferie entière en intégrant des données combustibles fournies par les neutroniciens qui sont couplées avec un code de thermohydraulique reproduisant les circuits du réacteur. S'ajoute également une importante partie de contrôle commande assurant les automatismes de pilotage et l'interface homme-machine. Le simulateur permet de jouer un nombre de scénarios de plus en plus complets à mesure qu'il s'étoffe. Il couvre ainsi les situations de navigation normales ou dégradées ainsi que certaines défaillances d'organes (arrêts de pompes, pertes d'alimentation électrique, perturbation de mécanismes de contrôle...). L'évolution de l'état de la chaufferie est suivie via les grandeurs physiques réelles ou telles que mesurées par les capteurs. Le développement du simulateur se fait en même temps que les études, ces dernières servant à confirmer les développements de fonctions de pilotage par le FG ainsi que les choix plus structurants venus d'autres métiers.

La version finale du simulateur servira à donner les fonctionnalités qui devront être implémentées par le service contrôle commande de la chaufferie. Une version finalisée du simulateur sera également transmise à la Marine pour la formation de ses opérateurs. Le simulateur SARIE est donc autant un livrable en développement qu'un outil de vérification du

fonctionnement de la chaufferie et de sa cohérence en temps réel.

Au-delà de la connaissance technique du système, l'un des enjeux pour un IA en détachement est de saisir le volume de travail que requiert chaque étude. Il est aussi de mesurer toutes les ramifications qu'une modification d'un point de la chaufferie peut entraîner pour ses autres parties ou pour la conduite du projet. Le travail réalisé chez TechnicAtome est parsemé de solutions techniques approfondies avec enthousiasme dont certaines sont retenues, et d'autres non. Un état d'esprit ouvert aux innovations qui s'intègre dans une démarche de conception rigoureuse.

### Connaître l'industriel pour préparer l'avenir

Le passage chez l'industriel est aussi une opportunité de vivre le fonctionnement d'une autre organisation que la DGA. Quel est son métier fondamental, comment est-elle structurée, comment parvient-elle à épanouir ses talents ? Quelles sont les relations avec ses partenaires, industriels ou étatiques ? Les réponses viennent progressivement, avec la fierté de livrer à la Marine une chaufferie des plus performantes.

Récemment, une amélioration tardive et importante dans le pompage primaire des chaufferies du PA-NG fut une occasion d'expérimenter

le processus de décision interne, depuis les premières remarques étonnées sur un dimensionnement, jusqu'à la décision par le comité exécutif de valider le changement. Bel exemple de la gestion d'un grand projet qui ajoute aux complexités techniques les avis contradictoires d'experts et une nécessaire prudence.

### Un autre regard : le chantier d'assemblage

La prolongation de mon affectation temporaire d'un an supplémentaire est prévue. J'y prendrai un poste en chantier à l'assemblage des Barracuda à Cherbourg : enjeux de co-activités et découverte d'industriels partenaires, approche des installations sous un autre angle, traitement de problèmes en urgence... Le suivi d'un calendrier d'assemblage et le traitement des aléas apportera un point de vue complémentaire, à la fois technique et pratique, pour la conduite d'un grand projet industriel.

J'espère au terme de cette période avoir acquis une expérience concrète au cœur de plusieurs grandes phases de la vie d'un navire. Conception, assemblage, essais, et de manière moindre, conduite opérationnelle au sein de la Marine, pour pouvoir apporter une contribution efficace au sein d'une équipe programme et créer de concert des chaufferies à la hauteur des missions exigeantes de nos marins. ☺



**Florent Tourolle,**  
IA

Entré à l'X en 2017, il passe 66 jours sur le SNLE le Triomphant avant de rejoindre TechnicAtome en affectation temporaire pour premier poste. Il est affecté à la conception des chaufferies du PA-NG au sein du métier fonctionnement général en tant qu'ingénieur d'études.





# UNE CHALEUR INDUSTRIELLE DÉCARBONÉE ET COMPÉTITIVE : JIMMY RÉINVENTE LE NUCLÉAIRE

INTERVIEW D'ANTOINE GUYOT, CO-FONDATEUR ET CEO DE JIMMY

Propos recueillis par Dominique Monvoisin, IGA

Cofondée en 2020 par Antoine Guyot (X 2013) et Mathilde Grivet (HEC 2018), Jimmy ([www.jimmy-energy.eu](http://www.jimmy-energy.eu)) est une start-up française qui réinvente l'utilisation de la fission nucléaire pour décarboner la chaleur industrielle. Jimmy se présente comme concepteur et opérateur de générateurs thermiques fondés sur des microréacteurs nucléaires (puissance de 10 MWth) afin de fournir aux industriels de la chaleur décarbonée et compétitive par rapport à la chaleur fossile.

Mise en service d'un premier démonstrateur industriel chez le premier client : 2026.

**La CAIA : Quels ont été les éléments déclencheurs de la création de Jimmy, sachant que vous n'aviez aucune expérience dans le domaine du nucléaire ?**

**Antoine Guyot :** L'idée de Jimmy s'est fait jour après ma première expérience en sortie d'école au sein d'un cabinet de conseil en stratégie dans le domaine énergie-climat, avec l'envie d'entreprendre et de créer, sur un fond de passion pour la science. Une analyse d'ensemble des consommations énergétiques et des solutions techniques appropriées m'a conduit à identifier le besoin de chaleur et la pertinence du nucléaire pour celle-ci.

En effet, les coûts du nucléaire de puissance se concentrent fortement sur la réalisation de la centrale et la conversion électrique, la chaudière nucléaire et l'uranium représentant une part relativement faible du coût de ces installations de puissance. Je me suis alors demandé si on ne pouvait pas, pour d'autres marchés, revisiter les coûts pour générer une chaleur moins chère que celle produite par une chaudière à gaz. Le

marché français représente actuellement une opportunité compte tenu du prix élevé de l'énergie, de la mise en place de quotas de CO<sub>2</sub> en ligne avec les objectifs de décarbonation en 2030 et 2050, sachant qu'il existe un savoir immense sur le nucléaire, en France et à l'international.

La formation d'ingénieur est magnifique car elle donne la possibilité de créer. Je me suis intéressé à l'entrepreneuriat dès mes études car c'est un formidable moment pour réfléchir à de nouvelles solutions. Et donc quand je me suis focalisé sur le nucléaire, ma curiosité scientifique naturelle m'a conduit à creuser et à proposer quelque chose de différent.

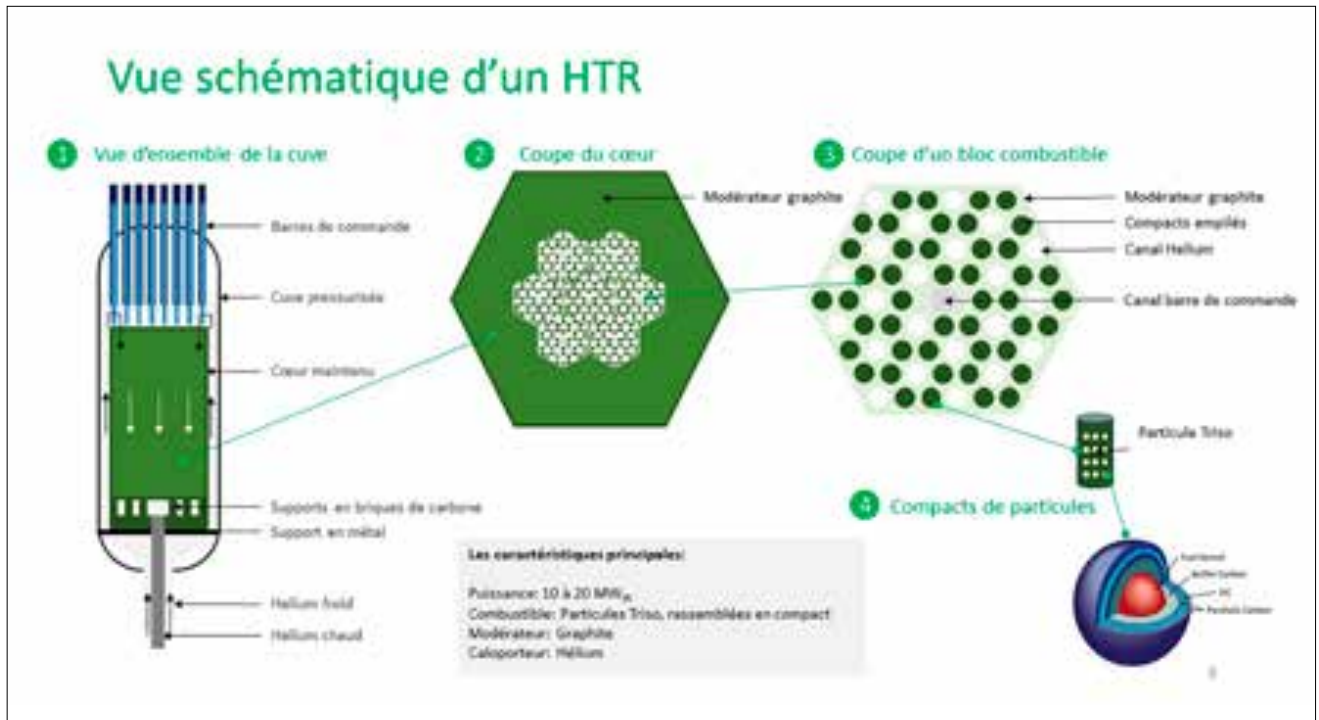
**La CAIA : Quels sont les caractéristiques principales du générateur nucléaire HTR que vous avez sélectionné ?**

**AG :** Toute notre démarche repose sur la volonté d'adapter des technologies existantes à un nouveau marché. Ainsi, quand nous avons commencé, nous avons demandé à

plusieurs experts ce qui pouvait être utilisé pour la chaleur et tous nous ont fait converger vers le « High Temperature Reactor » (HTR).

Ce type de réacteur est assez ancien et a connu plusieurs réalisations fructueuses en Allemagne, aux États-Unis et en Chine. Son principe est identique à celui des autres réacteurs à neutrons thermiques : la cuve rassemble du combustible à base d'uranium enrichi, un modérateur qui freine les neutrons et un caloporteur qui permet de récupérer la chaleur. Dans le cas du HTR, le combustible se présente sous forme de particules Triso, le modérateur se compose de blocs de graphite, et le fluide caloporteur est l'hélium.

Le HTR connaît un essor nouveau en ce moment au niveau des microréacteurs car il présente deux intérêts majeurs : d'une part il fonctionne avec un cœur relativement chaud permettant au caloporteur d'atteindre autour de 600°C, ce qui pour les applications calogènes est plus intéressant que les chaudières



à eau limitées à 300 degrés. D'autre part il a une sûreté intrinsèque, ce qui signifie que le réacteur seul suffit à l'évacuation de sa puissance résiduelle et donc qu'il ne peut pas fondre.

En termes opérationnels, le générateur Jimmy qui sera téléopéré, est conçu pour une durée de vie d'une vingtaine d'années, sans changement du cœur, avec des opérations de maintenance classiques qui s'intègrent dans le cycle de maintenance de l'industriel, sans perturber sa production.

**La CAIA : De quel retour d'expérience disposez-vous sur le combustible à particules et comment avez-vous appréhendé la fabrication du cœur et la gestion des déchets en fin de vie opérationnelle ?**

**AG :** Le combustible à particules est étudié depuis les années 60. Les différentes expérimentations de ce combustible, qui consiste en une bille de 400 µm de diamètre d'oxyde d'uranium recouverte par dépôt vapeur de couches céramiques, ont permis d'aboutir à la particule « idéale ». Celle-ci a été testée pendant une succession de

campagnes d'irradiation lors des 20 dernières années, ce qui a permis de définir une enveloppe de qualification large sur laquelle beaucoup de start-ups américaines s'appuient. C'est sur ce retour d'expérience que Jimmy fonde la conception du cœur de son générateur.

Pour la gestion des déchets, notre approche est la même que pour la conception : utiliser l'existant. Ainsi les filières actuelles de l'ANDRA peuvent accueillir tous les déchets du générateur, à l'exception des particules Triso. Pour celles-ci, nous pouvons utiliser dans un premier temps des équipements existants d'Orano pour les stocker. Puis, en fonction de l'avancée de Jimmy, deux possibilités s'offrent à nous : soit les broyer et les traiter sur le site d'Orano/La Hague avec un procédé déjà éprouvé, soit les vitrifier et les enfouir, sachant que les particules constituent déjà par nature un moyen de stockage à long terme.

**La CAIA : Comment vous assurez-vous de disposer d'une chaîne de fournisseurs à la hauteur de vos ambitions techniques et calendaires, en co-**

**hérence avec les exigences du monde du nucléaire ?**

**AG :** Notre stratégie a toujours été de rencontrer des fournisseurs potentiels avant de concevoir, afin d'adapter notre dessin à leur capacité de réalisation. Par ailleurs, nos enjeux de sûreté notablement moins élevés que sur le nucléaire de puissance nous permettent d'élargir les fournisseurs possibles. Par exemple sur les échangeurs ou les tuyauteries, nous pouvons utiliser des codes de conception standards de l'industrie conventionnelle.

**La CAIA : Comment traitez-vous les enjeux de sûreté nucléaire et de sécurité ? Comment comptez-vous vous assurer de l'acceptation de ce générateur par les riverains du site industriel concerné ?**

**AG :** Pour traiter ces enjeux, nous sommes repartis des exigences générales définies par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique en les déclinant sur un objet différent des centrales classiques. Cette démarche de sûreté et de sécurité a été présentée le plus tôt possible à l'ASN et l'IRSN pour s'assurer que notre démarche était compatible avec la réglementation française.



Vue d'ensemble - Emprise au sol : 12m x 8m/H : 15m

Concernant l'acceptabilité locale des riverains, la difficulté principale résulte de l'absence de connaissance du nucléaire qui est exclu de notre quotidien. Ainsi notre volonté est d'être le plus transparent et pédagogique possible pour expliquer pourquoi le générateur ne présente pas de danger particulier et pourquoi il est intéressant pour l'usine du premier client. En particulier, il permet de diminuer la pollution de l'air, de décarboner l'activité et de renforcer la compétitivité économique de l'industriel sans apporter d'inconvénient.

**La CAIA : Est-il réaliste de présenter un calendrier directeur qui prévoit une première divergence en 2026, soit seulement 4 ans après la revue de conception préliminaire ?**

**AG :** Pour produire et mettre en service un réacteur nucléaire, la réglementation et l'industrialisation

constituent deux chemins critiques parallèles : en matière de réglementation, il est difficile d'anticiper précisément les délais, mais compte tenu de la simplicité de notre installation, une durée de 2 ans et demi nous paraît pertinente pour valider la sûreté. Quant aux industriels, nous sommes dans les temps face aux délais annoncés.

**La CAIA : De quelles compétences vous êtes-vous entouré pour garantir le succès de Jimmy ?**

**AG :** Afin de réussir à créer une ingénierie nucléaire moderne, nous avons orienté notre recrutement pour disposer à la fois de profils expérimentés et de profils jeunes, prometteurs, à l'aise avec les outils de programmation. En effet, afin de concevoir au plus vite et avec les standards qualité les plus exigeants, toute la conception a été réalisée dans une plateforme

interne codée à l'aide des outils traditionnellement utilisés dans le monde du software.

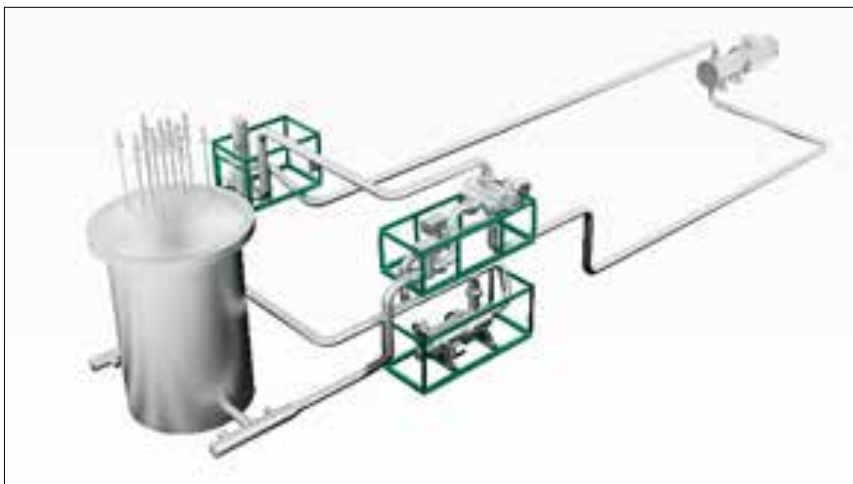
Notre entreprise, qui compte aujourd'hui une quarantaine de salariés, se révèle très attractive pour de jeunes ingénieurs qui ne sont pas naturellement intéressés par les grandes entreprises, qui sont très sensibles aux impératifs écologiques et apprécient de voir une concrétisation rapide de leurs travaux.

**La CAIA : A quels types d'industriels s'adresse votre générateur Jimmy ?**

**AG :** Le générateur Jimmy s'adressera dans un premier temps aux industriels consommateurs de vapeur à moins de 450°C. Cela correspond principalement aux papiers, aux chimistes et aux acteurs de l'agro-alimentaire. Nous avons 15 lettres d'intention pour notre générateur et nous commençons aujourd'hui à sélectionner les prochains clients ;

**La CAIA : La Défense peut-elle y trouver un intérêt ?**

**AG :** Complètement, c'est un des usages fortement regardés du côté des États-Unis. Le microréacteur mobile constitue un atout sur un théâtre d'opérations pour se passer de ravitaillement. En particulier, les réacteurs à sûreté intrinsèque et à particules de combustibles sont naturellement résilients dans des environnements inhospitaliers. ☺



Les différents circuits et échangeurs



# LES LASERS INTENSES, AU CŒUR DE LA PRODUCTION DES NOUVELLES ÉNERGIES DU FUTUR

Par Emmanuel Sprauel, ICA

Les progrès récents dans la maîtrise de la fusion nucléaire sont prometteurs, en particulier grâce à la technologie des lasers intenses. En effet, ces derniers permettent, littéralement, « l'ignition » de la réaction de fusion, source d'une énergie maîtrisée et non polluante.



Installation ELI-NP (Extreme Light Infrastructure for Nuclear Physics) en Roumanie, laser le plus puissant au monde délivrant des impulsions de 10 PetaWatts

La production d'une énergie propre, sûre et souveraine est un enjeu majeur de notre temps, dans le contexte de la lutte contre le dérèglement climatique et de l'instabilité géopolitique actuelle sur l'accès aux énergies fossiles. L'énergie produite actuellement par fission nucléaire traite ces problématiques de manière globalement satisfaisante : c'est le cas en France, où la filière électronucléaire lui permet d'être un des pays européens les moins émetteurs de gaz à effet de serre.

Cependant, la décarbonation à grande échelle de notre économie va accroître les besoins en électricité propre à l'horizon 2050. Les nouvelles énergies renouvelables comme l'énergie éolienne et l'énergie solaire répondent en partie à ce besoin mais incomplètement car elles ne sont pas pilotables. Au contraire l'énergie produite par **fusion nucléaire** répondra à la totalité des besoins, notamment

celui d'une très grande agilité dans la connexion ou la déconnexion au réseau électrique pour s'adapter à la demande.

## Un peu de physique nucléaire...

La **fusion nucléaire** résulte d'une réaction de fusion entre des éléments légers qui libère une énergie directement liée à la différence de masse entre les atomes fusionnant et le produit de cette fusion.

La réaction de fusion la plus répandue met en œuvre deux isotopes de l'hydrogène, le Deutérium et le Tritium. Le Deutérium est abondant à l'état naturel et fait partie des constituants de l'eau de mer. Le Tritium n'existe pas à l'état naturel mais peut être produit à partir du Lithium qui est extrait en de nombreux endroits, y compris sur le territoire Français.

Les réactions de fusion restent cependant très difficiles à obtenir car ces deux particules chargées

positivement se repoussent sous l'effet de la force électrostatique. Il est donc nécessaire de chauffer le « combustible » à des températures extrêmes, de l'ordre de 100 millions de °C, pour créer les conditions propices aux réactions de fusion... Un énorme défi technologique !

## Confinement magnétique et confinement inertiel

Les développements de la fusion pour la production d'énergie ont démarré il y a plusieurs décennies. Ils ont fait appel exclusivement à des configurations de confinement magnétique, principalement basées sur des tokamaks. Il s'agit notamment du réacteur Français Tore Supra et du réacteur Européen JET, tous deux précurseurs du réacteur en cours de construction dans le cadre du projet International ITER qui prévoit de délivrer ses performances nominales entre 2035 et 2040. Les résultats d'ITER serviront de base à la réalisation du prototype de production d'énergie DEMO, prévu à l'horizon 2055-2060.

Cependant, à côté de ces grands et longs projets portés et financés par des acteurs étatiques, nombre d'initiatives ont vu le jour durant la décennie écoulée avec une forte accélération ces 5 dernières années. Les investissements associés, en grande majorité privés, sont en croissance exponentielle : leur montant cumulé dépasse désormais 7 milliards de dollars.

Il y a à ce jour 35 sociétés privées qui ont un projet de développement de réacteur de fusion. Parmi ces acteurs, on trouve désormais 8 sociétés développant des solutions basées sur la fusion par confinement inertiel.

Ce schéma de fusion bénéficie pleinement des résultats obtenus récemment sur l'installation NIF (National Ignition Facility) aux États-Unis. Le 5 décembre 2022, la première ignition a pu être obtenue, c'est-à-dire la capacité à délivrer une énergie de fusion (3,15 MegaJoules) supérieure à l'énergie totale délivrée par les lasers (2,05 MegaJoules) à la capsule de combustible Deuterium-Tritium (D-T). Un nouveau tir d'ignition a eu lieu en Juillet 2023, délivrant cette fois 3,5 MegaJoules. Ces résultats sont d'autant plus remarquables que le NIF, tout comme l'installation équivalente LMJ (Laser MegaJoule) en France, n'a pas été conçu pour la production d'énergie mais pour des applications de défense dans le cadre de programmes de garantie des performances des armes nucléaires par simulation.

### Les lasers intenses, éléments déterminants pour atteindre l'ignition

Dans ces deux cas d'ignition, un schéma « indirect » a été utilisé : les faisceaux des lasers sont dirigés vers un tube cylindrique (le « hohlraum ») dont les parois internes recouvertes d'or vont convertir le rayonnement UV des lasers en rayonnement X lors de leur réflexion sur la paroi. Cette étape de conversion est bénéfique à l'uniformité d'illumination de la cible de D-T, mais diminue significativement le rendement global, lui-même limité par la technologie assez ancienne de ces lasers dont l'efficacité énergétique reste faible (de l'ordre de 1%) et la récurrence de tir limitée à quelques tirs par jour au maximum.

Or les progrès récents permettent une orientation vers des solutions très différentes et crédibles pour la

production d'énergie basées sur un schéma « direct » (illumination directe de la cible par les lasers) et l'adoption de la technologie des lasers à état solide pompés par diodes, compatibles à la fois d'une efficacité énergétique supérieure à 10% et d'une récurrence de tir jusqu'à 10 Hz. Certaines solutions, soit conservant le D-T dans un schéma dit d'« allumage rapide », soit changeant de combustible en passant à un mélange Proton-Bore, nécessitent des lasers de durées d'impulsion ultra brèves (quelques picosecondes à une centaine de femto secondes).

Il faut pour produire ces impulsions ultra brèves utiliser la technologie CPA (Chirped Pulse Amplification) démontrée pour la première fois en 1985 par Gérard Mourou et Donna Strickland (prix Nobel de Physique en 2018) et mise en œuvre par Thales depuis 1992 dans ses systèmes laser ultra intenses. Thales est devenu le leader mondial des systèmes CPA de haute énergie et a construit le système laser du projet européen ELI-NP (Extreme Light Infrastructure Nuclear Physics), qui a délivré en 2019 une puissance crête de 10 PetaWatts, record mondial. Il a été focalisé pour la première fois en Mars 2023 sur une cible solide, produisant une intensité de l'ordre de 1023 W/cm<sup>2</sup>. Cette installation (dont la taille est d'environ 4000 m<sup>2</sup>) est désormais utilisée par des start-ups de fusion par laser qui viennent y conduire des expériences préliminaires dans le cadre de leur feuille de route de développement.

### Un savoir-faire français

La solution CPA développée par Thales utilise des cristaux de Saphir Titane pompés par des lasers nanosecondes de haute énergie, filière d'excellence au sein de l'activité laser de Thales. L'expertise accumulée depuis 30 ans dans le domaine des lasers intenses et celui des lasers nanosecondes pompés par diodes pour des applications de pro-

duction industrielle exigeantes (traitement du silicium sur les chaînes de fabrication de semi-conducteurs et d'écrans plats) est un atout majeur en vue de solutions industrielles compétitives pour la maîtrise de la fiabilité et du rendement énergétique de la réaction.

Cette ambition s'inscrit également dans un contexte plus large où les lasers impulsionsnels d'ultra haute énergie, notamment ceux basés sur la technologie CPA, sont en plein essor, par exemple pour l'accélération d'électrons et de protons en vue d'une nouvelle génération de systèmes médicaux de traitement des cancers plus efficaces, moins coûteux, autonomes. On peut également citer la modification de trajectoire de débris spatiaux par des lasers basés soit au sol soit dans l'espace.

La recherche dans ce domaine est très prometteuse. Dans ce cadre, Thales a créé en 2021 avec le CNRS, l'Ecole Polytechnique / Institut Polytechnique de Paris et l'ENSTA le laboratoire de recherche commun HERACLES qui s'appuie notamment sur les compétences scientifiques reconnues de deux laboratoires de recherche du plateau de Saclay, le LOA et le LULI, engagé depuis plusieurs décennies dans des travaux de recherche sur la physique de la fusion par confinement inertiel. ☺



**Emmanuel Sprauel, ICA,**

X83, ENSTA, Emmanuel Sprauel a démarré sa carrière à la DGA avant de se tourner vers le secteur privé, chez FirstMark Communications, Impac Acquisition & Finance, Alcatel-Lucent puis Thales, où il a exercé successivement dans les systèmes d'information critiques puis dans l'optronique et l'électronique. Il est désormais vice-président stratégie et marketing pour les systèmes aériens et terrestres et président de Angenieux.

# LA FUSION INERTIELLE, MIRAGE LOINTAIN OU MANNE PROVIDENTIELLE POUR NOTRE FUTUR ÉNERGÉTIQUE ?

Par Frédéric Tatout, ICA

La fission nucléaire reçoit des critiques comme productrice de déchets et pour la sûreté nucléaire. La fusion est parfois présentée plutôt comme « une énergie abondante sans pollution », titre d'un ouvrage que lui a consacré en 2008 l'ingénieur Jean Robieux (X46), qui nous a quittés en 2012. S'il convient de nuancer ce slogan pour ne pas verser dans le techno-solutionnisme, la recherche dans ce domaine accélère fortement.



Vue d'artiste d'une expérience de fusion inertielle (crédit : NIF) <https://lasers.llnl.gov/science/pursuit-of-ignition>

Pour illustration, le 5 septembre dernier la ministre allemande de la recherche se serait exclamée, en signant une rallonge budgétaire à un programme de plus d'1 M€ : « la fusion est une chance énorme de résoudre tous nos problèmes énergétiques ». Un tel enthousiasme, qui tranche avec le tabou ancré sur l'énergie nucléaire, pourrait faire suite au passage du « breakeven » fin 2022 par le National Ignition Facility (NIF) de Livermore : l'énergie de fusion a dépassé celle injectée par des lasers sur une cible composée de deutérium et de tritium. L'Allemagne ne souhaite pas rater le train des brevets industriels, qui accélère, ou tomber dans une dépendance industrielle ; et au contraire mettre en avant certaines pépites, comme en optique (Schott, Laseroptic, etc.). Il s'agit aussi de

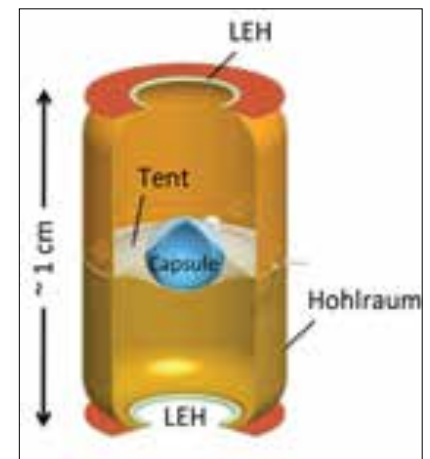
former suffisamment de spécialistes et de se mettre en capacité de construire des coopérations internationales fructueuses. Un mémorandum solide précise cette ambition, illustrée aussi dans un dossier plus « promotionnel » qui table sur la multiplication par un facteur 2,5 à 3 de la consommation électrique de l'Allemagne, d'ici 2050.

Comme Jean Robieux l'explique dans son livre, la cible type, un mélange de deutérium et de tritium sous la forme d'une pastille sphérique d'1 mm de rayon, est compatible avec le parc électrique actuel : sa fusion complète, au rythme de 10 pastilles par seconde, produirait une énergie de rayonnement (principalement neutronique et gamma) donnant, après transfert par fluide caloporteur à un turbo-alternateur, la puissance électrique d'une tranche de production actuelle (1 GW). Ce format paraît aussi équilibré, du point de vue de l'ingénierie de production des pastilles et du dimensionnement d'une centrale électrique à fusion, où la réaction serait provoquée au centre d'une chambre sphérique d'une dizaine de mètres de rayon, parcourue par un fluide caloporteur qui pourrait être de l'eau.

Comme il suffit de ne plus introduire de nouvelles pastilles, ou d'éteindre les lasers pour arrêter de produire du rayonnement, il n'y

a pas de risque d'emballlement, et encore moins d'un accident de type Tchernobyl ou Three Miles Island. La bonne nouvelle pour la fusion inertielle par laser, est donc que le coût de la sécurité sera modeste par rapport à celui des centrales à fission.

Mais il faudra atteindre un ratio élevé entre l'énergie des lasers et celle recueillie. On est très loin du rapport minimal de 1 à 100 pour compenser le faible rendement de la chaîne laser (environ 1% à ce jour). Pour cela il faut parvenir à comprimer la pastille d'une manière précise pour qu'elle atteigne, notamment, une température comparable à celle d'une étoile (100 millions de degrés) et une densité bien plus élevée que celle de la matière à l'état solide. Des lasers d'une puissance phénoménale



Le concentrateur en or utilisé dans le NIF (crédit : publication scientifique de R. Betti, O.A. Hurricane, 2016, <https://www.osti.gov/biblio/1255527>)





Au centre de la chambre d'expérience du Laser Mégajoule ©MS-BEVIEW / CEA)

sont nécessaires, sans parler de leur réglage et leur synchronisation. Ce domaine fait l'objet d'intenses recherches au niveau international, notamment en France et aux États-Unis, mais aussi au Japon (qui dispose de bons industriels comme Nikko, Hoya, AGC...) et dans quelques autres pays européens.

Le Lawrence Livermore National Laboratory et le CEA/CESTA, avec des unités gigantesques logées respectivement au sein du NIF et du LMJ (Laser MégaJoule, près de Bordeaux), sont seuls à ce jour à pouvoir créer des impulsions laser suffisamment brèves et puissantes (typiquement 1 MJ en 1 ns) pour atteindre le breakeven.

Un procédé clé est celui dit de compression d'impulsion, inventé en France au début des années 60 et inspiré du carcinotron, autre innovation émanant de la CSF (à présent Thales). Jean Robieux précise dans son ouvrage qu'en 1967, le centre de recherche de la CGE à Marcoussis fabriquait des lasers 30 fois plus puissants que partout ailleurs, par ce procédé. Cela intéressait peu de monde à l'époque, mais le général de Gaulle soutenait ces recherches. Aujourd'hui, les applications se multiplient. En guidant le faisceau d'un laser à impulsion courte par fibre optique, on peut fabriquer un instrument de taille modeste permettant de réaliser de la chirurgie oculaire

d'excellence. Au sein du LMJ et du NIF, les guides optiques ne sont pas des fibres mais des verres fabriqués par les meilleurs opticiens de la planète, le tout pesant des dizaines de tonnes (et encore plus, en euros). Le flux de photons est tellement intense que son passage soumet cette instrumentation de l'extrême à rude épreuve : c'est dire le chemin qu'il reste à parcourir dans ce domaine !

Pour tenir la cadence de 10 cycles / seconde, il faudra assurer la répétabilité des impulsions laser (puissance moyenne : plusieurs dizaines de MW), fabriquer de nombreuses pastilles (plusieurs procédés sont à l'étude, avec ou sans congélation du mélange deutérium-tritium), les acheminer et les positionner à ce rythme de manière précise, chacune dans un porte-cible permettant d'optimiser l'effet du rayon laser.

Il faudra gérer les sous-produits de fusion (principalement le tritium). A noter que du lithium, inséré dans la paroi de la chambre, sera peu à peu transformé par les neutrons en hélium et en tritium, que l'on pourra récupérer.

Enfin, la fabrication et la maintenance de la chambre de fusion pose quelques autres défis, compte tenu des flux d'énergie à transférer au fluide caloporteur et des effets du rayonnement de fusion (vieillesse rapide et production de sous-produits radioactifs).

Quant à l'autre méthode pour obtenir la fusion, dite de confinement magnétique, elle consiste à créer un plasma peu dense mais de température comparable, et à le confiner pendant une longue durée, d'où la nécessité de champs magnétiques très puissants. L'architecture la plus répandue est celle du réacteur Tokamak, en forme de tore : celle du projet international ITER, qui doit produire, selon son calendrier de référence actuel, un plasma froid

vers 2025, puis un premier plasma chaud vers 2035 en vue de créer ensuite un démonstrateur industriel vers 2050. ITER pose l'avantage, par rapport à la fusion inertielle, de l'existence d'une feuille de route précise et financée. Mais elle pose d'autres questions délicates, comme la maîtrise des instabilités du plasma, pas très bien élucidées et complexes à modéliser. Comme la réaction est lente, il faudra, au stade industriel, une quantité de plasma bien plus importante que pour la fusion inertielle. L'arrêt du réacteur ne sera donc pas immédiat. Or, tout contact entre le plasma et la paroi de la chambre de confinement pourrait endommager celle-ci ... On peut donc entrevoir, sans même parler des financements nécessaires, que la maturation suppose que de nombreux physiciens et ingénieurs spécialisés se consacrent à la physique du plasma pendant un certain temps. La startup grenobloise Renaissance Fusion utilise une architecture différente, le stellarator. Aux États-Unis, en Chine, ... même en Allemagne, on en trouve des dizaines, principalement en fusion par confinement magnétique, y compris pour la propulsion spatiale avec la startup britannique Pulsar Fusion. Son fondateur compte sur l'IA pour dompter un plasma qu'il décrit comme « aussi instable que la météo », et atteindre une vitesse d'éjection de 300 km/s pendant un essai en orbite en 2027. ☺



**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.

Partie 3

# ÉVOLUTION DE L'ÉNERGIE POUR LES FORCES



# L'ÉNERGIE, UNE DIMENSION DU CAPACITAIRE

## LA FIN DE L'OR NOIR

Par Fabien Michelin, architecte capacitaire énergie

Alors que le point culminant de la demande en énergie fossile se matérialise, l'Occident entame, à coup de feuilles de route bas carbone, sa mue énergétique. Dans le même temps, les secousses géopolitiques, en particulier en Europe de l'Est et en Afrique, engendrent des tensions et une flambée des prix, éclairant les vulnérabilités. Les énergies fossiles seront de plus en plus chères, de plus en plus décriées aussi. Les chaînes logistiques de fourniture d'énergie, sous des formes diverses, seront d'une complexité croissante et la vision à long terme de la DGA sera un atout fondamental pour leur maîtrise.

Les besoins énergétiques militaires, de surcroît opérationnels, ont longtemps reposé sur le paradigme d'un carburant unique, accessible partout dans le monde et pour un coût raisonnable. Les énergies bas carbone candidates portent une même ambition : abaisser l'empreinte carbone, au détriment, néanmoins, d'une efficacité énergétique globale en retrait, tant au niveau la densité énergétique finale véhiculée qu'au niveau des processus de transformation amont, très énergivores.

Cette attrition est alors rendue acceptable par le recours à une énergie électrique primaire décarbonnée portée par le pari d'énergies renouvelables massivement déployées. Une contrainte dont le monde civil pourra peut-être se satisfaire, mais qui pose pour le monde militaire la question, à terme, de l'impact sur les performances opérationnelles : régression des performances intrinsèques, baisse de l'autonomie/rayon d'action, logistique complexe, coût plus élevé et nouvelles dépendances minérales, le lithium, le platine ou le cobalt succédant à l'or noir.

**Malgré ces contraintes, il est illusoire de considérer que le monde militaire pourra s'exclure de cette tectonique énergétique.**

Les mouvements de fond sont déjà engagés, qu'ils résultent d'une dynamique réglementaire ou de tensions d'approvisionnement déjà palpables.

A ce titre, la réglementation environnementale européenne ne marque pas de pause, comme en témoigne la fin prévue des motorisations thermiques dans l'UE fixée à 2035, et le projet de règlement européen « Re-FuelEU Aviation », actuellement en discussion, qui fixera les obligations d'incorporation de carburant d'aviation durable (SAF) d'ici à 2050.

### « LA DGA S'ATTACHE À ANTICIPER CES ÉVOLUTIONS »

La disparition des motorisations thermiques fait peser un risque d'obsolescence important pour les plateformes militaires terrestres, ces technologies étant fortement duales. Certes, cette mesure ne concerne pas, pour le moment, les véhicules routiers et véhicules spéciaux dont font partie les véhicules militaires. Elle prévoit également la possibilité de maintenir le recours à des motorisations fonctionnant aux carburants synthétiques durables. Pour autant, il est observé, en Europe, un très fort intérêt vers l'électrification des propulsions. Il semble peu probable que les quelques usages de niche puissent permettre le maintien des investissements et des lignes de production industrielle en Europe, avec un impact à craindre sur le MCO.

La voie hydrogène, incluant les carburants hydrogénés, se déploie en

parallèle. Elle pourrait devenir une alternative crédible pour le transport routier lourd ou maritime. Elle est cependant associée à des contraintes fortes qui pourront nuire aux performances attendues dans les emplois militaires (autonomie réduite, enjeux logistiques et de sécurité importants). Elle ne représente cependant pas une solution crédible pour l'aéronautique, de surcroît militaire. Les grands avionneurs axent la décarbonation de leurs plateformes en misant sur le SAF, l'avion électrique à hydrogène n'étant possible que pour de petits avions régionaux. La capacité des filières biosourcées à fournir les volumes attendus est par ailleurs largement mise en doute.

Le e-carburant, carburant synthétisé à partir d'hydrogène vert - qui devient un vecteur intermédiaire - et d'une source de CO<sub>2</sub> capté, apparaît ainsi comme une technologie clé pour accompagner cette transition, mais nécessitera de fortes capacités de production électriques décarbonées. Ceci soutient le renouveau du nucléaire en France, notamment dans le domaine des réacteurs de petites puissances de type SMR et MMR.

A ce titre, le MINARM représente 0,5% de la consommation d'énergie nationale, dont les 2/3 sont liés au carburéacteur destiné à l'armée de l'air et l'aéronavale. Si l'approvisionnement énergétique sur le territoire



national ne semble pas menacé à court terme, la baisse prévue des ressources disponibles conjuguée à une forte inflation des prix pourrait militer pour le développement d'une capacité autonome de fabrication de carburants synthétiques, à usage domestique ou mobile, pour couvrir tout ou partie des besoins en carburant.

Si la question de la mutation des énergies primaires est problématique pour le monde militaire, l'électrification de l'énergie finale est une opportunité qui permettra d'apporter une réponse à l'un des défis des armées : l'accroissement des besoins en énergie électrique liés à l'emploi de nouveaux systèmes d'armes à travers la digitalisation, l'emploi de l'IA, les armes à énergie dirigée, le canon électromagnétique, les drones et robots, ou plus prosaïquement pour les besoins de plus en plus massifs en énergie de bord des plateformes et pour soutenir les fonctions C4ISR. Ces usages portent un fort besoin en terme de puissance électrique, alors même que le couple historique moteur thermique/alternateur plafonne. Au demeurant, les enjeux techniques associés sont nombreux - militarisation des batteries de puissance, dimensionnement des réseaux de bord, management de l'énergie, survivabilité - et doivent être appréhendés.

### **La transition énergétique des plateformes militaires ne sera pas une transposition des solutions sur étagère civiles.**

Les performances d'emploi d'un véhicule de tourisme électrique optimisé pour être utilisé selon un scénario d'usage bien borné, n'est, par exemple, pas comparable à un véhicule militaire parcourant annuellement un nombre limité de kilomètres en environnement sévère.

Une démarche d'analyse coût/bénéfice/risques/objectifs doit être implémentée, au cœur des opérations d'armement, à la fois dans les réflexions capacitaires amont, dans

la sélection des architectures candidates et en terme de captation et adaptation des innovations duales.

Dans le domaine capacitaire, la multiplication des vecteurs énergétiques primaires sur les théâtres opérationnels et l'électrification des besoins imposent une réflexion d'ensemble englobant les enjeux de logistique, d'infrastructure et moyens supports, de ressource RH et de MCO, et nécessiteront la revue des concepts d'appui au déploiement et d'appui au stationnement. Ce champ de bataille électrique nécessitera, au-delà de la question de la capacité autonome de production d'énergie primaire, de revoir en profondeur la distribution énergétique, auparavant purement pétrolière du berceau à la tombe, pour intégrer des technologies de réseaux intelligents (smart-grid), des moyens de stockage tampons et l'interface camp/système d'armes dans un environnement tactique contraint et disputé.

En terme d'architecture, la DGA développe à travers le projet technique de défense GENOPTAIRE un outil d'assistance à maîtrise d'ouvrage permettant d'identifier les meilleures architectures énergétiques pour une plateforme et un profil de mission considérés, en orientant le bon niveau de réponse technologique par rapport aux fonctions recherchées.

En terme d'innovation, la stratégie de captation et d'adaptation doit être réalisée selon un *momentum* opportun dans un contexte très concurrentiel entre les filières, et où les investissements privés et étatiques massifs ne sont pas un gage de passage à l'échelle. Ainsi, l'hybridation des motorisations terrestres, en vogue il y a encore quelques mois, est aujourd'hui balayée par la rationalisation des gammes vers le tout électrique, portée par des infrastructures de recharge de plus en plus denses et performantes. Au-delà de l'évaluation de la maturité des technologies duales et de faisabilité de

leur implémentation dans un environnement opérationnel, la démarche d'innovation doit aussi s'attacher à éclairer les bénéfices opérationnels associés. Ainsi, le soutien de l'AID au développement des drones de contact à hydrogène participe à l'accroissement leur autonomie. La réalisation d'un démonstrateur de Griffon hybride permettra, en 2025, d'évaluer l'intérêt de ces nouvelles architectures en terme de réduction de la consommation carburant mais aussi d'accroissement des capacités de veille silencieuse et d'approche de zone discrète via une mobilité tout électrique sur quelques kilomètres.

### **Ainsi la transition énergétique renforce le rôle de l'énergie opérationnelle, jusqu'ici réduite à un rôle de servitude.**

La multiplication à venir des filières, des flux, des approvisionnements, sera un vecteur de complexification pour les opérations. Le rôle de la DGA sera alors de garantir la capacité des plateformes à employer ces nouveaux carburants en accentuant la versatilité des systèmes de propulsion. Cette mutation représente néanmoins une opportunité pour répondre aux besoins des armées, et est de nature à réduire nos dépendances par une meilleure maîtrise de la chaîne de valeur énergétique. La DGA s'attache à anticiper ces évolutions en amont des opérations d'armement, en plaçant la dimension énergétique au cœur des réflexions capacitaires et industrielles. ☺



**Fabien Michelin,**  
architecte  
capacitaire énergie  
DGA/SASD

Ingénieur en matériaux, docteur en mécanique avancé, Fabien Michelin a rejoint la DGA en 2017 en tant qu'expert écoconception à la direction technique. Depuis 2021, il est architecte capacitaire énergie et technologies transverses au sein du service d'architecture du système de défense, en charge notamment de la déclinaison de la stratégie énergétique de défense dans la démarche capacitaire et au sein des coopérations européennes.

# LE SOUTIEN ÉNERGETIQUE DU FUTUR

## LA LOGISTIQUE MILITAIRE S'APPUIERA SUR LE CIVIL, MAIS RESTERA UN CAS PARTICULIER

Par **Luc Margotin**, IGME et **Samuel Borey**, ICME (ingénieurs du corps militaire des essences)

L'énergie n'a quasiment jamais été un facteur limitant de premier ordre pour la planification et la conduite des opérations. Si la logistique carburant a pu parfois se révéler compliquée, la relative abondance des produits pétroliers a permis d'éviter que la logistique carburant soit une contrainte dimensionnante. Cependant la transition énergétique pourrait placer l'énergie au cœur des préoccupations des armées en opérations.



Projet ECO CAMP (EMA/SID) d'expérimentation de briques technologiques pour aller vers un camp autonome

### Des conditions d'accès à l'énergie de plus en plus difficiles

Rappelons tout d'abord que, pour des raisons logistiques, l'énergie est approvisionnée au plus près des forces. Les armées devant conserver leur aptitude à pouvoir intervenir en tous lieux, les systèmes d'armes doivent fonctionner avec les énergies disponibles partout dans le monde, comme sur le territoire national.

Or, la transition énergétique va induire peu à peu une divergence des sources énergétiques entre les pays les plus avancés (Europe, États-Unis...) et les pays en développement. L'exemple le plus emblématique est celui de la mobilité terrestre, très électrifiée en Europe mais qui continuera de s'appuyer sur des carburants fossiles dans de nombreux pays.

A cela s'ajoutera une compétition croissante pour l'accès aux ressources énergétiques, notamment pour les carburants d'origine fossile

pour lesquels les compagnies pétrolières vont investir de moins en moins. Au final, la transition énergétique et l'accès rendu plus difficile aux carburants vont conduire à ce que l'énergie pourrait devenir un facteur limitant pour les opérations futures.

### Le carburéacteur, carburant opérationnel des trente prochaines années

Un point positif, qui fait désormais l'objet d'un large consensus, devrait nous permettre toutefois de passer le cap cette transition : le carburéacteur aviation (Jet A1), fossile dans un premier temps puis durable par la suite, perdurera pour opérer les vols commerciaux moyen et long-courriers. Ainsi, partout dans le monde, subsistera une logistique carburéacteur pour les aéroports internationaux sur laquelle les armées pourront s'appuyer. La mise en œuvre de la politique du carburant unique fondée sur l'utilisation d'un seul carburant, le carburéacteur aviation, pour les matériels terrestres comme

pour les aéronefs, permettra d'approvisionner l'ensemble des forces aéroterrestres quelle que soit leur zone d'intervention. Cette politique, mise en œuvre par l'OTAN dans les années 90, permet, outre l'intérêt logistique de ne déployer qu'une seule chaîne d'approvisionnement sur le champ de bataille, de disposer d'un carburant aux spécifications exigeantes dont la qualité est garantie partout dans le monde.

Les systèmes d'armes qui seront développés dans les vingt prochaines années continueront donc d'être conçus sur la base de motorisations thermiques qui devront pouvoir fonctionner avec du carburéacteur.

Il n'en demeure pas moins que la ressource sera comptée et que son coût sera par conséquent de plus en plus élevé. Il existe peu de solutions hormis la sobriété et l'efficacité énergétique des équipements pour limiter la demande en énergie. Sans remettre en question la nécessité absolue de garantir la supériorité opérationnelle de nos forces, ces principes devront néanmoins être dorénavant à l'esprit de tous les chefs militaires et acteurs du monde capacitaire.

D'autres difficultés sont également à appréhender, en liaison avec la base industrielle et technologique de défense : dans une France qui va peu à peu rompre avec les moteurs thermiques, aura-t-on encore



Centrale électrique hybride (thermique/solaire).

la capacité à assurer le maintien en condition opérationnelle de nos équipements ? Nos industriels continueront-ils à entretenir des compétences spécifiques au profit des armées ? Disposera-t-on aisément des pièces détachées, de l'outillage, de la ressource humaine qualifiée pour les réparer et les entretenir ? Aussi, il nous appartient de réfléchir dès maintenant aux organisations et processus nous permettant de garantir la disponibilité des forces.

### L'impact des nouvelles technologies sur les futurs équipements

L'EMA et la DGA ont conduit plusieurs études prospectives afin d'évaluer l'intérêt des nouvelles technologies issues de la transition énergétique pour les applications militaires à l'horizon 2040. Les aspects techniques, les gains opérationnels potentiels et la soutenabilité logistique ont été analysés. Les risques liés à la disparition des technologies conventionnelles ont également été pris en compte.

#### A moyen terme :

- La propulsion des plateformes terrestres restera assurée par des moteurs thermiques, probablement hybridés. La propulsion hybride présente des opportunités en matière de mobilité et de survivabilité grâce à une

diminution de la consommation, une veille silencieuse, un boost de puissance et une furtivité acoustique sur courte distance.

- Le besoin des aéronaves militaires en termes de compacité et de performance requerra toujours l'utilisation de carburants à très haute densité énergétique. Ainsi les futurs avions de combat, de transport et les hélicoptères fonctionneront encore avec du carburéacteur, qu'il soit d'origine fossile ou durable (jusqu'à 100 %).
- Dans le domaine maritime, les contraintes opérationnelles, logistiques et de sécurité des navires de guerre rendent la plupart des nouveaux combustibles (hydrogène, ammoniac, méthanol, GNL...) inadaptés à un usage militaire. Le gazole de navigation qu'il soit d'origine fossile ou durable restera l'énergie des bâtiments de 1<sup>er</sup> rang.
- Bien que son usage pour les plateformes militaires majeures reste exclu à ce stade (considérations techniques et logistiques), l'hydrogène pourrait devenir une source d'énergie intéressante pour certaines applications spécifiques (drones avec des profils de mission particuliers, stockage d'électricité sur les camps, génération autonome d'électricité pour les unités isolées).
- Enfin, les énergies renouvelables pourront contribuer à la production d'énergie des camps en phase de soutien au stationnement, mais également sur le territoire national pour limiter la consommation énergétique et gagner ainsi en résilience.

#### A plus long terme :

Le potentiel des technologies small et mini modular reactor (SMR/MMR) doit être évalué : autonomie énergétique d'un centre opérationnel, d'un camp projeté, fabrication de e-fuel à partir d'une plateforme marine sont autant de pistes qui pourraient faire

de cette technologie un véritable game-changer énergétique.

Enfin, une veille technologique continue est indispensable car c'est bien du secteur civil que viendront les solutions qui permettront aux armées de s'adapter aux futurs défis énergétiques.

### Le management de l'énergie, outil de commandement des chefs militaires

On l'aura bien compris, l'énergie va devenir un élément structurant du combat du futur. La supériorité énergétique sera un des facteurs clés qui permettra au chef militaire de remporter la victoire. Il lui importera par conséquent de mesurer et de maîtriser sa consommation d'énergie, de connaître les ressources énergétiques de l'ennemi pour pouvoir les détruire ou les neutraliser. Pour ce faire, il devra disposer des compétences et des outils nécessaires, de nouvelles capacités de renseignement et de modes d'actions à inventer. ☞



**Luc Margotin,**  
Etat-major des armées

Saint-Cyrien (90-93), diplômé de l'IFP School (2002), après une première partie de carrière dans l'armée de terre, il a rejoint le service des essences des armées en 2002. Il a occupé des postes de commandement et d'expertise dans les domaines des produits pétroliers et des ressources humaines.



**Samuel Borey,**  
Etat-major des armées

Saint-Cyrien (95-98), diplômé de l'IFP School (2008), après une première partie de carrière dans l'armée de terre, il a rejoint le service des essences des armées en 2008. Il a occupé des postes de commandement et d'expertise dans les domaines des produits pétroliers et du maintien en condition opérationnelle.



# LES SAF

## 1% EN 2022, OBJECTIF 70% EN 2050 ?

Par Rémi Bascou, IPME (ingénieur principal militaire des essences)

Le 16 juin dernier, Emmanuel Macron a annoncé un plan d'investissement de 200 millions d'euros pour développer un SAF (Sustainable Aviation Fuel, ou carburéacteur durable), avec notamment la construction d'une usine à Lacq (Pyrénées atlantiques). Ce type de carburant aéronautique présente des caractéristiques particulièrement intéressantes pour les Armées en améliorant, par exemple, la furtivité des avions<sup>1</sup>. Il s'agit donc là d'une opportunité dont le Service de l'énergie opérationnelle (SEO) s'est d'ores et déjà saisi.



Alpha Jet de la Patrouille de France avitaillé en SAF.

### Une certification chère et complexe

Le premier défi relève de l'industrie. Outre l'énergie qu'il apporte, le carburéacteur a la particularité d'être utilisé comme fluide hydraulique et liquide de refroidissement pour les turbines. Ses performances et sa composition sont strictement régies par deux normes internationales publiées par l'ASTM *International* (ex *American Society of Testing and Materials*). Une certification par cette dernière instance est incontournable pour un industriel souhaitant qualifier un carburant synthétique sous l'appellation de *Synthetic Blend Component* (SBC, ou composé synthétique pur) incorporable sans risque (*drop-in*) dans un SAF. Afin de garantir un produit sûr et performant, le processus de certification suit deux phases : la première vérifie le respect des standards par une analyse physico-chimique et une vérification de l'aptitude à l'em-

ploi à bord des avions. Son coût est d'environ 400 k\$ US. Lors de la seconde, des essais supplémentaires sont réalisés sur certains composants (pompes, injecteurs...) puis, le carburant est testé *in situ* via des essais moteurs au banc. Le coût de cette phase est d'environ 5 M\$ US et peut durer 3 ans. Un rapport suivi d'un vote final des membres de l'ASTM acte la certification du produit. Un industriel souhaitant certifier son carburant doit donc être capable de financer ces différentes étapes tout en étant en mesure de produire plusieurs centaines de mètres cubes de carburant, ce qui représente une véritable prise de risque. Certains producteurs ont ainsi interrompu le processus en cours de route pour des raisons de rentabilité. En France, Total Energies produit d'ores et déjà des SAF dans ses raffineries de La Mède ou Grand-Puit et un SBC proposé par la société française Global Bioéner-

gie a été certifié en juin 2023. Pour appuyer ces industriels français, le SEO est à l'initiative de la création d'un Comité français de coordination sur le carburéacteur (CFCC) qui regroupe des acteurs du secteur, dont la Direction générale de l'armement (DGA), afin d'adopter une position nationale sur la standardisation du carburéacteur.

### Une fabrication difficile et des avions à modifier

Le deuxième enjeu est d'ordre technologique. Jusqu'à présent, seules 7 filières sont certifiées par l'ASTM. Chacune est définie par une ou des matières premières, un procédé de fabrication et des caractéristiques physico-chimiques. Celles-ci sont incorporables à hauteur de 10 à 50% dans le carburant final selon la filière. L'objectif ultime est une incorporation de SBC jusqu'à 100% dans le carburéacteur utilisé par les Armées (F-34 pour l'Armée de l'air et de l'espace, F-44 pour la Marine). Le principal frein pour atteindre cet objectif, c'est-à-dire l'utilisation indifférenciée d'un carburant d'origine synthétique ou issu de la distillation du brut, vient de la chimie des carburants. Un carburéacteur est un assemblage complexe d'hydrocarbures (environ 250 molécules différentes contenant entre 8 et 16 atomes de carbone). Il est composé d'alcane linéaires, ramifiés ou cy-

<sup>1</sup> : La combustion d'un carburant synthétique permet, à iso paramètres, de produire des fumées moins chaudes et de réduire les suies produites.

cliques et d'aromatiques. Chacune de ces familles est essentielle pour assurer un fonctionnement optimal des turboréacteurs (puissance, qualité de combustion, intégrité des systèmes...). Or, les SBC issus des filières les plus anciennes (2009) sont essentiellement composés d'alcanes linéaires et ramifiés. Ils ne sont donc pas utilisables purs dans les avions actuels. Pour arriver jusqu'à 100 % d'incorporation, des groupes de travail ont été créés à l'ASTM *International*, ainsi qu'à l'OTAN et au sein des Armées. Deux stratégies coexistent. La première consiste à fabriquer artificiellement des alcanes aromatiques et développer des carburants synthétiques chimiquement similaires au carburéacteur, c'est-à-dire *drop-in*. La deuxième stratégie, plus radicale, consiste à créer un carburant totalement nouveau, dédié à des avions spécifiquement conçus pour. Cela imposerait toutefois un coût total d'investissement pour les motoristes et avionneurs de l'ordre de 15 Md\$ US. En parallèle, il s'agit de s'assurer dès la conception, que les futurs avions soient capables de fonctionner avec les deux carburants 100 % SAF. En attendant le 100 % d'incorporation, certaines filières produisent également des sous-produits utilisables dans les domaines terrestres et marins, comme par exemple les HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) utilisables dans le gazole. Le SEO, via son Centre d'expertise technique (CET-SEO), et en liaison avec la DGA, est particulièrement actif sur la veille et la certification de ces nouveaux carburants pour les Armées. La France est ainsi la première nation de l'OTAN à avoir autorisé tous les carburants certifiés par l'ASTM pour tous les appareils de l'État.

### Une filière tendue

Le dernier enjeu est d'ordre logistique. En amont de la production, les industriels doivent faire face à une compétition pour accéder aux



HIL Guépard de la Marine nationale avitaillé en SAF à l'occasion du salon du Bourget 2023.

matières premières sans affecter le secteur de l'agroalimentaire. En aval, le produit certifié peut devenir lui-même plus rentable dans un autre secteur, voire arriver en rupture de stock très rapidement. Par exemple, la filière *Synthesised Iso Paraffine (SIP)*, composée d'une unique molécule, a trouvé un marché plus rentable dans l'industrie cosmétique et ne devrait donc pas se développer par la suite. Outre ce cas presque anecdotique, il reste difficile de s'approvisionner en SAF car la plupart sont déjà vendus avant même d'être produits. Enfin, d'un point de vue opérationnel, l'arrivée des SAF bouleverse la politique du carburant unique de l'OTAN qui consiste à additiver du carburéacteur pour l'utiliser dans des moteurs diesel. Les SAF, en raison de leurs compositions chimiques différentes, n'ont pas tous le même indice de cétane, facteur clé de la combustion dans un moteur à allumage par compression. La question est donc de savoir s'ils sont tous utilisables dans les matériels terrestres. Il s'agit là de l'un des volets de l'étude en cours appelée GENOPTAIRE (Gestion ENergétique OPTimisée des plateformes militAIREs), dont le CETSEO est partie prenante avec la DGA. Une modification des modalités d'additivation du carburéacteur pourrait ainsi être à prévoir selon la filière, voire une limitation ou interdiction de certaines d'entre elles. La logistique s'en trouverait considérablement affectée. Une autre révolution pourrait être la production locale de carburant, grâce à la synthèse du carbone issu du dioxyde de car-

bone ambiant et de l'hydrogène issu quant à lui de l'hydrolyse de l'eau, alimentée par de l'électricité issue des panneaux solaires. Ce *solar fuel* appartient à la catégorie des *e-fuels*, terme regroupant les carburants produits à partir d'électricité décarbonée (hydrogène, méthanol, ammoniac). Ces derniers obéissant aux mêmes règles de certification évoquées plus haut, ce point ne sera pas davantage détaillé.

Une fois ces verrous industriels, technologiques et logistiques levés, les projections actuelles les plus optimistes sur les capacités de production indiquent toutefois que les SAF ne permettront de répondre qu'à 40 % de la demande à l'horizon 2050. Des améliorations technologiques, une meilleure gestion du trafic et des infrastructures ainsi que des mesures de sobriété devront s'ajouter pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du secteur de l'aviation. Pour les Armées, le carburant ne doit plus être considéré comme un produit abondant. Il doit être économisé, voire remplacé à chaque opportunité. ☺



**Rémi Bascou**, chef de la cellule Technique Produits du bureau Développement du Centre d'expertise technique du SEO.

Saint-Cyrien (06-09), diplômé de l'IFP School (2021), après une première partie de carrière dans l'armée de terre, il a rejoint le service de l'énergie opérationnelle en 2021. Il occupe un poste d'expertise dans le domaine des produits pétroliers.

# DES VÉHICULES TERRESTRES HYBRIDES

## UN ACTEUR ESSENTIEL DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES EN OPÉRATIONS

Par Michel Bouvet, IGA et François Deloumeau, ARQUUS

Un groupe de travail du GICAT «Gestion de l'énergie opérationnelle Véhicules - Flotte - Camp» ouvert au MINARM (DGA, AID, EMAT, SEO...), au CEA et à l'ONERA, montre l'intérêt d'un rôle accru des véhicules hybrides face à l'augmentation et à la variété des besoins énergétiques sur les théâtres d'opérations.

### L'énergie électrique

Pour une mission de 3 jours, un véhicule Griffon consomme environ 400 litres de gazole, c'est à dire 4300 kWh. Du fait de la moindre consommation énergétique d'une motorisation électrique (45% à 85%) le stockage d'énergie électrique nécessaire passerait à au moins 1942 kWh

Il faudrait alors :

- 3,7 m<sup>3</sup> et 6,6 t de batteries Lithium-ion en 2025
- 3,3 m<sup>3</sup> et 4,8 t de batteries Solid Lithium-ion en 2030
- 2,8 m<sup>3</sup> et 4 t de batteries Lithium-Air en 2050

Ce qui rend ce type de stockage d'énergie difficile à mettre en œuvre pour des véhicules de combat.

### Carburants fossiles, exotiques, synthétiques et biocarburants

Pour les plus gros véhicules, le carburéacteur, avec le carburéacteur, avec l'adjonction d'additifs, restera donc le carburant unique dans les 30 à 50 ans à venir. La possibilité d'utiliser des carburants exotiques locaux comportant entre autres des teneurs en soufre importantes devra être maintenue.

Le e-kérosène (e-fuel), produit à partir d'hydrogène et de CO<sub>2</sub>, fera progressivement son apparition au rythme de son utilisation pour l'aéronautique civile. Son coût, les capacités de production et le bilan énergétique pour le produire restent des problématiques à surmonter.

Les biocarburants (traitement d'huiles de cuissons usagées, de déchets de bois...), 80% moins émetteurs de CO<sub>2</sub> que le kérosène, viendront progressivement remplacer les carburants fossiles. Pour mémoire, Air France vise à intégrer 60% de ces carburants à l'horizon 2050. Son coût reste toutefois 3 à 8 fois supérieur à celui des carburants fossiles à ce jour et les sources d'approvisionnement sont très limitées.

La seule solution de stockage d'énergie majoritaire dans le domaine terrestre dans les 20 à 30 ans à venir restera les carburants fossiles, exotiques, synthétiques ou biocarburants.

### Hybridation des engins d'engagement au contact

Cependant, le besoin en énergie électrique en lien avec les engins d'engagement pose de nombreuses questions : Quelle la réduction de la consommation énergétique des plateformes ?

- Quelle production de l'énergie électrique pour satisfaire aux besoins énergétiques des systèmes embarqués et débarqués ?
- Quelle alimentation en énergie des drones terrestres et aériens et des engins électriques qui arriveront sur le théâtre d'opération ?
- Quel maintien ou de l'amélioration des temps de veille silencieuses malgré l'accroissement constant de la consommation des équipements embarqués ?

- Quelle amélioration de la résilience énergétique des systèmes ?
- Quel déplacement de certains engins à basse vitesse en mode furtif ?
- Quelles opérations de maintenance, et quelle gestion de la diversité des parcs ?

Cela a donné lieu à des expérimentations variées et par exemple :

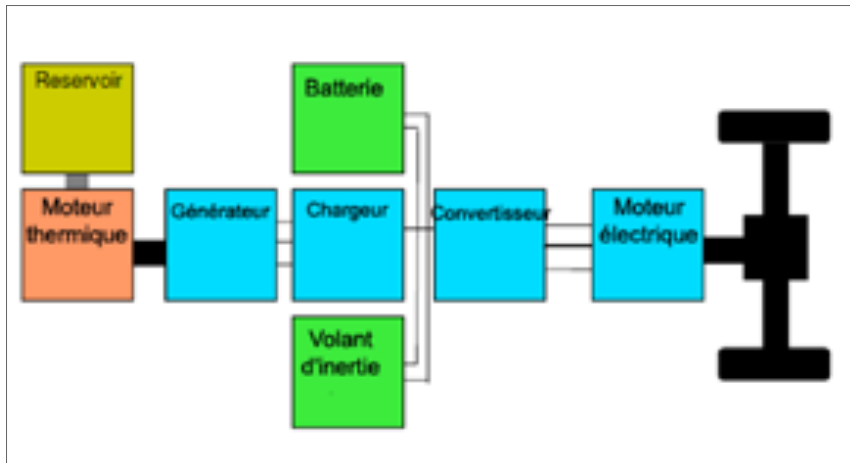
- La dotation de groupe moto propulseur de génératrices de forte puissance
- Le remplacement des batteries au plomb par des batteries Lithium-Ion
- L'adjonction de groupe électrogènes embarqués
- L'hybridation des matériels

S'agissant de cette dernière approche, les gains en consommation en déplacement, et selon les architectures d'hybridation retenues, peuvent atteindre jusqu'à 20%. Ces gains additionnés aux gains obtenus avec le stop and start peuvent atteindre jusqu'à plus de 40%. L'impact sur les masses est compensé par le downsizing des moteurs thermiques. Le démonstrateur ELECTER a montré la robustesse de l'adjonction d'une hybridation sur une chaîne cinématique classique (« 0 » incident sur 18 mois d'expérimentation). Seule une attention particulière sur le maintien en charge de la batterie de traction quand les matériels seront stockés sur une longue durée est à prévoir, en évitant le seuil de décharge profonde.



## Les architectures d'hybridation candidates

### Hybridation série



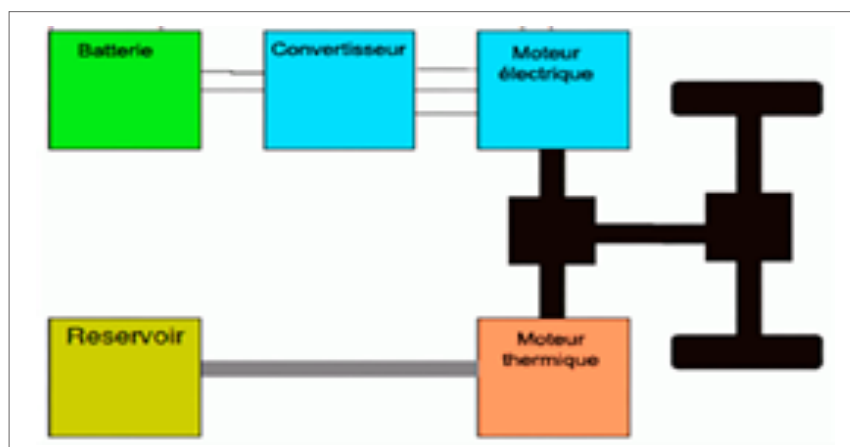
Depuis de nombreuses années, cette architecture reste pour plus d'un séduisante : on place où on veut (ou plutôt où on peut) un moteur thermique associé à une génératrice de puissance et on alimente un ou plusieurs moteurs électriques selon les contraintes d'intégration.

Un moteur électrique alimente :

- soit une chaîne cinématique unique (solution traditionnelle)
- soit chaque pont ou barbotin
- soit chaque roue

### Hybridation parallèle

Le principe consiste à rajouter en parallèle à un moteur thermique une



### Des perspectives d'hybridation de matériels opérationnels

L'accroissement des besoins énergétiques est constant ; L'hybridation des engins d'engagement au contact

machine électrique de forte capacité capable de fonctionner en symbiose avec le moteur thermique.

La machine électrique permet de *downsizer* le moteur thermique car elle apporte le complément de couple et de puissance au franchissement dans les situations extrêmes. Cette solution a de nombreux avantages notamment l'augmentation de l'autonomie (jusqu'à + 67%), la réduction de la consommation (jusqu'à -40%), l'amélioration de la production d'énergie pour d'autres usages : smart grid locale, rechargement de drones, temps de veille silencieuse ou résilience énergétique.

est la réponse la plus pertinente dans le contexte actuel. Pour confirmer la pertinence de cette technologie, l'étude d'un démonstrateur Griffon hybride a été notifiée à l'été 2023.

L'hybridation de certains camions tactiques ou logistiques pourrait aussi répondre à la question de l'énergie embarquée notamment pour les véhicules de transport de systèmes à forte consommation énergétique (transmissions, surveillance, guerre électronique, systèmes de défense sol/air, citieriers,...) Pour les engins actuellement en service, l'hybridation parallèle de l'ensemble de ces engins est envisageable en rétrofit, et p

Nul doute que l'hybridation des véhicules terrestres militaires va se développer dans les années à venir compte tenu des nombreux avantages apportés.

Si cette solution technique est parfaitement justifiée pour des matériels terrestres à fort besoins énergétiques, elle doit être analysée sur les autres matériels du fait du son coût (environ + 10% sur le coût des plateformes hors protection et systèmes embarqués) et doit être traitée comme une variante sur une gamme de véhicules plutôt que comme équipement de base. ☺



**François Deloumeau,**  
Arquus

François DELOUMEAU est Directeur de l'Advanced Engineering d'ARQUUS. Il assure au sein de cette société l'expertise dans le domaine des énergies embarquée et débarquée et des nouvelles énergies.



**Michel Bouvet,**  
IGA

Michel Bouvet a occupé divers postes de direction ou de direction générale au sein du ministère de la défense (SHOM, DAS, DGA) et dans le monde de la recherche publique (IRSN, DGRI, IRD). Il est désormais consultant au profit du GICAT.

# LES BATTERIES DANS LE NAVAL

Par Louis Le Pivain, IGA

Les batteries jouent depuis longtemps un rôle important pour le stockage de l'énergie dans le domaine naval. Auparavant, principalement destinées à apporter de l'autonomie en plongée aux sous-marins diesel-électrique, elles ont désormais un champ d'utilisation potentielle qui s'élargit avec la nécessaire décarbonation à laquelle sont confrontés l'ensemble des acteurs maritimes tant civils que militaires. De plus, la montée en puissance des drones, qu'ils soient de surface ou sous-marins encourage le recours à des propulsions par batteries.



Compartiment batterie d'un sous-marin classique (SSK) type Agosta

Cette utilisation dans le naval n'est néanmoins pas sans risque et nombreux sont les cas d'accidents créés par des batteries à bord de bateaux qui l'utilisent comme moyen de propulsion ou en transportent dans leur cargaison.

Ainsi, la disparition le 17 novembre 2017 du sous-marin diesel-électrique argentin San Juan qui a imploré dans l'Atlantique sud à 430 km des côtes sud-américaines avec 44 personnes à bord a probablement été causé par un problème de batterie.

Lors de mon premier poste à Lorient en sortie d'école je me souviens d'embarquements à bord de sous-marins type Daphné dans le

golfe de Gascogne au départ de la base de Keroman où existait encore l'escadrille des sous-marins de l'Atlantique. A la mer, ma place d'invité au carré lors des repas était sur une trappe qui devait être soulevée toutes les heures pour permettre à un matelot de mesurer le taux de dégagement d'hydrogène dans le local batteries juste sous le carré, information essentielle pour la sécurité en plongée.

Aux batteries au plomb ont désormais dans de nombreux cas succédé les batteries lithium-ion, qui présentent l'avantage d'une densité énergétique nettement supérieure. De plus, la directive REACH pousse à supprimer l'usage du plomb pour protéger la santé humaine.

Ainsi les Japonais ont installé des batteries lithium-ion à la mise en service des derniers sous-marins de la classe Soryu et ont construit un sous-marin autonome avec une batterie de Panasonic.

Les constructeurs automobiles se concentrent sur des batteries lithium-ion avec des prix de batterie désormais très compétitifs de l'ordre de 100€ du Kilowatt/heure, alors que dans le naval le prix est plus proche de 450€ du Kilowatt/heure. Ces batteries – par ailleurs très utiles et performantes – présentent un vrai risque d'incendie et d'explosion accompagnés d'émissions de gaz toxiques et particulièrement difficiles à éteindre. Le transport maritime des voitures électriques devient un problème. L'incendie du roulier Felicity Ace, entre l'Europe et les États-Unis, en mars 2022, a d'autant plus marqué les esprits que le bateau a coulé avec sa cargaison de quelque quatre mille voitures de luxe. La source du feu n'est pas confirmée officiellement. En revanche, il est communément admis que la présence à bord d'un certain nombre de véhicules électriques et de leurs batteries a entretenu le feu et empêché de le contenir. Plus récemment le 26 juillet 2023, le cargo Fremantle Highway transportant 3000 véhicules a pris feu au large des Pays-Bas. Un marin y a laissé la vie. Là encore le coupable serait un véhicule électrique dont la batterie aurait pris feu. Les assureurs sont en alerte.

On peut aussi citer le cas du cargo BBC Virginia transportant en ponté trois yachts à propulsion électro-solaire. Au cours d'une tempête au large de Taïwan, l'un d'eux a été percuté à cause d'un mauvais arimage, sa batterie a été atteinte, une fuite d'électrolyte a créé un violent court-circuit et un incendie qui a totalement détruit les trois yachts.

La filiale maritime d'Allianz a consacré un rapport entier, se félicitant que les pertes de navires aient diminué de moitié en dix ans. Elle s'alarme, à l'inverse, de voir le nombre d'incendies (toutes causes confondues) considérablement augmenter. En tête des causes possibles des feux très difficiles à maîtriser, elle pointe les batteries lithium-ion, qui peuvent déclencher l'incendie par emballement thermique, surchauffe, explosion, ou court-circuit.

L'opérateur de ferry suédois Havila, a pris la décision en janvier 2023 de refuser les batteries, y compris les batteries de vélo.

Les marins pompiers de Marseille et les sauveteurs en mer ont développé des moyens spécifiques pour intervenir sur des feux de batteries sur les navires.

Dans l'aéronautique, le BNAé, travaille sur une norme de transportabilité des batteries en avion, avec l'objectif d'éteindre un feu en moins de 20 minutes.

Les batteries au plomb sont actuellement encore la solution de référence pour les sous-marins conventionnels et nucléaires. Cependant, les optimisations possibles de la technologie au plomb semblent atteindre une asymptote.

Nombre des concepteurs se tournent pour des applications sur

sous-marins conventionnels vers la technologie LIB (Lithium-Ion Batteries) beaucoup plus prometteuse en termes de densité énergétique. Les avantages sont de plusieurs ordres : une maintenance simplifiée par rapport aux batteries au plomb, la suppression du risque de dégagement d'hydrogène, pour autant que l'on maîtrise bien le risque d'emballement thermique ou « venting », la possibilité d'utiliser la batterie dans des conditions opérationnelles réalistes sur une plage de capacité bien plus large (5-95% pour le lithium-ion contre 20-80% pour le plomb) et enfin un potentiel d'évolution des performances et de gain sur les prix tiré par d'autres secteurs industriels, en particulier l'automobile.

Les installations de stockage d'énergie par batteries sont aujourd'hui prises en compte par le Bureau Veritas et par son équivalent norvégien, le DNV, qui ont tous deux



Le «Felicity Ace» à la dérive après qu'un incendie s'est déclaré à son bord le 16 février 2022 au large des côtes portugaises. © Marine portugaise





Long de 120 mètres, large de 24 mètres, ce navire de 10 000t du chinois Cosco Shipping Heavy Industry dispose d'une capacité de charge de 700 conteneurs EVP. Sa propulsion est assurée par deux moteurs principaux de 900 kW, alimentés par 36 "batteries-conteneurs". Un sister-ship est en construction.

édité des règlements spécifiques.

En dehors du Lithium-ion, pour lequel Naval Group a une solution qui concilie la densité énergétique et la sécurité par un choix judicieux sur la chimie et la mise en système, d'autres technologies de substitution du plomb, sont en cours de développement.

Ainsi, le couple Nickel-Zinc peut être intéressant en termes d'alternative au plomb car des développements récents sur cette technologie ancienne ont permis de contourner les problèmes liés aux zincates et à la formation de dendrites au niveau des électrodes améliorant significativement la durée de vie de ces équipements. Il est désormais envisageable de les utiliser pour des applications marine. D'une résistance interne faible, les accumulateurs NiZn n'utilisent ni mercure, plomb, cadmium ou autres alliages de métaux, ce qui améliore leur recyclabilité. Ils n'utilisent pas non plus d'électrolytes inflammables ou organiques et les derniers modèles sont pourvus de séparateurs

polymères pour éviter la formation de dendrite. Enfin, le Nickel et le Zinc sont des métaux abondants, argument non négligeable dans la guerre des matières premières rares que nous vivons au niveau mondial.

Il y a désormais une montée en puissance de l'utilisation des batteries dans le monde maritime, principalement pour des usages courts, mais pas uniquement, car la recharge à la mer des batteries peut se faire par du solaire ou de l'éolien, dans un cycle vertueux totalement décarboné. Les exemples de bateaux tout électriques commencent à se développer pour les professionnels de la pêche côtière, les embarcations portuaires, les traversiers. La plaisance n'est pas en reste.

On peut rêver à un paquebot ou un cargo à propulsion vélique qui utiliserait un pack de batteries chargé par de l'éolien ou du solaire pour ses manœuvres de port ou pour la traversée de zones à faible émission.

Un signe ne trompe pas : plusieurs fabricants de batteries tels que Ac-

cuwatt, GCK qui électrifie les navires de croisières du lac d'Annecy, ont rejoint récemment au GICAN des adhérents plus anciens tels que Saft et Heliodive associé à son partenaire SCM, qui développe des batteries sécurisées utilisables dans les trois environnements, terrestre, aérien et maritime.

Un chantier chinois a lancé récemment un navire de 120 mètres de long, porte-conteneur de 700 EVP à propulsion totalement électrique par batteries.

Ne nous laissons pas distancer par nos concurrents asiatiques ! ☺



**Louis Le Pivain,**  
IGA, Vice-président  
du GICAN

Louis Le Pivain a travaillé dans le naval sur des sous-marins et des frégates à Lorient, Djeddah, Paris, et Ottawa. Il a été Président de Raidco Marine pendant 13 ans. Il est vice-président du Gican, Président de Kermenez, conseiller du commerce extérieur de la France et membre de l'Académie de marine.

# STOCKAGE DE L'ÉNERGIE

PLUS FACILE A DIRE QU'À FAIRE

Par Denis Plane, IGA

L'énergie ça se stocke : seconde par seconde, par minute, par heure, par jour, par saison, par lustre, par siècle !



Dampierre et Sully, nucléaire et château-fort : inutile en opex !

## De la milliseconde au quart d'heure

Le stockage d'électricité le plus permanent et indispensable, qu'on ne voit pas, est celui qui permet la fourniture d'électricité à 50 Hz exactement, quelles que soient les variations instantanées de consommation. A très court terme (moins de la seconde), c'est l'énergie cinétique des machines tournantes, et un peu les batteries. Sur plusieurs secondes, c'est la chaleur de la vapeur qui alimente les turbines. Lorsqu'on passe à la minute c'est le surplus de chaleur produisant de la vapeur, qu'il provienne du pilotage de centrale nucléaire ou de l'alimentation de centrale thermique au gaz. Pour les centrales nucléaires, c'est nouveau, car il faut compenser les variations de demande dues certes aux variations de consommation, mais surtout aux variations inopinées de la puissance fournie

par l'éolien (et dans une moindre mesure par le photovoltaïque). L'arrivée de l'éolien conduit à des évolutions importantes et rapides de la puissance fournie, et il a fallu, au-delà de la très grande flexibilité de la houille blanche, raccourcir la constante de temps du pilotage des centrales nucléaires pour qu'elles puissent diminuer ou augmenter rapidement leur puissance afin de s'adapter à une variation incontrôlable des énergies renouvelables. Dit autrement le nucléaire doit s'effacer devant les renouvelables. C'est de l'effacement à l'envers : le délicat équilibre commence dès la production d'électricité !

Bien sûr dans un cadre étendu, la gestion instantanée du réseau, incluant les importations d'électricité, est aussi une partie de la réponse : le nécessaire stockage de ressources est fait ailleurs, le plus

probablement par des énergies non renouvelables.

L'effacement équivalent des véhicules hybrides ne pose pas de problème, car la batterie stocke une énergie immédiatement disponible. Si on voulait comparer avec le réseau électrique, il faudrait imaginer un véhicule sans batterie alimenté par des panneaux solaires qui passerait sans préavis sous un tunnel : il est certain que l'optimisation du pilotage du moteur serait alors une exigence essentielle.

Un peu hors sujet, une mention spéciale aux énergies militaires ultra fiables, sans entretien et d'accès instantané : les matériaux énergétiques (voir le magazine des IA n°16 de juin 2022 «Boum !») et les piles thermiques, totalement inertes à froid qui sont activées par un bref échauffement. Les armes les plus sophistiquées en sont dotées.

## Un jour, stockage local, ça tient sur la batterie

Partout dans le monde, nous sommes habitués à tenir un jour : ordinateur, téléphone, radio, appareil photo, trajet en voiture, packs de réfrigération dans la glacière ; la multiplicité des usages exige de plus en plus de petits stockages. On peut simplement constater que l'accélération des techniques augmente le nombre d'équipements électriques, et donc les risques de perte d'autonomie globale, même si les consommations unitaires diminuent. Les petites batteries complémentaires, que la plupart d'entre nous possèdent, ne font que reculer le problème.

D'ailleurs le premier facteur de poids de l'équipement de base du premier «Félin» était la batterie.

Indirectement, l'accès à une énergie demande une autre énergie intermédiaire, la plupart du temps une batterie, par exemple pour faire démarrer un moteur. C'est également un signe de dépendance multipliée. Les voitures d'il y a 70 ans se démarraient souvent à la manivelle, les moteurs de certains chars démarraient par embrayage sur un lourd volant d'inertie lancé à la main en une dizaine de secondes d'efforts.

Tout s'améliore, surtout dans les techniques récentes : avec les premiers véhicules électriques du ministère de la Défense, l'indicateur de niveau de charge de la batterie plongeait de façon inquiétante sur les quelques kilomètres de l'auto-route qui monte à Villacoublay. Mais fondamentalement le problème est le même : rien dans la durée.

### En séjour long : le plein, s'il vous plaît

Lorsqu'on est loin des sources habituelles et fiables d'énergie il est indispensable de la trouver sur place ou de la stocker, en petites ou grosses quantités. L'assurance d'une disponibilité sur place n'est pas toujours au rendez-vous.

Pour l'électricité des petits équipements, fonctionnant sur piles, il fallait stocker d'énormes quantités de grosses piles R20 (celles des vieux jouets) bien sûr spécifiques des armées par leur tenue au froid mais utilisées avec parcimonie en métropole tempérée... et détruites sans avoir été utilisées à la date de leur péremption.

Le stockage peut-il être durable ? L'énergie primaire se stocke bien, l'énergie directement utilisable moins bien, sauf les carburants, qui demandent toutefois une transformation complexe (les moteurs)



Carburacteur ou hydrogène à long terme, donc toujours des traînées de condensation pour les avions

Stocker, cela coûte de l'énergie, surtout si les carburants sont spécifiques.

### A très long terme : dans la terre

L'énergie disponible à long terme se trouve dans la terre, directement ou pas. On peut penser que c'est gratuit et n'est pas un problème à moyen terme ? En fait il faut déjà commencer par faire des réserves par crainte d'une pénurie. Réserve politique en diversifiant nos sources d'approvisionnement, réserve de précaution par des stocks stratégiques, peut-être bientôt réserves de matériaux rares de base, réserve de composants essentiels pour les nouvelles énergies en opération ? Restent les énergies de la terre, géothermie et énergie des marées, inépuisables à notre échelle, séduisantes... mais intransportables, comme l'énergie nucléaire en OPEX.

### Hors de la métropole : on va chercher l'énergie ailleurs !

Chez les militaires comme chez ONG humanitaires, tout le monde comprend qu'un bon stockage doit être fiable, sans danger, sans

risque de pénurie, économique, écologique, bon marché, accessible. Sans stockage, la capacité s'éteint. L'idéal est l'énergie stockée qui ne s'use que si on s'en sert. Peu de sources opérationnelles répondent à ce besoin : les hydrocarbures, les piles thermiques (car pour les batteries ordinaires il faut régulièrement vérifier ou compléter la charge), les explosifs et matériaux énergétiques.

### A court terme, les nouvelles énergies sont un leurre pour les systèmes opérationnels.

Les nouveaux moteurs terrestres resteront tributaires des hydrocarbures, et aucune autre solution ne voit le jour pour les équipements en développement. Si les armées s'intéressent aux évolutions technologiques c'est à long terme seulement, et donc plutôt pour des raisons d'affichage. En pratique ce qui compte est question de modalités, par exemple sur le ou les types de carburant, leur disponibilité et leur accessibilité.

Les autres solutions radicales (électricité, hydrogène...) ne sont pas



encore crédibles, et l'effet militaire d'une hybridation éventuelle se limite à une furtivité sonore momentanée.

### Où sont les stocks ?

Stocks militaires : en station chez des pays amis ou dans une zone accessible au commerce, les carburants existent dans des réservoirs locaux, et il suffit d'en extraire un peu pour remplir des stocks propres et se sentir rassuré. C'est le stock dual, qui présente les risques de la dualité : il faut que la structure civile reste valide, ce qui est loin d'être forcément le cas. Ce sont donc les stocks du SEO qui sont d'un emploi dual (pour moitié environ, avec des tarifs différents). On se rappelle par exemple que le réseau de la Gendarmerie est devenu muet lors d'une inondation du Rhône, faute d'alimentation civile.

### Des solutions ? Ce ne sera pas simple

Les réponses sont techniques, logistiques, politiques et internationales

Mais toute action sur l'énergie emporte son lot d'impacts et de complications d'accompagnement.

La seule loi du 22 juin 2023 sur les nouvelles installations nucléaires (loi «sur l'accélération du nucléaire», présentée en procédure accélérée le 2 novembre 2022) prévoit 4 rapports au parlement avant un an, et 5 autres avant 5 ans. La complexité apparaît dès la gouvernance : «Une disposition législative ne constitue pas une décision publique au sens de l'article 7 de la Charte de l'environnement.» Le nombre de cavaliers ou de mesures d'accompagnement (avec des articles sur l'hydrogène, les RH, la parité, l'artificialisation des sols, etc) proposés dans un environnement déjà com-

plexe montre tout simplement qu'il n'y a pas de solution simple.

Energie rime aujourd'hui avec économie d'énergie, énergie durable, etc : où faire porter l'effort ? La Défense a besoin d'une énergie simple, accessible, quel qu'en soit le prix, donc souveraine, donc stockée.

Simple : en devenant en 2021 le SEO (service de l'énergie opérationnelle), l'ancien service des essences des armées montre le besoin d'une bascule d'abord vers un produit unique pour tous (hors gasoil naval et gasoil routier), le carburéacteur (qui se décline en 8 carburants actuels<sup>1</sup>) puis vers des énergies multiples, plus largement que les seuls produits pétroliers actuellement. Les biocarburants doivent franchir, notamment dans le domaine aéronautique, de nombreuses étapes de certification ; l'hydrogène, quelles que soient ses qualités, pose une double énorme difficulté de transport et de stockage. On n'imagine même pas encore l'allure des futurs dépôts de campagne !

Accessible : en métropole, le Président de la République a décidé de créer un vaste réseau de stations de recharge de véhicules électriques... comme aux USA en 1900, lorsque presque la moitié des véhicules étaient électriques. Dans le même temps l'essence était vendue en bidons dans les épiceries. La logistique du transport pétrolier, assumée par le SEO, s'ouvrira – comme pour le maritime – aux autres énergies. On peut noter (et craindre) la lenteur des développements logistiques en regard de l'accélération des techniques utiles ou imposées.

Souveraine : SAFT, dont l'actionnariat était devenu à intérêts purement financiers, a été un temps placée sous contrôle d'un commissaire du

gouvernement, avant l'acquisition par TotalEnergies

Des piles thermiques critiques de ASB, soumises aux règles ITAR à cause de matériaux de base, ont dû attendre (et ont obtenu) l'autorisation américaine.

L'OTAN a son propre réseau d'oléoducs, avec plus de 2000 km d'«oléoducs de défense commune» en France, et la capacité de stockage propre aux Armées est de près de 500 000 m<sup>3</sup>.

Avoir de l'énergie disponible, c'est bien, l'avoir en temps de crise, c'est mieux !

En bref l'énergie ça se stocke, mais le stockage est aussi multiforme que la production. Il est probablement plus rentable d'économiser l'énergie que de la stocker, mais il faut quand même des provisions ! Mix électrique, pilotage : seconde par seconde, par minute, par heure, par jour, par saison, par lustre, par siècle : technique spécialisée, pilotage nucléaire, effacement, stockage, industrie, planification, décarbonation et COP, urgence variable, respect de la nature. C'est bien compliqué, et tout le monde mélange, sans même parler de la confusion entre énergie et puissance. La simplification populaire ne suffit pas : c'est un vrai métier, dans les cordes des IA ! ☺



Denis Plane, IGA

Denis Plane, a commencé sa carrière sous le signe du naval à Toulon puis au STCAN. Passant par les missiles, le service technique des systèmes navals puis le service technique des technologies communes, il dirige la direction des programmes de la DGA jusqu'en 2003.

1 : supercarburant F67, carburéacteur F34, carburéacteur F35, carburéacteur diesel F63 et XF63, carburéacteur HPE F44 et XF43, essence aviation. Les quantités sont mesurées en fûts de 197 litres

# LA FORMATION D'INGÉNIEURS POUR LE SECTEUR DES ÉNERGIES

## UN TRIPLE ENJEU TECHNO ÉCONOMIQUE, ENVIRONNEMENTAL ET DE SOUVERAINETÉ



Par **Didier Dalmazzone**, Professeur ENSTA Paris

La transition énergétique est un défi majeur de ce siècle, qui ne relève pas uniquement d'une optimisation techno-économique sous contrainte environnementale, celle de la préservation du climat. Comme le montrent les récents événements, il s'agit bel et bien d'un enjeu de souveraineté, à l'heure du retour de tensions géopolitiques qu'on a cru, un temps, pouvoir oublier. Dans ce contexte, comment l'ENSTA Paris conçoit-elle ses formations de futurs ingénieurs pour le secteur de l'énergie ?

Dans sa leçon inaugurale de la Chaire annuelle Avenir Commun Durable du Collège de France, Christian Gollier<sup>1</sup> recommandait en 2021, pour respecter l'objectif d'un réchauffement global limité à 2 °C, de fixer immédiatement à 150 €/t<sub>CO2</sub> le prix du carbone payé par tous les émetteurs, avec un taux de croissance de 4 %/an pour atteindre 500 €/t<sub>CO2</sub> en 2050. A titre de comparaison, le CO<sub>2</sub> s'échange actuellement un peu moins de 100 €/t<sub>CO2</sub> sur le marché européen des permis d'émission négociables (EU ETS), tandis que la plupart des systèmes comparables mis en place dans les autres grandes zones économiques valorisent le CO<sub>2</sub> à des prix nettement plus bas encore. Face à l'ampleur de la tâche et à la menace que représente le dérèglement climatique en cours, rester passifs ou remettre à plus tard les décisions difficiles n'est pourtant plus acceptable.

Cependant, les raisons de ne pas agir restent nombreuses : externalité des atteintes climatiques (pourquoi devrais-je consentir des efforts qui profiteront à d'autres ?) ; tragédie des horizons temporels (fin du Monde/fin du mois) ; délocalisation des activités fortement émettrices (déplacement du problème vers des pays moins exigeants). Un événement de taille est venu récemment changer bien des perspectives : le retour de la guerre sur le continent européen et, avec

lui, le bouleversement des certitudes bien établies concernant nos approvisionnements en matières premières (gaz naturel et pétrole russe) et notre accès à certaines technologies indispensables à notre développement durable (batteries et métaux rares venus de Chine, semi-conducteurs). Les réponses apportées en catastrophe à ce choc par l'Europe ont eu des effets contradictoires : d'un côté, le regain d'intérêt pour les énergies renouvelables et la filière nucléaire française, va dans le sens d'une décarbonation du mix énergétique ; de l'autre, la réouverture de centrales thermiques au charbon et le recours accru au lignite serait une catastrophe si cela devait se prolonger.

La bonne nouvelle dans ce tableau assez sombre viendra de la jeunesse : l'importance et l'urgence de la transition ne font plus vraiment débat chez les étudiants, qui sont pour la plupart prêts à s'engager pour la planète, le climat et la biodiversité, y compris de manière radicale pour certains d'entre eux. Les formations dispensées dans le domaine des énergies à l'ENSTA Paris visent donc autant à répondre aux attentes des ingénieurs citoyens de demain qu'aux défis que pose la transition à notre société, sans rien renier du positionnement traditionnel de l'Ecole sur les enjeux de souveraineté. Que ce soit dans le

domaine de l'énergie nucléaire, des énergies marines renouvelables ou dans un parcours plus généraliste baptisé énergies en transition, il s'agit plus que jamais de porter les compétences fondées sur les disciplines scientifiques au plus haut niveau d'excellence qui a fait la réputation de l'Ecole. Ce socle de compétences interdisciplinaires, basées sur la mécanique, la physicochimie et les mathématiques appliquées permettra aux futurs diplômés de maîtriser les défis techniques complexes qu'ils auront à affronter et de s'adapter aux bouleversements qui ne manqueront pas d'intervenir. Mais il s'agit également de leur donner les outils de la maîtrise des enjeux économiques et sociétaux évoqués plus haut. Et, plus largement, d'offrir à chacun la possibilité de donner un sens à son action, en accord avec ses principes et ses aspirations les plus nobles. ☺



**Didier Dalmazzone**,  
Directeur Adjoint de  
l'UER de Chimie et  
Procédés, ENSTA  
Paris

Ingénieur Chimiste, Docteur en Génie des Procédés, Habilitation à Diriger des Recherches. 1989 Ingénieur de Recherche, Laboratoire de Mécanique et Energétique, ENSTA. 2000 Enseignant-chercheur, UER de Chimie et Procédés, ENSTA ParisTech. 2017 Directeur Adjoint de l'UER de Chimie et Procédés, ENSTA Paris. Responsable du Parcours de spécialisation «Energies en transition», responsable de la Mention Energy du Master IP Paris

<sup>1</sup> : Directeur général de la Toulouse School of Economics, « Entre fin du mois et fin du Monde : économie de nos responsabilités envers l'humanité », 9 décembre 2021

# L'EAU MOUILLE-T-ELLE LA GLACE ?

ET POURQUOI CETTE QUESTION EST IMPORTANTE AUJOURD'HUI

Par Rodolphe Grivet, IA

Les propriétés esthétiques des objets capillaires (gouttes, bulles, ruisselets...) en font des objets d'étude fascinants, mais leurs propriétés physiques et leur omniprésence au quotidien leur confèrent également une grande importance pour l'industrie et l'environnement.

Le 18 mai 1894, Arthur Worthington commençait avec humour un discours à l'Institut Royal de Grande-Bretagne : « La fragmentation d'une goutte est une opération qui s'accomplit en un clin d'œil, et il peut sembler à certains qu'un homme qui se propose d'en parler pendant une heure doit avoir perdu tout sens des proportions ». Me préparant à répéter l'exercice à l'occasion de ma soutenance de thèse, je remarque que l'opinion décrite par Worthington persiste à une époque où la physique des gouttes et des bulles est étonnamment cruciale.

## Ma thèse en quelques mots

Mon doctorat s'est intéressé à la solidification de ces objets, que l'on appelle capillaires à cause de leur petite taille caractéristique (typiquement de l'ordre du millimètre).

En pratique, je me suis concentré sur le mouvement de la ligne de contact, qui sépare le fluide, le solide et le gaz. Sans solidification, ce mouvement est déjà relativement complexe à étudier car les lois classiques de la mécanique des fluides

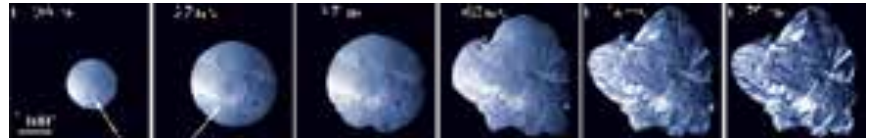


Figure 1 : Étalement d'une goutte d'eau sur une surface froide, vu par en dessous. L'étalement est arrêté par la nucléation et la croissance de cristaux de glace à l'intérieur de la goutte.

ne suffisent pas à le décrire : un phénomène moléculaire (le glissement) doit être pris en compte pour comprendre la simple observation expérimentale qu'une goutte peut s'étaler. Le couplage de l'étalement ou de la rétraction d'une goutte avec la solidification est donc tout sauf trivial. Plus précisément, je me suis d'abord intéressé expérimentalement à ce qui arrête une goutte lorsqu'elle s'étale sur une surface froide : comme le montre la Figure 1, des cristaux grandissent à l'intérieur de la goutte et rattrapent la ligne de contact, l'arrêtant *in fine*. Ensuite, nous avons pu montrer expérimentalement que des surfaces très froides ( $-60^{\circ}\text{C}$ ) se comportent comme des surfaces superhydrophobes, n'aimant pas l'eau, notamment dans le cas d'impacts de gouttes (voire Figure 2). Finalement, je me suis intéressé à une propriété plus fondamentale du système eau-

glace : sa mouillabilité, c'est-à-dire le gain énergétique qu'une goutte réalise en s'étalant sur de la glace, indépendamment des phénomènes de changement de phase. Mon expérience force de façon maîtrisée une situation hors équilibre, et mes mesures macroscopiques combinées à une théorie renforcée par les méthodes numériques permet de terme, d'arriver à cette conclusion surprenante pour le lecteur non initié : l'eau ne mouille pas la glace. En d'autres termes, l'eau liquide éprouve une certaine aversion à s'étaler sur de la glace.

A priori, rien de tout ceci ne mobilise des outils très nouveaux : la capillarité, décrite peu avant le 18<sup>ème</sup> siècle et popularisée par les expériences de montée capillaire de Jurin, fut à peu près intégralement décrite par Laplace et Young pendant la période napoléonienne. De

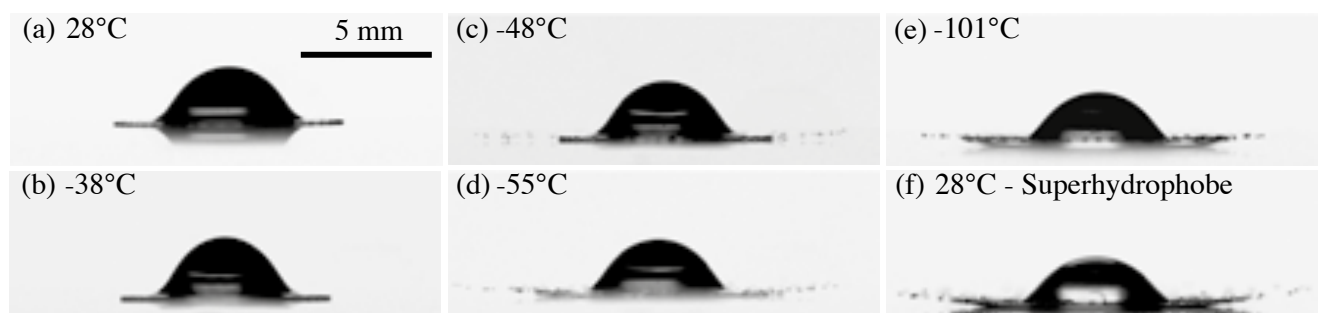


Figure 2 : Impact et « splash » d'une goutte sur une surface solide plus ou moins froide (a-e) et superhydrophobe (f). Des mesures quantitatives montrent que le cas (e) est largement similaire au cas (f).





Figure 3 : Dégivrage d'une éolienne par hélicoptère. Cette situation semble cependant assez rare.

même, Lamé et Clapeyron avaient déjà posé en 1831 les bases du modèle principal de la solidification, renommé problème de Stefan en l'honneur de celui qui l'étudiera quelques 50 ans plus tard. Que vient donc faire tout ce 19<sup>e</sup> siècle à l'ère d'internet et de l'intelligence artificielle ?

« EN PRATIQUE,  
L'ACCRÉTION DE  
GLACE PEUT ALLER  
JUSQU'À TRIPLER LA  
TRAÎNÉE D'UNE AILE  
SI ELLE N'EST PAS  
PRÉVENUE »

D'abord, ces phénomènes d'impacts de gouttes, d'éclatement de bulles, de jets formés par la résorption de cavité n'ont pas perdu de leur superbe : ils sont toujours aussi hypnotiques que le ruissellement de l'eau sur un pare-brise, « *exquisitely regulated* » pour reprendre les mots de Worthington, et la symétrie des flocons fascine toujours. Cela seul en justifierait bien l'étude, mais ce ne serait qu'une partie de la réponse.

### Des applications nombreuses

L'impression 3D convoque à la fois l'écoulement d'un fluide contraint par sa surface (c'est le côté capillaire), et la solidification de ce dernier ; en métallurgie, on pourra chercher à recouvrir un matériau d'un fin revêtement déposé par un nuage de gouttes. De plus en plus, ces cas d'usages concernent des échelles submillimétriques, où la cohésion de la matière joue un rôle déterminant. La compréhension du couplage entre l'écoulement capillaire et la solidification n'est qu'une brique dans la démarche plus globale de compréhension et d'optimisation de ces procédés qui sont notamment essentiels en électronique.

Une application encore plus directe concerne le givrage, notamment celui des avions. Si le nombre d'accidents recensés par le BEA liés au givrage est assez faible (23 depuis 1950), c'est surtout parce que chaque avion s'en prémunit, et ce à grand renfort d'énergie : circulation d'air chaud dans les aubes, chauffage des surfaces... En pratique, l'accrétion de glace peut aller jusqu'à tripler la traînée d'un avion si elle n'est pas prévenue, avec des conséquences dramatiques pour l'autonomie. Ce problème est probablement accru pour les drones,

dont le rapport entre la surface et le poids (donc l'énergie embarquée) peut prendre un facteur dix par rapport aux appareils « habités ».

Mais la question touche aussi de nombreux systèmes terrestres, à commencer par les éoliennes dont la modification du profil à cause du givre affecte sévèrement les capacités : il arrive même parfois de dégivrer une éolienne avec un hélicoptère ! De même, les câbles électriques peuvent s'effondrer sous le poids de la glace accumulée, ce qui cause régulièrement des coupures de courant dans certaines régions froides.

Enfin, la compréhension de la solidification des écoulements capillaires s'avère être cruciale dans la compréhension de notre environnement, et des perturbations qu'un changement de climat pourrait engendrer. Ces mêmes phénomènes sont en effet à l'œuvre en hiver lorsqu'une stalactite se forme, ou qu'une cascade de glace fond. Ils sont également les moteurs de la modification des sols due aux cycles de gel-dégel dans les régions du nord, pouvant aller jusqu'à créer des montagnes de dizaines de mètres de haut.

La science des objets capillaires n'a donc pas dit son dernier mot, et nous n'avons évoqué que les cas où ils se couplent avec un changement de phase liquide-solide. En particulier, réussir une modélisation numérique pertinente de ces phénomènes, souvent multi-échelles et multi-physiques, est aujourd'hui aussi important que difficile. ☞



**Rodolphe Grivet,**  
Ingénieur de  
l'armement

Doctorant au LadHyX (Ecole polytechnique - CNRS) et à l'Institut Jean le Rond d'Alembert (Sorbonne Université - CNRS) en dernière année sur l'interaction entre la solidification et les mouvements de lignes de contact.

# REFLEXIONS

# ENERGIE, ÉCOLOGIE, ÉCONOMIE : UN TRIPLE DÉFI A RELEVER

## OU COMMENT ANTICIPER, DANS UN MONDE FINI, LA FIN SIMULTANÉE DE L'ABONDANCE EN ÉNERGIES FOSSILES, DE LA STABILITÉ CLIMATIQUE ET D'UNE ÉCONOMIE DÉCORRÉLÉE DU MONDE PHYSIQUE

Par Dominique Monvoisin, IGA

*La société occidentale développée dans laquelle nous évoluons s'est structurée depuis plus de 70 ans sans imaginer de contraintes majeures sur la disponibilité des combustibles fossiles, sans se préoccuper des effets de l'utilisation de ces énergies sur la stabilité du climat et sans questionner l'hypothèse d'une croissance économique perpétuelle, alors que nous vivons dans un monde fini. Même si l'homme, dans son histoire récente, a toujours réussi à repousser des limites perçues auparavant comme infranchissables, le triple défi qui se pose aujourd'hui à nous est d'une ampleur vertigineuse face à laquelle le GIEC, dans son dernier rapport de mars 2023, nous exhorte à mettre en œuvre de façon urgente les solutions déjà disponibles.*

### Et pourtant l'identification de ce défi n'est pas nouvelle

Ainsi, en 1972, à la demande du Club de Rome, une équipe de chercheurs du MIT encadrée par Denis Meadows publiait les résultats de ses travaux visant à appréhender les causes et les conséquences d'une croissance physique (empreinte écologique) continue dans un monde fini. Le livre correspondant « The limits to growth », qui a fait l'objet de rééditions ultérieures, allait créer un choc dans la communauté scientifique et économique internationale, se traduisant par un immense succès de librairie mais allait être dénigré puis ignoré par les dirigeants et économistes des pays développés, qui y voyaient une apologie de la décroissance, incompatible avec leur vision économique du monde.

L'équipe du MIT a considéré les cinq facteurs essentiels qui, selon elle, déterminent et limitent en fin de compte, dans leurs interactions, la croissance physique sur notre planète : l'augmentation de la population, la production agricole, l'épuisement des ressources non renouvelables, la production industrielle et la production de pollution (il n'était pas encore question d'effet de serre). Elle a élaboré un modèle dynamique du développement mondial, paramétré par ces cinq facteurs, dont elle a ensuite testé le comportement en fonction de plusieurs séries d'hypothèses afin de caractériser différentes trajectoires possibles pour l'avenir de l'humanité.

La trajectoire suivie depuis 50 ans se retrouve dans deux des dix scénarios modélisés. Ceux-ci se caracté-

térisent, au début du XXI<sup>e</sup> siècle, par un accès de plus en plus difficile et coûteux aux ressources non renouvelables et concomitamment par une augmentation croissante et pénalisante de la pollution mondiale. Ces deux tendances contraignent progressivement l'économie mondiale et conduisent à une contraction rapide de la production industrielle, les investissements mondiaux ne pouvant suffire à financer simultanément la dépréciation de l'outil productif, l'accès aux ressources non renouvelables, la lutte contre la pollution, le maintien de la production de nourriture et les services essentiels à la population (santé, éducation..).

L'étude conclut au caractère inéluctable de l'adaptation (gérée ou subie) de l'empreinte écologique des activités humaines à la capacité de charge de la planète.

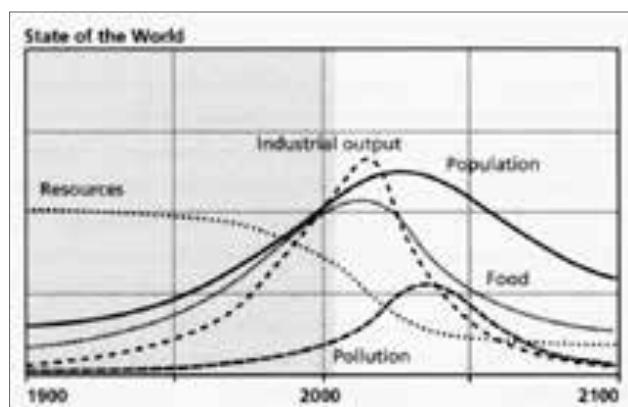


Fig 1 : Scénario n°1 "business as usual" avec épuisement rapide des ressources non renouvelables



## L'abondance en énergies fossiles a structuré notre mode de vie actuel

La disponibilité en énergies fossiles abondantes et bon marché, couplée à un progrès technologique continu a façonné notre mode de vie depuis l'ère industrielle (1850) et de façon encore plus marquée depuis 1950. L'augmentation récente considérable du transport des marchandises par voie maritime, de la mobilité en véhicule automobile, du transport aérien, de la production de béton et d'acier a structuré notre société, nos villes, nos modes de consommation, dans une perception voire une conviction d'un accès sans limites aux énergies et de façon plus générale aux ressources non renouvelables de notre planète.

La production énergétique mondiale s'est accrue d'un facteur 2,5 depuis le premier choc pétrolier de 1972, avec une superposition de la consommation de toutes les formes d'énergie. La consommation mondiale de charbon n'a ainsi jamais été aussi forte qu'en 2022.

C'est bien cet accroissement continu de la consommation d'énergies fossiles qui a permis au monde de connaître une croissance économique sans égale depuis 70 ans.

L'humanité n'a cependant pas encore pris conscience du caractère tarissable des réserves de combustibles fossiles, de ressources minérales, à un horizon proche s'agissant du pétrole et du gaz.

Ainsi, dans une étude publiée en 2021 et réalisée au profit du ministère des Armées, le Shift Project<sup>1</sup> a produit une analyse circonstanciée des risques qui pèsent sur les approvisionnements pétroliers de l'Union européenne, première importatrice mondiale de pétrole brut à égalité avec la Chine. Les experts consultés concluaient que si rien ne changeait, l'Europe risquerait fortement de manquer de pétrole au cours des années à venir, et de façon certaine au cours de la décennie 2030.



Fig 2 : Projections post-2020 de production de pétrole brut des 16 principaux pays fournisseurs de l'UE

Comme le souligne Matthieu Auzanneau, un nouvel ordre géopolitique et économique, particulièrement redoutable pour la majeure partie des États Européens, importatrice de pétrole mais aussi de gaz, se met désormais en place sous contraintes de disponibilité en énergie et en matières.

La sortie des énergies fossiles devient donc impérative pour l'Union Européenne, tant pour des questions de disponibilité que du fait des conséquences climatiques résultant de leur usage.

## L'urgence climatique et écologique s'impose à nous

Les messages principaux du GIEC, dont le dernier rapport a été diffusé en mars 2023, ne laissent aucune place à l'ambiguïté :

V. Masson-Delmotte : « Il est clair depuis des décennies que le climat de la Terre change, et l'incidence des activités humaines sur le système climatique est incontestable » ;

P. Zhai « il faudra, pour stabiliser le climat, procéder à des réductions fortes, rapides et soutenues des émissions de gaz à effet de serre (GES) et ramener à zéro les émissions nettes de CO<sub>2</sub> » ;

H.O. Pörtner : « Le changement climatique menace le bien-être de l'humanité et la santé de la planète. Tout retard dans l'action mondiale concertée nous ferait perdre un temps précieux et limité pour instaurer un avenir viable » ;

J. Skea : « Le changement climatique est l'aboutissement de plus d'un siècle de pratiques non durables, tant du point de vue de l'utilisation de l'énergie et de l'exploitation des terres que de nos modes de vie, de consommation et de production. »

Et pourtant depuis l'entrée en vigueur en novembre 2016 de l'accord de Paris qui fixe pour objectif de « limiter le réchauffement climatique à un niveau bien inférieur à 2°C, de préférence à 1,5°C, par rapport au niveau préindustriel », les émissions mondiales de CO<sub>2</sub>, issues majoritairement de l'utilisation des combustibles fossiles, ont continué à croître et le budget CO<sub>2</sub> restant avant d'atteindre un niveau de réchauffement de 2°C est désormais inférieur à 30 ans, au rythme actuel des émissions mondiales.

Les effets déjà perceptibles du changement climatique alors que le niveau actuel de réchauffement de 1,2 °C devraient inciter les principaux pays responsables de ces émissions (le G20 produit 75% des émissions mondiales) à mettre rapidement en application les préconisations du GIEC. Si rien ne change rapidement à l'échelle de la planète, il est clair que notre futur climatique mondial de la seconde moitié de ce siècle se situera plus près des 3°C que des 2°C, avec les conséquences dramatiques associées.

1 : The Shift Project : think tank présidé par Jean-Marc Jancovici et dirigé par Matthieu Auzanneau

L'UE a pris des engagements forts en adoptant en juin 2021, la loi européenne sur le climat « European Green Deal » qui vise une neutralité climatique en 2050, puis a accéléré la cadence vis-à-vis des objectifs 2030 en adoptant un ensemble de propositions rattachées au paquet « Fit for 55 ». L'ensemble de ces engagements sera décliné dans la future stratégie française sur l'énergie et le climat.

Au regard de cette nécessité d'abandonner progressivement les combustibles fossiles au niveau européen, il est nécessaire de s'interroger sur la soutenabilité sociale et économique d'une telle transition, en questionnant son impact sur les différents secteurs productifs de l'économie nationale et les emplois correspondants, le rythme à adopter, et la cible finale à horizon 2050.

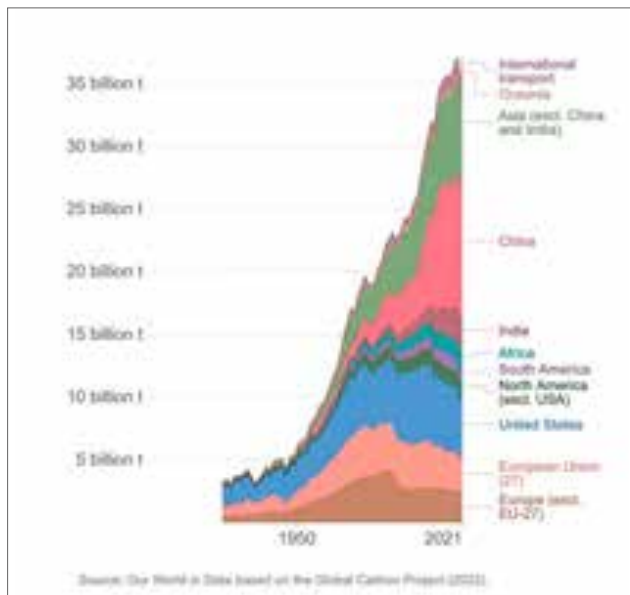


Fig. 3 - Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> issues des combustibles fossiles et de l'industrie - <https://ourworldindata.org/>

### Notre capacité à atteindre la neutralité carbone en 2050 est réelle

Le Shift Project a publié en février 2022, après deux ans de travaux, son « Plan de transformation de l'économie française », qui résulte d'une analyse des grands usages et des secteurs productifs (16 au total), sur la base d'un travail collectif, itératif et d'échanges avec les professionnels de ces secteurs.

Ce Plan a été élaboré selon une approche systémique et cohérente du point de vue des lois de la physique et des flux économiques, en prenant en compte les vraies ressources rares (les ressources physiques et les compétences) et a conduit à des propositions pragmatiques qui ne reposent pas sur le pari de la croissance économique, ni sur des évolutions technologiques encore non éprouvées.

Chacun des grands usages ou secteurs productifs a été analysé et a donné lieu à la publication d'un ou de plusieurs rapports, disponibles sur le site du Shift Project. Ces publications se rapportent notamment aux secteurs « amont » comme : agriculture-alimentation, forêt-bois, énergie, fret, matériaux et industrie, industrie automobile, et aux secteurs « usages » comme la mobilité quotidienne, la mobilité longue distance ou le logement.

La première conclusion de ces travaux, qui ont privilégié un raisonnement en flux physiques de matières ou de matériels, ou en ressources humaines, plutôt qu'en euros, considérant que de toute façon la dépense correspondante était inéluctable, est qu'une telle trajectoire de décarbonation de l'économie française est réaliste à l'horizon de 2050 et qu'elle s'accompagnera d'une transformation, disparition et création de certains emplois avec au total un solde positif net de 300 000 emplois sur une base de plus de 11 millions d'emplois. Le suivi d'une telle trajectoire suppose, selon le rapport, la mise en place d'une planification opérationnelle coordonnée des différents secteurs avec une gestion pilotée des ressources rares et de l'évolution profonde de notre système de production électrique.

La seconde grande conclusion de ces travaux est que pour un secteur déterminé, l'atteinte d'un objectif de décarbonation en 2050 passe par un juste équilibre, entre chaque secteur et au sein de chacun d'eux, entre sobriété, efficacité énergétique et ruptures technologiques.

Cette sobriété qui doit être désirée et acceptée, sélective et proportionnelle, a même fait l'objet d'un rapport de l'Académie des Technologies publié en juin 2023, qui précise en particulier que « la sobriété est nécessaire à court terme, car la technologie ne suffira pas à faire face à l'urgence climatique et que la sobriété est nécessaire au progrès et le progrès nécessaire à la sobriété ».

Cette sobriété apparaît incontournable car face à une électrification massive des usages et process industriels, la capacité future de production d'électricité décarbonée ne pourra répondre à toutes les demandes ; une situation analogue caractérise les projections faites aujourd'hui sur l'usage de la biomasse et des sols, qui rendra impérative un arbitrage entre des besoins concurrents d'alimentation de la population, du bétail et de production d'agro-carburants pour la mobilité.

### L'impact de cette transition écologique sur notre économie sera majeur

Au-delà de l'acceptation largement partagée sur le fait qu'à long terme, le coût économique de l'inaction climatique excède de loin celui de l'action, peu de tra-

vaux macroéconomiques argumentés ont été publiés concernant le coût de la transition écologique, sans parler de l'impact économique résultant de l'adoption d'un modèle de société conciliant neutralité climatique et croissance ou mieux bien-être.

Le premier rapport d'ampleur publié sur le sujet au plan national « Les incidences économiques de l'action pour le climat » a été rendu public en mai 2023 par Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz. Les messages argumentés qu'il délivre donnent une idée de la transformation considérable à conduire pour tenir les objectifs fixés et de la communication indispensable qui devra accompagner cette transition pour qu'elle recueille l'adhésion de la population et des parties prenantes.

Il est remarquable de noter dans ce rapport l'utilisation de termes (finitude de la planète, sobriété, bien être, équité, acceptabilité sociale) rencontrés plus fréquemment chez les responsables soucieux de l'avenir écologique de notre planète que parmi les économistes.

De façon générale, le rapport considère que « cette transformation, d'ampleur comparable aux révolutions industrielles du passé, mais plus globale et plus rapide, devra être pilotée d'abord par les politiques publiques et non par les innovations technologiques et les marchés. Dans les années à venir, la décarbonation va appeler un supplément d'investissement par rapport à un scénario sans action climatique qui pourrait dépasser 2 points de PIB par an en 2030. Le coût économique de la transition ne sera politiquement et socialement accepté que s'il est équitablement réparti. »

La décennie à venir est ainsi qualifiée comme celle de toutes les difficultés.

A plus long terme et considérant les incertitudes associées, le rapport ne se prononce pas sur les effets sur l'évolution du PIB d'une transformation de notre société à l'horizon 2050, préférant orienter ses propos sur la notion de bien-être.

Enfin le rapport reconnaît que la transition climatique pose des problèmes nouveaux à l'analyse économique et qu'elle signe le retour du concret dans les préoccupations macro-économiques, avec la nécessité de prendre en compte la finitude de la planète et de questionner la disponibilité de certaines ressources comme les matériaux critiques. Par ailleurs, il considère que les incidences macro-économiques de la sobriété sont difficiles à appréhender a priori.

Dès lors, on ne peut qu'être circonspect devant l'attitude de certains responsables qui ont les yeux rivés sur

l'évolution du PIB, qui plus est projeté en croissance continue dans leurs scénarios prospectifs, ceci indépendamment de la raréfaction de certaines ressources épuisables, de l'effet du changement climatique sur la production agricole, des mesures de sobriété et des changements structurels de société qui s'avèrent incontournables si l'on souhaite tenir le cap fixé pour la neutralité climatique.

### **Un changement structurel de mode de vie à anticiper et à construire**

Nous sommes clairement aujourd'hui à un moment clé de notre histoire et au-delà des avancées technologiques ou des mesures de sobriété envisageables, il serait illusoire de penser ou de laisser croire que tout peut continuer comme avant ou presque, sans rien avoir à modifier dans nos comportements.

L'allègement de la pression écologique de notre production et de notre consommation est un impératif. Chacun de nous a sa part à prendre, mais en n'oubliant pas que les 10 % les plus riches à l'échelle de la planète sont responsables de la moitié des émissions totales de gaz à effet de serre.

Doit-on parler de décroissance ou de déconsommation pour les pays ou les individus qui le peuvent, toujours est-il qu'il paraît indispensable d'inventer un ou des systèmes socio-économiques permettant d'atteindre ou de maintenir un haut niveau de qualité de vie, tout en restant à l'intérieur des limites planétaires.

Il revient aux dirigeants les plus influents du monde de donner le ton, mais ils sont encore très loin de s'engager dans une action d'envergure concertée.

Au seul plan national, et à un moment où le gouvernement va préciser sa stratégie énergie et climat, le projet de transformation de notre économie et in fine de nos modes de vie impose une organisation adaptée, avec une volonté et une capacité de planification et d'arbitrage, une aptitude à comprendre des enjeux complexes et systémiques, une base scientifique solide et une rigueur dans l'analyse.

Nul doute que nombre d'ingénieurs, pour ne citer qu'eux, peuvent trouver une source d'épanouissement professionnel et personnel en contribuant à relever ce défi majeur. La transition climatique a besoin de leurs talents et de leur enthousiasme, au sein de l'État, des administrations, des collectivités territoriales, du monde des entreprises, de l'industrie ou de la recherche.

Il en va de notre futur, tout simplement. ☺



# **RAPPORT DU SÉNAT SUR** **« LE DÉVELOPPEMENT D'UNE FILIÈRE** **DE BIOCARBURANTS, CARBURANTS** **SYNTHÉTIQUES DURABLES ET** **HYDROGÈNE VERT »**

*Président : M. Gilbert-Luc Devinaz, Rapporteur : M. Vincent Capo-Canellas*

**Par Yves Desnoës, IGA**

***Ce rapport est l'aboutissement d'une mission instituée le 31 janvier 2023. Il présente un point détaillé de la situation et de la problématique de l'évolution présente et à venir dans le domaine des transports, qui est le principal contributeur aux émissions de gaz à effet de serre dans notre économie (30%).***

Le sujet est extrêmement complexe et présenté comme tel. Parmi les facteurs de complexité et d'incertitude, on pourra retenir les suivants, dans une formulation qui n'est pas identique à celle du rapport.

- La complexité technique, technologies estimées nécessaires étant en grande partie encore en cours de développement. Il faut inclure dans les techniques les agriculture, la biomasse étant considérée comme indispensable au moins pour la période de transition vers le « zéro carbone » et probablement au-delà.
- Une complexité que l'on peut qualifier d'administrative, due à la multiplicité des organismes impliqués dans la préparation et la conduite des actions.
- La complexité économique, conséquence notamment de l'incertitude qui résulte des éléments ci-dessus, y compris les diverses concurrences potentielles ou existantes.
- La complexité juridique et réglementaire, qui découle en partie des précédentes, et aussi des interactions avec les cadres européen et mondial.
- Au-dessus des autres, la complexité politique, les organes politiques devant faire la synthèse de tous les problèmes et essayer de prendre les meilleures décisions possible pour l'avenir de notre pays, de l'Europe et de la planète ...

Le rapport est établi en préparation de la loi de programmation (quinquennale) sur l'énergie et le climat (LPEC). Il contient une synthèse\* qu'il serait inutile de recopier ici. La présentation synthétique par le rapporteur, à partir de la page 238, est également utile et intéressante.

On notera, page 227, un « tableau de mise en œuvre et de suivi des propositions » qui liste les 27 propositions en décrivant les multiples instruments et supports estimés nécessaires à échéance d'un ou deux ans.

Le rapport contient également, in fine, des contributions de deux groupes politiques du Sénat qui divergent des recommandations du rapport, ce qui donne une idée des débats sur le sujet. ☺

**La LPEC** ; source : <https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

La loi relative à l'énergie et au climat adoptée en novembre 2019 a créé une LPEC qui devra fixer les grands objectifs de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) et de la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Ces trois documents formeront ainsi la stratégie française pour l'énergie et le climat. Cette nouvelle loi ... précisera :

- Pour trois périodes successives de 5 ans les objectifs de réduction de gaz à effet de serre ;
- Pour deux périodes successives de 5 ans les objectifs :
  - De réduction de la consommation énergétique finale et de réduction de la consommation énergétique primaire fossile, par énergie fossile, et les niveaux minimal et maximal des obligations de certificats d'économies d'énergie ;
  - De développement des énergies renouvelables pour l'électricité, la chaleur, le carburant et le gaz ;
  - De diversification du mix de production d'électricité ;
  - De rénovation énergétique dans le secteur du bâtiment ;
  - Permettant d'atteindre ou de maintenir l'autonomie énergétique des départements d'outre-mer.

La PPE 3 (2024-2033) devra ainsi être compatible avec la LPEC et adoptée par décret dans les douze mois suivants l'adoption de la loi de programmation sur l'énergie et le climat.



# ARMEMENT

# LA LOI DE PROGRAMMATION MILITAIRE

## UN VECTEUR POLITIQUE POUR LA PÉRENNITÉ DU SYSTÈME DE DÉFENSE

Par **Guillaume Portal**, ICA, Chef du bureau planification P146, DGA/DP

**La LPM planifie les besoins militaires et les ressources associées sur une période de 7 ans. Elle constitue en ce sens un contrat passé entre le pouvoir politique, au-delà de son mandat actuel et des clivages partisans, et l'ensemble des acteurs de la défense pour la sécurité de nos concitoyens et la viabilité de notre modèle d'armées.**

Le 13 juillet 2023, après trois mois de débats parlementaires, l'Assemblée Nationale et le Sénat adoptaient le projet de loi de programmation militaire pour les années 2024 à 2030. Le texte prévoit l'allocation de 400 milliards d'euros de crédits budgétaires sur la période et permet, grâce notamment à des hypothèses crédibles de ressources extra-budgétaires, de planifier 413 milliards d'euros de besoin militaire ; cet effort exceptionnel devra toutefois être confirmé d'année en année lors des lois de finances successives.

Avant d'être une garantie de ressources, la LPM est d'abord un message politique envoyé au Ministère des Armées, aux industriels de la BITD et à nos alliés. Un des rares postes de l'État soumis à une loi programmatique, la mission Défense, qui rassemble les programmes 144, 146, 178 et 212, bénéficie par ce biais d'une vision à moyen-long terme qui lui permet de bâtir sereinement le système de défense aussi bien en termes de personnels, d'équipements, d'activité opérationnelle, de soutien et de coopérations.

### Les apports de la LPM pour la DGA

La LPM 24-30, tout en restant dans la continuité de la précédente, s'attache à prendre en compte les nouvelles menaces et le contexte géostratégique récent. Le cœur de souveraineté constitué par la dissuasion nucléaire est bien évidemment maintenu, avec la modernisation des deux composantes.

Parmi les « nouveaux espaces de conflictualité », des efforts particuliers ont été explicitement inscrits dans la loi. Il s'agit, pour ce qui intéresse le P146, des drones, de l'espace, de la défense surface-air, du cyber et des munitions. Le P144 n'est pas en reste puisque le budget consacré à l'innovation se voit lui aussi sanctuarisé avec un montant de 10 milliards d'euros sur la période.

Cette LPM introduit également la notion d'« économie de guerre » : l'objectif est, grâce à l'analyse de la valeur, aux commandes groupées et aux stocks de produits semi-finis de placer l'outil de défense en situation d'éviter les ruptures de stock et d'assurer au besoin une production, principalement de munitions, compatible avec un conflit de haute intensité.

**« 413 MD€ POUR LES ARMÉES  
DANS LA PÉRIODE 2024 À 2030,  
2% DU PIB D'ICI 2025 »**

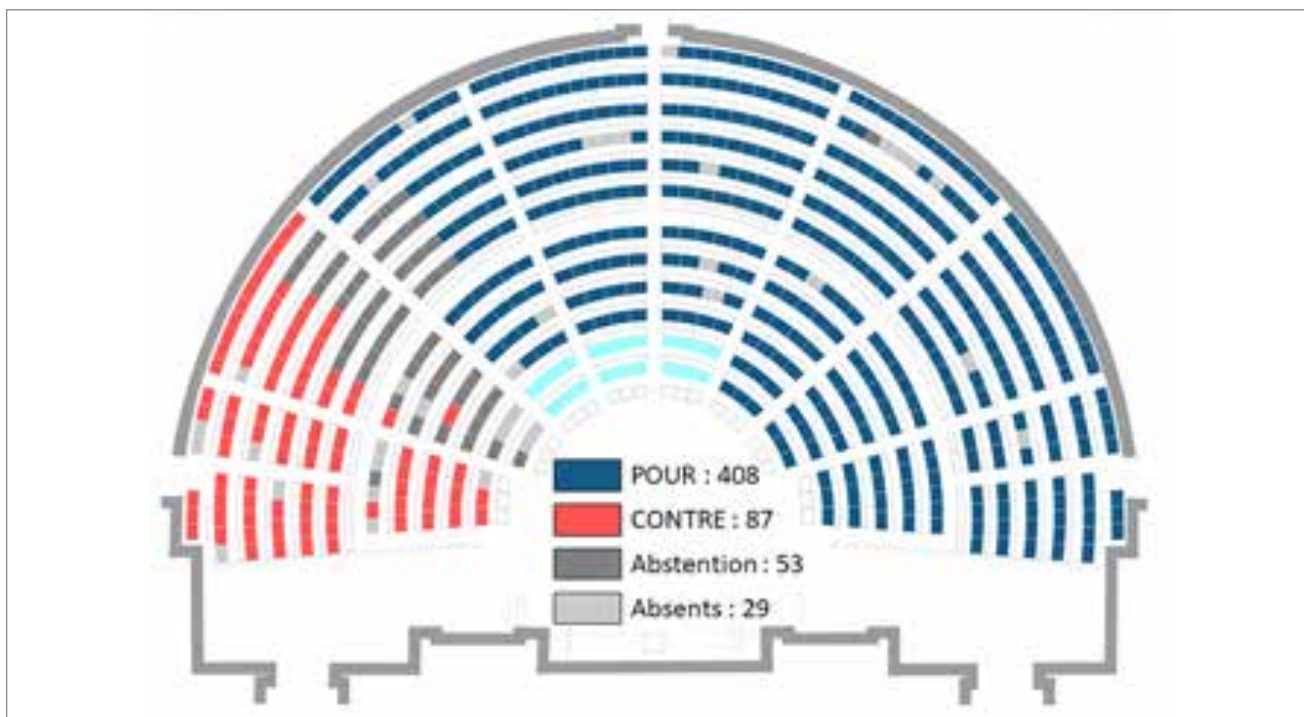
Les programmes à effet majeur (PEM) « classiques » restent au cœur du projet de loi et comme dans la LPM 19-25, un tableau liste les parcs prévisionnels à terminaison pour les programmes RAFALE, SCORPION, A400M, BARRACUDA, SLAMF, CONTACT, ... Au final, les besoins à financer pour l'ensemble des PEM atteignent 100 milliards d'euros sur la période.

Tous ces éléments chiffrés et tangibles sont autant de clefs nécessaires à la bonne exécution des opérations d'armement, dont la durée de réalisation caractéristique s'étend a minima jusqu'en 2030 et pour certains (SCAF, PANG, MGCS), bien au-delà. Dans un esprit d'éclairage à long terme, la loi mentionne d'ailleurs des parcs « horizon 2035 ».

### Les apports de la DGA pour la LPM

Le vote de la LPM concrétise près de deux ans de travaux qui ont mobilisé l'ensemble des services de l'administration. Pour élaborer le projet de loi, le cabinet du Ministère des armées s'est appuyé sur le COLPM, structure de gouvernance où les trois Grands Subordonnés du Ministre sont représentés : la sous-chefferie Plans pour l'EMA, la Direction des Plans, programmes et du budget pour la DGA et la Direction des Affaires Financières pour le SGA.





7 juin 2023, vote de la LPM à l'Assemblée Nationale

Une réflexion menée conjointement EMA-DGA a abouti à la définition d'un nouveau référentiel opérationnel (NRO), véritable pivot du modèle d'armées autour duquel ont été bâtis les grands axes du projet de loi.

Pour ce qui concerne plus spécifiquement la DGA, toutes les directions et services ont contribué à la constitution du scénario des PEM afin de garantir une cohérence capacitaire et physico-financière et de s'assurer que la programmation est sincère (tous les besoins à financer sont exprimés) et soutenable (ces besoins sont évalués à leur juste niveau). L'AID et le SASD ont par ailleurs été en charge de la partie « Innovation ».

La LPM 24-30, « fruit d'un réexamen approfondi du modèle des armées françaises » voulu par Emmanuel Macron et Sébastien Lecornu, marque le début d'une nouvelle page pour la Défense Nationale ; le futur étant toujours incertain, la programmation se verra ajustée chaque année afin d'intégrer les besoins nouveaux qui s'avéreront indispensables au maintien de la performance de nos armées et de la supériorité technologique procurée par notre BITD, toujours dans le souhait de garder une vision à long terme.

La LPM 19-25 devait être selon les mots de Florence Parly une « LPM qui délivre » ; malgré les crises, notamment sanitaire, les livraisons furent au rendez-vous, en grande partie grâce à la robustesse des éléments programmatiques produits par la DGA. Dans ces conditions, il n'y a pas de raison de croire qu'il en soit autrement les années à venir. 📍

### Le ministère des armées en quelques chiffres :

Engagé pour la défense de la France et des Français  
En permanence, 24H/24, plus de 35 000 militaires assurent la sécurité de nos concitoyens en France et à l'étranger : 13 000 sur le territoire national et 22 000 répartis dans le monde (dont 6 000 déployés en opérations extérieures)

#### A hauteur d'homme et pour l'année 2023

207 000 militaires et 64 000 civils.  
270 000 hommes et femmes, dont 22 % de femmes.  
26 000 recrutements par an, dont 4 000 agents civils.  
41 000 réservistes opérationnels sous contrat.

#### Un acteur économique majeur, et pour l'année 2023

43,9 milliards d'euros de budget, soit le 2e budget de l'État.

14,5 milliards d'euros pour l'équipement des forces.  
200 000 emplois générés par la Base industrielle et technologique de défense (BITD). 26 000 Petites et moyennes entreprises (PME) et Entreprises de taille intermédiaire (ETI) en contrat avec le ministère des Armées.

#### Un acteur tourné vers l'avenir et pour 2023

7 milliards d'euros de Recherche & Développement, dont 1 milliard consacré à l'innovation.

#### Le premier acteur mémoriel de l'Etat

275 nécropoles nationales, 10 hauts lieux de la mémoire nationale, 2 200 carrés militaires, un millier de lieux de sépulture dans 80 pays, lieux de commémoration et de transmission de la mémoire combattante.

#### Le deuxième acteur culturel de l'Etat

21 musées, 160 monuments classés, 3 millions de visiteurs par an. 3 millions de photos et 21 000 films couvrant 4 siècles d'Histoire.

(source Dicod)

# COMBATTRE AU LABORATOIRE

## LA RECHERCHE DE DÉFENSE À L'INSTITUT POLYTECHNIQUE DE PARIS

Par Eloïse Berthier, IA

***“Le soldat combat au front, le savant au laboratoire. La guerre ne se fait pas sans la science”, c’est ce qu’on peut lire sur une affiche de propagande française de 1918. Avec la multiplication des ruptures technologiques et le retour de la guerre en Europe, ces affirmations semblent toujours d’actualité. La création du Centre Interdisciplinaire d’Etudes pour la Défense et la Sécurité (CIEDS) au sein de l’institut Polytechnique de Paris y fait écho.***

Après ma formation par la recherche, je me suis demandée comment mettre à profit ce parcours permettant à de jeunes IA d’acquérir une expérience de recherche de trois ans dans un laboratoire. Les liens entre le monde de l’armement et celui de la recherche sont nombreux : tous deux se placent aux frontières de la connaissance et manipulent des technologies de rupture. Le rôle moteur de la défense dans l’innovation et la recherche est bien connu, en témoigne le budget de la DARPA qui dépasse les 4 milliards de dollars en 2023.

Si l’on pense au chercheur lui-même, l’histoire et la fiction nous fournissent quelques figures emblématiques, comme le physicien Oppenheimer dont le rôle dans le projet Manhattan vient d’être porté à l’écran. Le physicien français Paul Langevin conçoit quant à lui les premiers sonars entre 1916 et 1918 au sein de la direction des inventions intéressant la défense nationale, ancêtre de l’AID. Pourtant, la défense et la recherche sont aujourd’hui deux écosystèmes distincts, qui se connaissent encore trop peu, méconnaissance qui a pu par le passé générer une certaine défiance réciproque.

### **Le CIEDS, un outil à l’interface entre recherche et défense.**

L’Institut Polytechnique de Paris (IP Paris) réunit cinq écoles d’ingénieurs du plateau de Saclay : l’École polytechnique, ENSTA Paris (deux écoles sous tutelle du ministère des Armées), Télécom Paris, Télécom SudParis et l’ENSAE Paris. Créé en 2021 au sein d’IP Paris, notamment sous l’impulsion d’Yves Laszlo, le CIEDS a pour but d’imaginer et de développer des réponses aux besoins technologiques du secteur de la défense.

Le CIEDS organise un appel à projets annuel qui recueille les propositions de chercheurs d’IP Paris qui pensent

que leurs recherches pourraient présenter un intérêt pour la défense. Les propositions sont étudiées par l’AID, et si le projet est choisi, s’ensuit une phase de co-construction entre le chercheur et son correspondant à l’AID, pour un début de projet moins d’un an après. Cette phase de co-construction est essentielle pour affiner la première proposition, à l’initiative du chercheur, et la mettre en adéquation avec les besoins des armées. Une douzaine de nouveaux projets sont ainsi sélectionnés et co-construits chaque année.

### **Le point de vue de l’AID, par David Foricher, ICA.**

*Si le ministère des Armées finance depuis de nombreuses années la recherche dans les écoles sous sa tutelle par des « projets écoles », le CIEDS constitue un nouveau modèle. Grâce à un investissement de 10M€/an, ce centre renforce la coordination entre les écoles concernées et l’AID, dans la construction des projets, dans leur suivi, et dans leur valorisation sur le long terme, tout en contribuant plus largement à la sensibilisation aux questions de défense des chercheurs et des étudiants des écoles concernées, et à leur formation pour répondre aux besoins de notre industrie de défense. Dans cette coordination, l’équipe opérationnelle du CIEDS joue un rôle essentiel, en soutien des responsables innovation de l’AID en charge des domaines scientifiques et de la communauté des chercheurs des écoles de l’IP Paris.*

### **Développer les technologies de rupture pour la défense.**

Le CIEDS mobilise les compétences présentes dans 25 laboratoires d’IP Paris, dans toutes les disciplines scientifiques, pour mener des projets de recherche de pointe dans des domaines d’intérêt pour la défense.



Figure 1 : Les matériaux développés par le projet COMPOSITES, à la fois légers et absorbants, pourraient servir à l'équipement des combattants et des véhicules.

En 2023, 120 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents d'IP Paris sont impliqués dans 60 projets en cours, et 40 thèses de doctorat sont financées. Le CIEDS est fortement soutenu par l'AID, qui finance ces projets d'envergure impliquant plusieurs doctorants, post-doctorants ou ingénieurs, réunis autour d'une même thématique à forte valeur ajoutée pour la défense sur une durée d'environ 4 ans.

Les projets en cours, souvent interdisciplinaires, couvrent l'ensemble des domaines scientifiques traités à IP Paris : matériaux, plasmas, lasers, chimie, biologie, intelligence artificielle, cybersécurité, quantique, management de l'innovation... Ainsi, des chercheurs du laboratoire de physique de la matière condensée à l'X, de l'unité de chimie et procédés à l'ENSTA et du laboratoire de synthèse organique collaborent pour développer des alternatives à l'utilisation des perfluorés pour les traitements des textiles des treillis. Un autre projet qui étudie l'algorithmique des essaims de robots mutualise les compétences des laboratoires d'informatique de l'X, de l'ENSTA et de Télécom. Le projet COMPOSITES, mené au laboratoire de mécanique des solides de l'X, vise quant à lui à concevoir et fabriquer des matériaux architecturés par fabrication additive pour optimiser leurs capacités d'absorption des chocs (Figure 1).

### Rapprocher les communautés.

Co-dirigé par François Plais, directeur des opérations, et David Filliat (ICA), directeur scientifique, le CIEDS dispose aujourd'hui d'une équipe opérationnelle de 6 personnes qui organise les appels à projets, accompagne les chercheurs, développe des partenariats, et soutient la valorisation des résultats scientifiques. S'ajoute aux projets de recherche une seconde mission : celle d'instaurer au sein d'IP Paris une très large prise en compte des enjeux de défense. Ce volet d'acculturation a notamment permis la création d'un cycle de conférences sur l'innovation de défense ouvert aux étudiants et chercheurs, d'un challenge étudiant sur les

essais de drones, ainsi que d'un module de formation des doctorants dédié aux questions de souveraineté, destiné à terme à s'étendre au cycle ingénieur polytechnicien. Enfin, le CIEDS a vocation à favoriser les liens entre communautés académique et de défense. Ainsi, le 29 juin 2023 a eu lieu l'Opération CIEDS, un forum d'échanges entre chercheurs, industriels et représentants du ministère des Armées, qui a réuni 250 participants (Figure 2).

### Vers un passage à l'échelle.

Pour bénéficier aux forces, les technologies développées dans les laboratoires doivent être transférées dans l'industrie, *via* la création d'une startup, ou *via* une collaboration avec une entreprise existante. Le CIEDS est ainsi associé à la SATT Paris-Saclay (Société d'Accélération du Transfert de Technologies), qui accompagne les dépôts de brevets et la montée en maturité des projets duaux. Un projet de recherche mené au laboratoire de physique des plasmas, soutenu depuis plusieurs années par l'AID, a par exemple permis de développer des dispositifs médicaux à plasmas froids pour la cicatrisation des plaies cutanées et des brûlures sévères. Ces travaux ont donné lieu à la création de la startup Plasana Medical, qui s'adresse également au marché civil des plaies chroniques.

Pour poursuivre sa montée en puissance, le CIEDS cherche à développer de nouveaux partenariats industriels, avec de grands acteurs de la BITD, mais aussi avec des PME et des startups. Le soutien existant de l'AID pourra servir de levier pour amplifier les financements et mutualiser les efforts. Les opportunités de collaborations sont nombreuses : thèses CIFRE, laboratoires communs, projets soutenus par le fonds européen de défense... Ainsi, 2023 a vu le lancement à IP Paris d'une chaire d'enseignement et de recherche sur l'architecture des systèmes complexes, associant Dassault Aviation, Dassault Systèmes, Naval Group, Nexter et l'AID. ☺



Figure 2 : Échanges fructueux autour de posters scientifiques lors de l'Opération CIEDS 2023.



# GROUPE HÉRACLÈS

## SÛRETÉ - SÉCURITÉ



**ENTREPRISE INTERNATIONALE  
DE SERVICES DE SÉCURITÉ  
ET DE DÉFENSE (ESSD)  
SPÉCIALISÉE DANS  
LA PROTECTION PHYSIQUE  
DE PERSONNES POUVANT  
INCLURE DES ARMES SUR  
LE TERRITOIRE FRANÇAIS**



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**  
groupe-h2s.com



# UNE NOUVELLE ACADÉMIE DÉDIÉE AU SPATIAL DE DÉFENSE

Par Olivier Lesbre, IGA, Directeur général de l'ISAE-SUPAERO

**En juin 2023 était créée l'Académie spatiale de défense (ASD) par l'ISAE-SUPAERO, soutenu par la DGA, le Commandement de l'Espace (CDE) et l'École de l'Air et de l'Espace (EAE). Expert du ministère des Armées pour le domaine, l'ASD permet de dispenser des formations ciblées, de haut niveau, diplômantes et reconnues, sur le champ du spatial de défense. Le premier séminaire de l'Académie se tiendra fin 2023 à Salon-de-Provence et Toulouse.**



Le secteur spatial connaît une profonde mutation. Le renouveau de l'exploration spatiale habitée, le développement du NewSpace et le ren-

forcement des ambitions portées par les puissances spatiales dessinent un paysage contrasté, en évolution rapide. Source d'opportunités émergentes, creuset de nouveaux enjeux économiques et stratégiques, l'espace est aussi devenu le théâtre de risques et de menaces inédits, et le lieu de rivalité et de confrontation potentielles.

Face à ces nouveaux enjeux, le ministère des Armées élaborait en 2019 sa stratégie spatiale de défense. Pour mettre en œuvre l'ambition qu'elle porte, il est apparu fondamental de constituer une filière d'expertise dédiée au domaine. C'est dans cette optique qu'a été créée l'Académie spatiale de défense, qui propose les formations disponibles au sein du ministère des Armées et met à profit les synergies entre elles. Ouverte aux partenaires interministériels et étrangers,

ainsi qu'aux acteurs publics et industriels du secteur, elle couvre aussi bien les volets académique qu'opérationnel, grâce à la complémentarité naturelle des trois entités fondatrices : compétences scientifiques et technologiques pour l'ISAE-SUPAERO, compétences scientifiques et militaires pour l'EAE, maîtrise des opérations spatiales pour le CFOSM. Fin 2023, le premier séminaire de l'ASD sera organisé à Salon-de-Provence et Toulouse. Il présentera une synthèse holistique des défis à relever dans les domaines technologiques, militaires et opérations spatiales.

L'ISAE-SUPAERO développe depuis 50 ans des formations dans le domaine spatial. Notre offre sur ce champ, la plus large d'Europe, couvre toutes les compétences technologiques recensées par le CNES. L'Institut contribue par ailleurs à la réflexion prospective sur les évolutions du secteur via sa chaire « Concepts spatiaux avancés » co-portée par Airbus et Ariane Group. La création de l'ASD, dans un contexte marqué par des ruptures technologiques majeures, procède de ce même esprit pionnier : c'est avec fierté que nous lui apportons notre expérience en matière de formation d'ingénieurs civils et militaires. ☺

## La création de l'Académie Spatiale de Défense .

Le ministère s'est doté d'une Stratégie Spatiale de Défense en 2020 visant à renforcer ses moyens de surveillance et à se doter de capacités d'autodéfense dans l'espace. Cela a donné lieu à la création du Commandement de l'Espace et au changement de périmètre (et de nom) de l'Armée de l'Air et de l'École de l'Air. Ces deux acteurs et l'ISAE Supaéro ont signé un protocole lors du dernier salon du Bourget pour créer le pilier formation de cette stratégie, l'Académie Spatiale de Défense, la stratégie ne pouvant se réaliser sans personnel compétent.

L'ASD dispensera des formations ciblées, de haut niveau, diplômantes et reconnues, allant de stages courts d'adaptation à l'emploi aux formations des grandes écoles d'ingénieurs sous tutelle du ministère, concourant à la génération de l'expertise. Véritable lieu de rencontre et de brassage des cultures, elle accueillera les autres parties prenantes du domaines françaises (ONERA, CNES, industriels) et étrangères.

L'ISAE-SUPAERO apportera les compétences scientifiques et technologiques, l'École de l'Air et de l'Espace des compétences scientifiques et militaires, et le Commandement de l'Espace la dimension opérationnelle.

# AUX CHAMPS... ARMEMENT !

## DANS LES COULISSES DU PREMIER 14 JUILLET DE LA DGA

Par Marie David, ICA et Toan Nham, IPA

*Aux yeux du public et des autorités, le défilé de la DGA ne dure que pendant les vingt secondes au cours desquelles elle passe devant la tribune présidentielle. De ces vingt secondes dépendent l'image et la crédibilité militaire de la DGA aux yeux des armées. Cette criticité à elle seule justifie les trois semaines de répétitions qui précèdent le jour J et une préparation qui démarre dès le début de l'année.*



Ce 14 juillet 2023, 78 défilants et 6 remplaçants ont contribué au tout premier défilé de la DGA sur les Champs-Élysées, affirmant ainsi leur communauté de destin avec les armées qu'elles équipent. Le détachement a rassemblé des IA, des IETA, des commissaires et des gendarmes de l'armement ; il a été constitué de sorte à respecter les ratios entre les différents corps militaires et les différents directions, métiers, et sites de la DGA. Pour symboliser cet événement historique, le fanion a été conçu et fabriqué, les épées ont été forgées et un nouvel insigne a été créé, plus conforme aux chartes militaires que l'ancien. Les heureux défilants ont eu l'honneur d'être les premiers à prendre part à une cérémonie – et quelle cérémonie ! – avec ces attributs.

### Pourquoi avoir voulu défiler ?

**MD :** Ce qui m'a attirée dans cette aventure, c'est la profonde conviction que la DGA mérite de gagner en notoriété, à la fois au sein du ministère des armées, et vis-à-vis du grand public. Ce qui m'a fait sauter le pas pour candidater en tant que chef de détachement, c'est l'envie de me confronter à un exercice inconnu... et probablement un grain de folie passager !

**TNH :** Mon premier défilé il y a 10 ans sous les couleurs de l'X m'a laissé d'impérissables souvenirs que je chéris avec nostalgie. J'ai donc sauté sur l'occasion quand l'appel à volontaires a été lancé pour ce premier millé-

sime DGA ! Je ne m'attendais pas à ce que le personnel DGA, en particulier civil, suive à ce point le défilé. Cela m'a vraiment fait plaisir.

### Fréjus

**MD :** Nos premiers entraînements ont eu lieu à Fréjus, où il a fallu (re)voir les bases. L'ordre serré c'était (au mieux) des souvenirs lointains pour la plupart d'entre nous !

Pourquoi Fréjus ? D'une part la ville nous a mis à disposition les pistes de l'ancienne base aéronavale, où nous avons pu reconstituer la topographie des Champs-Élysées. Par ailleurs, le 21<sup>e</sup> RIMA a relevé le défi de nous aider ; le capitaine Besnard est ainsi venu seconder notre instructeur « maison », l'ICETA de réserve Ludovic Patois, qui a cumulé tous les rôles (défilant, instructeur, grand logisticien...)

**TNH :** Fréjus a été aussi la première occasion d'expérimenter le port de l'épée pour tous... et le port du fanion pour moi. Mon épaule et mon poignet se souviennent bien de son poids !

**MD :** Après quelques couacs (fanion reçu non monté, épées livrées en retard, bélières de mauvaise facture...) vite surmontés par notre équipe d'organisation de choc, nous sommes entrés dans le vif du sujet : marcher en-



semble, tenir les alignements en ligne et en colonne jusque dans le virage, uniformiser les hauteurs de bras, les angles des fourreaux... Pour faire rentrer tout cela dans les têtes, même bien faites, il n'y a qu'une solution : que ça rentre par les pieds. Nous enchaînâmes donc les kilomètres.

**TNH :** En plus des alignements du bloc, il fallait aussi respecter des distances précises : 6m entre Marie et le fanion, 6m entre le fanion et les chefs de section (Anne-Lore et Ludovic), 2m entre les chefs de section et la troupe. Maintenir ces distances n'a pas été de tout repos, d'autant que la troupe se disloque facilement en cas d'accélération.

**MD :** « Marie, ralentis » ... deux mots que Toan a beaucoup prononcés pour m'éviter de m'échapper !

**TNH :** En-dehors des répétitions, vivre en autarcie à Fréjus nous a permis de bâtir une cohésion exceptionnelle et a eu le mérite de désilotter la DGA. Dans notre organisation faite de directions et de centres qui ne se parlent que par hiérarchie interposée, j'ai eu la chance de rencontrer des personnels venant des quatre coins de la France, d'autres UM, d'autres métiers techniques, du SEREBC, du SQ, et même des gendarmes de l'armement ! Nous avons pu discuter et échanger sur le quotidien de chacun, les problèmes rencontrés et les moyens de fluidifier les échanges au sein d'une organisation notoirement trop rigide.



## Satory

**MD :** Le 7 juillet, nous sommes entrés dans une autre dimension avec les répétitions officielles du défilé, au côté des autres unités – enfin plus exactement devant et derrière elles.

Nous répétions tous les jours, parfois aux aurores sur les champs, parfois sous un soleil de plomb sur les pistes de Satory. Des tours de piste en série sous l'œil vigilant voire réprobateur des généraux de l'armée de terre responsables de la réussite du défilé.

**TNH :** Au niveau de la tribune, il y avait 4 caméras qui nous filmaient sous tous les angles. Impossible de manquer un désalignement de bras ou une perte de cadence ! Les cadres avaient droit à chaque fois au debriefing – souvent long, près d'une heure – de tout le demi-défilé... puis avaient à peine le temps de donner les consignes aux troupes avant un nouveau tour de « machine à poulets ».

**MD :** Au-delà de l'exercice du défilé lui-même, les échanges avec les autres régiments présents, et l'observation de toute l'organisation – démentielle – de cette véritable opération militaire fut très enrichissante.



**TNH :** Nous étions hébergés pour la plupart en casernes par chambres de 18 avec une obligation de port de tenue militaire (treillis) au sein du camp. Ce retour aux conditions spartiates des classes militaires a en fin de compte été une superbe façon de renforcer encore la cohésion. Et puis on ne peut pas vraiment se plaindre quand on voit d'autres régiments hébergés sous tentes !

**MD :** Le point culminant émotionnel de ces répétitions fut indéniablement le passage complètement raté sur les champs le 11 au matin, alors que le Délégué avait justement fait le déplacement pour nous voir ! La pression montait, les corps fatiguaient. C'est là que la cohésion du groupe s'est révélée indispensable ! Haut les cœurs, et on garde la banane !

**TNH :** Le mercredi 12, les répétitions générales à Satory se sont mieux passées mais il restait des erreurs. Honnêtement, au terme de cette journée, personne ne savait si nous serions à la hauteur le 14.

## Champs-Élysées

**TNH :** Le jour J obéit à une logique extrêmement précise, notamment dans le convoyage des bus car nous sommes nombreux à partir de Satory et qu'il ne faut pas provoquer de bouchons jusqu'aux Champs ! Chaque convoi suit un itinéraire précis, fait halte à des points de passage avec un minutage précis pour respecter l'ordre des bus puis arrive sur son emplacement à une heure précise : 7h57 pour nous. Entre l'arrivée du premier et du dernier détachement, près d'une heure s'est écoulée !

**MD :** Commence ce moment un peu lunaire de la mise en place et de l'attente de l'heure H. Ça y est, nous y sommes. Heureux, fiers, tendus, ne sachant pas bien si

la solennité des lieux et de l'événement est terrorisante ou galvanisante.

**TNH :** Nous profitons des dernières moments de relâchement pour nous prendre en photos dans ce cadre prestigieux, avec Emmanuel Chiva et Thierry Carlier qui sont venus nous encourager.

**MD :** Lorsque la revue des troupes commence, quelle émotion ! A ma droite le fanion et sa garde, les chefs de section, puis tout le détachement, sans parler des autres unités alignées sur les champs... on ne peut pas se voir - on est au présentez armes, regard fixe - mais étrangement on est d'autant plus « ensemble ». Et puis tout s'enchaîne très vite : en avant-marche, à droite-droite, portez armes... nous voici prêts à défiler, la Concorde en ligne de mire (*vachement loin quand même*).

**TNH :** Quand le défilé commence, nous nous concentrons pour chasser les déconvenues des jours précédents... mais très vite, les émotions affluent. La joie est décuplée par la fierté. Les applaudissements en continu de la foule sur ces 1,5km de descente nous transcendent. Le passage devant les chevaux de Marly puis la tribune présidentielle nous galvanise ! Du coin de l'œil, j'essaie de repérer quelques IGA en tribunes... mais c'est peine perdue.

**MD :** Après la tribune, les quelques centaines de mètres pour dégager la zone, sans aucune possibilité de savoir comment ça s'est passé derrière moi, me semblent interminables. Enfin, rompez les rangs ! Le reste n'est que liesse. Échanges d'impressions entre nous, toutes positives. Images télé relayées par nos proches, toutes magnifiques. Et, très vite, premiers messages de félicitations des autorités, tous chaleureux. ☺



# UNE PREMIÈRE PARTICIPATION AU 14 JUILLET ÉGALEMENT RÉUSSIE POUR LA DMAÉ

Par **Marc Howyan**, *Directeur de la DMAé,  
chef du détachement DMAé lors du défilé 2023*

**Comme pour la DGA, l'édition 2023 du défilé militaire du 14 juillet a été marquée par la première participation réussie de la Direction de la Maintenance Aéronautique (DMAé) dont le rôle est d'assurer le maintien en condition opérationnelle (MCO) des matériels aéronautiques militaires.**



Les défilants de la DMAé sur les Champs-Élysées quelques minutes avant la revue des troupes, le 14 juillet 2023

Plus jeune formation militaire de cette édition du défilé, la participation de la Direction de la maintenance aéronautique (DMAé), créée en 2018, a permis la mise à l'honneur de la communauté humaine du maintien en condition opérationnelle (MCO) aéronautique, domaine méconnu et pourtant central pour les missions de nos forces armées.

Chargée du soutien des aéronefs militaires, la DMAé est en effet le garant du MCO des matériels aéronautiques du ministère (forces armées et DGA) ainsi que d'autres administrations opérant des aéronefs (Gendarmerie nationale, sécurité civile, douanes). Mettant la performance et la disponibilité au premier plan, son domaine d'action porte sur l'intégralité du cycle de vie des matériels : élaboration des stratégies de MCO, négociation et passation des contrats avec les industriels de la défense et mise en œuvre quotidienne du MCO jusqu'au retrait de service des matériels. Elle est ainsi à la fois en interface avec la DGA dont elle prolonge l'action pendant la période d'utilisation, avec les forces qui emploient les matériels ainsi qu'avec les industriels auxquels ont été confiés des responsabilités de MCO de flotte. Cette action sur le milieu aérien est transverse aux différentes armées, ce qui se reflète dans son statut d'organisme

interarmées renforcé par son rattachement à l'État-major des armées.

Faisant écho à la première participation du RAFALE Standard 4 ou du H160 au défilé aérien, la présence du bloc DMAé répondait à la volonté du Gouverneur Militaire de Paris de valoriser la modernisation de nos équipements et la capacité d'innovation de notre industrie et de nos forces.

## **Une action de communication pour le MCO aéronautique**

Au-delà de la seule direction, cette participation de la DMAé au défilé a été vue comme une reconnaissance de la communauté humaine du MCO-a qui travaille au quotidien pour que les aéronefs militaires soient en état de voler.

L'enjeu était donc, au travers des effectifs de la DMAé, d'illustrer cette diversité, et ce sous les contraintes du formalisme du défilé militaire. Il n'était ainsi pas anodin que ce soit le directeur lui-même, qui emmène le bloc pour transmettre l'image d'une direction de haut niveau qui entraîne avec elle l'ensemble des parties prenantes de son domaine.



Les volontaires au défilé ont dû faire l'objet d'une sélection pour mettre en avant l'extrême diversité des statuts et des postes de la direction, tout en ne pouvant associer (pour cette fois) les personnels civils au sein du bloc.

Officiers, sous-officiers, officiers mariniers et militaires du rang des 3 armées, ingénieur des corps de l'armement, commissaires, gendarmes et même sous-officier allemand, tous les statuts militaires étaient ainsi représentés et organisés de manière à identifier l'extrême diversité des uniformes et couleurs d'armées intervenant au profit du MCO.

Dans le même temps, une attention particulière fut apportée aux éléments de langage pour diffuser un discours audible et pédagogique aux multiples parties prenantes de l'événement, tant le grand public que les autres détachements participants. Au-delà du défilé, toute occasion (répétitions, activités de cohésion, espace presse...) fut utilisée par les personnels pour présenter leurs postes et les missions de leur direction encore insuffisamment connue en-dehors d'un cercle restreint d'experts.

Ce souci de présenter le domaine plus que la direction a été extrêmement apprécié de l'industrie aéronautique œuvrant au profit des avions militaires qui a vu son engagement reconnu comme partie intégrante des succès du domaine.

### **Un défi logistique DMAé relevé par la force de la cohésion**

Le défilé du 14 juillet est une véritable opération militaire ! L'improvisation y est donc réduite à l'adaptation aux circonstances. Ressources humaines et matérielles, soutien de l'homme, logistique, transport... Tous les moyens ont été mis à contribution pour garantir le succès de ce défilé. Les 72 défilants ont ainsi pu s'appuyer sur leur équipe de marque de 12 personnes pour se concentrer sur la seule réussite de la prestation.

Au-delà de l'aspect logistique prenant (convoyage, hébergement...), la préparation représentait en elle-même une opération dans l'opération. Avec des défilants provenant de 5 sites différents (sur les 17 de la DMAé) et à l'armement différencié au sein du bloc (PA, FAMAS, sabres et épées), la bonne coordination était un défi majeur.

Soudé par une même envie de faire honneur à leur unité, l'ensemble des défilants s'est appliqué à donner le maximum, tirant le mieux possible partie des retours de l'équipe de marque. Fait amusant, si la plupart des défilants n'en étaient pas à leur premier défilé, c'était en revanche la première fois pour tous qu'ils défilaient en interarmées !



Moment de partage avec le détachement DGA, le 08 juillet 2023 vers 06h30

Malgré les conditions météo changeantes et les multiples répétitions imposées par le souci d'excellence du commandant des troupes à pied, l'implication de chacun et l'évidence de former un seul corps dans leur diversité ont permis à la DMAé de passer outre comme en témoigne le succès rencontré le jour J.

### **Une grande fierté en tant que directeur de la DMAé et ingénieur d'armement**

Le défilé est enfin un moment de cohésion avec les autres unités présentes dans le dispositif et j'avais naturellement particulièrement à l'œil le détachement DGA avec qui nous avons régulièrement échangé pendant la phase de préparation, à la fois pendant les exercices les plus durs mais également dans les moments plus sympathiques comme lors d'une répétition sur les Champs-Élysées tôt le matin.

J'ai eu la possibilité d'observer de près les efforts fournis par le détachement DGA pour pouvoir donner le jour J, comme la DMAé, la meilleure image possible de dynamisme, de cohésion et de modernisation. Et au final, défilé dans ce cadre pendant 20 minutes devant les français et passer devant la tribune présidentielle fût un moment unique qui m'a rendu fier à la fois en tant que directeur de la DMAé mais également en tant qu'ingénieur d'armement. ☺

# DOSSIER ENTREPRISES

COMEXPOSIUM .....	88
ELYSE ENERGY SAS .....	90
ENGIE SOLUTIONS .....	92
L'ÉTABLISSEMENT DU SERVICE D'INFRASTRUCTURE .....	94
DALKIA .....	98
GROUPE HÉRACLÈS .....	99
IDEX SERVICES.....	100
VIVERCI.....	102
BLUE WORK PARTNERS .....	104

## FOCUS SUR MILIPOL PARIS 2023



Anne Frayssinet, Directrice  
de l'événement  
Milipol Paris

Anne Frayssinet, directrice de l'événement Milipol Paris, répond à nos questions sur la prochaine édition qui se tiendra à Paris du 14 au 17 novembre prochains. Elle nous en dit plus sur les nouveautés et temps forts qui rythmeront cette édition 2023, qui sera la plus grande édition jamais réalisée en nombre d'exposants et de surface d'exposition avec une croissance inédite de plus de 40% par rapport à la dernière édition. Cette année, sont attendus plus de 1 000 exposants (dont 47 % de nouveaux et 61 % d'internationaux) et plus de 30 000 visiteurs. Rencontre



### Quelles sont les nouveautés de cette nouvelle édition Milipol Paris ?

Dans un contexte toujours plus incertain, protéger les personnes et les infrastructures nécessite des moyens et des solutions toujours renouvelées.

Le salon Milipol permet aux professionnels de la sécurité du monde entier (issus du secteur public mais aussi du secteur privé) de trouver les équipements et technologies adaptés à leurs besoins en réunissant tous les fournisseurs de solutions, fabricants et distributeurs à Paris du 14 au 17 novembre 2023.

L'édition 2023 sera la plus grande édition jamais réalisée en nombre d'exposants, de surface d'exposition avec une croissance inédite de plus de 40 % par rapport à la dernière édition... et nous l'espérons en nombre de visiteurs et de délégations internationales. Parmi les plus de 1 100 exposants, 47 % d'entre eux sont nouveaux. Nous comptons 61 % d'exposants internationaux en 2023.

Par ailleurs, il y aura beaucoup d'innovations sur les stands et beaucoup de contenus proposés sur le salon. L'innovation sera mise en lumière à travers les Milipol Innovation Awards notamment, trophées visant à récompenser les meilleures innovations des industriels présents sur Milipol en termes de produits, matériels, services, solutions ou modèles économiques. Les trophées sont décernés dans 6 catégories, une catégorie dédiée aux initiatives RSE ayant été ajoutée pour l'édition 2023. La remise des prix aura lieu sur le salon le mardi 14 novembre à 14h.

- Cybersécurité (solutions de lutte contre les cybermenaces et la cybercriminalité) ;
- Sécurité des grands événements (contrôle d'accès, gestion des flux, solutions biométriques, cctv, détecteurs, solutions IA et nouvelles technologies...);
- Equipements individuels / protection des primo-intervenants (matériaux, textiles, fibres, tissus et accessoires) ;

- Drone et anti-drone, robotique ;
- Gestion de crise (alerte aux populations, gestion de crise, commande et contrôle) ;
- RSE (initiatives en matière de RSE mises en place par nos exposants dans leurs entreprises ou pour leurs équipements, produits, solutions).

L'espace startup accueillera pour la première fois cette année les startups de l'accélérateur Generate by GICAT et mettra en lumière la dynamique entrepreneuriale de la filière Sécurité. Une trentaine de startups seront présentes et auront sept minutes pour mettre en avant leurs innovations sur l' « innovation stage ».

Nous aurons également un plateau Milipol TV en partenariat avec S&D magazine pour la 1ère fois cette année.

Et nous aurons la chance d'accueillir pour la 1ère fois cette année des démonstrations dynamiques du RAID et du GIGN pendant l'événement.

### Quels seront les temps forts du programme 2023 ?

Le programme détaillé reste encore à finaliser.

Outre donc les démonstrations dynamiques du RAID et du GIGN qui se dérouleront pendant l'événement, Milipol sera inauguré par le Ministre de l'intérieur et des outre-mer, Monsieur Gérald Darmanin, s'en suivra une conférence inaugurale le mardi 14 novembre après-midi.

La remise des prix des Milipol Innovation awards aura donc lieu sur le salon le mardi 14 novembre à 14h.

Le programme de conférence en partenariat pour la seconde fois avec l'Institut des hautes études du ministère de l'Intérieur (IHEMI) sera centré autour des Jeux olympiques de Paris 2024 et les enjeux de sécurité auxquels il nous faudra faire face mais aussi les jeux comme vecteur de transformation et d'héritages. Il se décompose comme suit :

- Mercredi Matin :



Le continuum des Jeux Olympiques (partie 1) :

Les Jeux s'inscrivent dans un continuum géopolitique (Tokyo 2021, Paris 2024, Los Angeles 2028). Comment construit-on sur les expériences des événements passés ? Des invariants existent-ils ? Quelles nouveautés pour les Jeux de Paris (cérémonie d'ouverture sur la Seine par exemple) ? Quels sont les enjeux en matière de continuité d'activité pour les Jeux ? Quels défis, quelles opportunités, quelles réponses possibles ?

• Mercredi après-midi :

Le continuum des Jeux Olympiques (partie 2) :

Les Jeux s'inscrivent également dans un continuum intérieur/extérieur couvrant un large éventail comprenant la dimension locale, nationale ainsi que les aspects internationaux. Quels défis, quelles opportunités, quelles réponses possibles avant, pendant et après ?

• Jeudi matin :

Jeux et technologies de sécurité (partie 1)

L'essor des technologies a un impact significatif sur la planification et la mise en œuvre des mesures de sécurité et d'organisation des JO. Comment les technologies de sécurité s'intègrent-elles dans la planification des différents acteurs impliqués (du niveau central au niveau déconcentré, entre acteurs nationaux et internationaux, etc.) ? Quels sont les défis, quelles sont les opportunités ?

• Jeudi après-midi :

Jeux et technologies de sécurité (partie 2)

La parole sera laissée aux entreprises afin de venir illustrer les propos de la matinée avec des témoignages concrets de technologies testées et mise en œuvre à l'occasion des JO 2024.

• Vendredi matin :

Les jeux comme vecteurs de transformations et d'héritages

Comment les Jeux auront-ils transformé durablement la présence et les modes d'action (anticipation, planification, intervention) des acteurs contribuant à la sécurité intérieure (forces de sécurité intérieure, acteurs privés, partenariats développés à l'international, etc.) ? Quelles technologies peuvent être appelées à perdurer, pour quelles finalités ? Quelles transformations au quotidien (transports, économie, etc.) en lien avec la sécurité intérieure ? Les programmes détaillés de l'innovation stage (scène dédiée aux pitches des startups, aux ateliers exposants et aux présentations des finalistes des Milipol Innovation Awards) et du plateau TV seront mis en ligne fin septembre, tous ces événements constituent les principaux temps forts de Milipol Paris 2023.

### Quels sont les principaux enjeux de cette édition en termes de sécurité ?

Dans la perspective de l'organisation des jeux Olympiques en 2024 dans la capitale française, les besoins sont toujours croissants en matière de vidéosurveillance, de biométrie ou encore de gestion de données ayant recours à l'intelligence artificielle ou à l'analyse prédictive.

Aujourd'hui, toutes ces nouvelles technologies offrent de véritables outils d'aide à la planification, à la mise en œuvre des politiques de prévention et de protection. L'intelligence artificielle permet d'analyser très rapidement des volumes de données hétérogènes qui sont sans cesse croissants.

Les drones et les solutions de lutte anti drone ainsi que la cybersécurité se feront également la part belle en termes d'innovation et de solutions pouvant être mise en œuvre pendant les Jeux.

Toutes ces solutions seront présentées sur les différents stands par les exposants mais aussi débattues lors des conférences et plus particulièrement la journée du jeudi 16 novembre dédiée aux Jeux et technologies de sécurité.

### Des innovations particulières ?

Les innovations seront partout sur les stands et à travers les 26 groupements et pavillons nationaux.

Nous accueillons également pour la première fois cette année HTX, l'agence d'innovation du gouvernement de Singapour, ainsi que La Place Stratégique, un accélérateur d'entreprises nationales présentant des technologies disruptives par exemple.

Vous retrouverez l'intégralité de ces innovations à partir du 14 novembre, pendant 4 jours à Paris Nord Villepinte

### Quelles sont vos attentes sur le visitorat cette année ? Combien de personnes attendez-vous ?

Nous espérons dépasser l'édition 2019 soit plus de 32 000 visiteurs ! Tous les domaines de la sécurité publique et industrielle sont représentés : Maintien de l'ordre, forces spéciales, protection des sites industriels et sensibles, sécurité des lieux publics, sécurité des infrastructures de transports, Lutte anti-terrorisme, sécurité privée, sécurité civile, protection de données et cybersécurité, etc.).

Nous souhaitons également maintenir l'équilibre entre les visiteurs issus du service public et du privé (chiffres Milipol 2021) :

o 58 % privé (Fabricants, distributeur, société de services ou de conseil, etc.) ;

o 42 % public (Ministères et organes de l'État, institutions, administrations, etc.) ;

Ainsi que le niveau des visiteurs qui sont majoritairement décisionnaires dans le processus d'achat (chiffres Milipol 2021) :

o 66 % des visiteurs ont un rôle dans le processus d'achat ;

o 57 % des visiteurs ont affirmé être venus à Milipol Paris 2021 avec des projets d'investissement ou d'achat ;

o 92 % ont trouvé durant l'événement les solutions et contacts pour concrétiser ces projets ;

Par ailleurs, nous attendons également environ 150 délégations internationales en 2023 ! Pour ce faire, nous travaillons en étroite collaboration avec le bureau partenariat de la DCIS – Ministère de l'intérieur et des outre-mer et le réseau d'attachés de sécurité intérieure français présent dans le monde entier.

# L'INCORPORATION DE CARBURANTS D'AVIATION DURABLES, PIVOT DE LA DÉCARBONATION DU TRANSPORT AÉRIEN



**Benoît Decourt,**  
Co-fondateur Elyse Energy

Face à l'urgence du changement climatique, le secteur aérien s'est engagé à une croissance neutre en carbone à partir de 2020, et vise l'objectif de zéro émission nette en 2050. L'atteinte de ces objectifs reposera sur un panier de mesures : progrès technologique (ex. efficacité des moteurs, poids des matériaux...), améliorations opérationnelles de la navigation, et déploiement de carburants d'aviation durables ou SAF selon l'acronyme anglais de « sustainable aviation fuel ».

Les carburants d'aviation durables correspondent à des carburants non-fossiles, totalement fongibles avec les carburants conventionnels produits à partir de la fraction dite kérosène du pétrole brut. Ces carburants sont dit durables s'ils satisfont à un critère de durabilité, qui dépend des géographies et des réglementations. En Europe, la durabilité implique par exemple une réduction de gaz-à-effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie de 70% par rapport à la référence fossile, tout en imposant des contraintes sur les sources éligibles de biomasse pour éviter les conflits d'usage et les émissions indirectes liées au changement d'usage des terres.

La durabilité des carburants d'aviation durables s'entend dans une logique circulaire de cycle carbone : le carbone absorbé par la photosynthèse est recyclé (émission négative), puis la combustion en vol du carburant génère une émission (émission positive). Les émissions résiduelles dépendent des voies de productions et de l'efficacité des procédés. Ces carburants ont l'intérêt d'être utilisables dans l'infrastructure existante, sans modification des aéronefs, des moteurs ou des opérations, et fongibles avec le kérosène conventionnel jusqu'à un certain niveau de mélange défini par la réglementation en fonction des voies de production (entre 5 % et 50 % actuellement).

Selon les scénarios, ces carburants pourraient représenter entre 50 et 70 % de l'approvisionnement du secteur à horizon 2050, et contribuer pour plus de moitié aux objectifs de décarbonation du transport aérien. Le cadre réglementaire évolue à cet égard rapidement avec des mandats d'incorporation ambitieux en Europe ou des mécanismes de crédits d'impôts aux États-Unis. Elyse Energy est à l'avant-garde du développement effectif d'une filière française des carburants d'aviation durables.

**Elyse Energy, pionnier français des carburants d'aviation durables**  
Fondée en France en 2020 par cinq associés, Elyse Energy est une

PME industrielle indépendante, pionnière de la production de molécules bas-carbone dérivées d'hydrogène. Forte d'une cinquantaine de collaborateurs, notre mission est d'accompagner nos clients de la chimie, du transport maritime et du transport aérien dans la décarbonation de leurs activités.

Concrètement, nos équipes conçoivent, développent, financent, construisent et exploitent des usines de production de e-méthanol et de carburants d'aviation durables. A cet effet, Elyse Energy intègre et assemble les technologies les plus pertinentes pour capter et valoriser le CO<sub>2</sub>, produire l'hydrogène par électrolyse de l'eau, et synthétiser les molécules par procédés thermo-catalytiques.

Elyse Energy est donc avant tout maître d'ouvrage, avec le souhait de maîtriser les éléments clés de ses usines et de sa production, de A à Z et sur le long terme. Dans l'exigence permanente de sécurité industrielle, nous standardisons nos unités pour fournir des solutions compétitives à nos clients et accompagner l'accroissement de leurs besoins.

Comme nous l'avons expérimentés dans nos expériences entrepreneuriales précédentes, nous sommes convaincus de l'importance des nouveaux acteurs pour réussir le déploiement des filières émergentes. Complémentaires, et souvent partenaires, des sociétés établies, ces acteurs ouvrent la voie grâce à leur agilité, leur capacité à prendre des risques, à décider vite et à oser.

Initié dès sa création en France, en Espagne et au Portugal, le portefeuille de projets d'Elyse Energy inclut deux programmes majeurs : eM-France pour le e-méthanol à destination de la chimie et du transport maritime, et BioJet pour les carburants d'aviation durables.

**Le projet BioJet, première unité commerciale de e-biocarburant**  
Première mondiale à échelle industrielle, le projet BioJet vise à



BioTfuel copyright TotalEnergies

construire et opérer une usine de production de carburant aéronautique durable à partir de biomasse durable et d'hydrogène bas-carbone.

Le projet capitalise sur le procédé BioTfuel®, développé de 2010 à 2021 par un consortium réunissant IFP Energies nouvelles, Avril, Axens, le CEA, TotalEnergies et ThyssenKrupp Uhde au sein de la société Bionext. La technologie BioTfuel® permet de valoriser un large spectre de biomasses lignocellulosiques (résidus agricoles et forestiers) sans concurrence avec les usages alimentaires.

BioTJet combine la technologie BioTfuel® de conversion de la biomasse (torréfaction, gazéification, traitement du syngaz et synthèse Fischer-Tropsch) et l'injection d'hydrogène bas-carbone externe pour améliorer son rendement matière, doublant ainsi la quantité de kérosène obtenu pour une même quantité de biomasse consommée.

Comme annoncé le 16 juin par le Président de la République Emmanuel Macron, l'unité de production BioTJet sera implantée sur le bassin industriel de Lacq, à l'emplacement de l'ancien foncier de Yara France sur le site de Pardies. A horizon 2028, l'usine fournira 75.000 tonnes par an de e-biokérosène et 35.000 tonnes par an de naphta à destination de la chimie et du transport routier.

Le projet représente un investissement de plus d'un milliard d'euros, le plus important sur le territoire depuis la découverte du gisement de gaz naturel en 1951. Il devrait permettre de créer au moins 800 emplois directs et indirects pérennes en phase opérationnelle, et plusieurs milliers lors de la construction.

Le choix d'implantation et le dimensionnement sont issus de la première phase d'étude de faisabilité menée par les partenaires du projet BioTJet. Cette étape franchie, les études d'ingénierie de base ont pu démarrer mi 2023, en parallèle à la phase de participation du public dans le cadre de la concertation préalable actée par la Commission Nationale du Débat Public, avec un objectif de démarrage de la construction fin 2025.

Les partenaires du projet se sont auparavant entendus en 2022 sur la structuration financière de la société qui porte le projet. Cinq actionnaires ont confirmés leur participation dans le comité de direction : Elyse Energy, qui pilote le projet, Avril, Axens, Bionext et IFP Investissements (filiale d'investissement de l'IFP Energies nouvelles).

Le projet BioTJet et la société éponyme bénéficient du soutien de l'Etat dans le cadre du 4ème Programme d'Investissements d'Avenir – France 2030.



## LES SITES MILITAIRES SUR LA VOIE DE LA DÉCARBONATION :

### ASSOCIER ÉCONOMIES D'ÉNERGIE ET ÉNERGIES PLUS VERTUEUSES



Nathalie Verriele, Directrice  
du développement

Fin 2020, le Ministère des Armées s'est doté d'une stratégie énergétique de défense basée sur 3 axes : consommer mieux, consommer moins, consommer sûr. Renforcée en 2022 par la déclinaison du plan de sobriété énergétique gouvernemental, le Ministère des Armées poursuit sa trajectoire vers la transition énergétique. Nathalie Verriele, directrice du développement d'ENGIE Solutions, revient pour nous sur ces enjeux de décarbonation bâlimentaire, les actions qui peuvent être mises en place et le retour d'expérience sur des sites déjà engagés.



#### Bio Express :

Nathalie Verriele, directrice du développement d'ENGIE Solutions. Diplômée de l'ENSTA Paris, elle débute ingénieur recherche pour GDF. Elle consacre plus de 25 ans aux clients BtoB accompagnant les ouvertures du marché du gaz et de l'électricité. Aujourd'hui elle accompagne publics et privés dans leur décarbonation.

#### Décarbonation bâlimentaire, comment cela se traduit-il plus particulièrement dans le secteur de la défense ?

Outre l'engagement du Ministère des Armées pour la démarche nationale de transition énergétique, cette transformation est un réel atout opérationnel de performance et de résilience. Dans le domaine de la défense comme dans les autres secteurs, il faut agir sur l'ensemble du processus de décarbonation des sites. L'année 2022 a été l'objet de fortes tensions sur les marchés mondiaux de l'énergie, nous incitant à chercher des leviers simples et pragmatiques pour concilier trois objectifs : sobriété, efficacité énergétique et verdissement.

#### Sobriété, efficacité énergétique et verdissement, pouvez-vous nous en dire plus sur ces trois leviers ?

La sobriété énergétique en premier lieu doit permettre de réaliser des économies d'énergie rapides. Ces solutions à très court terme de sobriété peuvent facilement être mises en place quels que soient les sites. Mais pour avoir un impact

plus significatif et à plus long terme, il est également nécessaire d'engager des actions d'efficacité énergétique afin d'optimiser les consommations par les usages ainsi que le fonctionnement des sites et des bâtiments. C'est en réduisant ces consommations énergétiques et leurs coûts tout en préservant le confort matériel et budgétaire des usagers que d'importants résultats seront atteints. Dernier levier qui a toute son importance sur des sites sensibles de l'armée, il devient indispensable de diminuer la dépendance à un approvisionnement énergétique carboné et extraterritorial. Le verdissement des énergies, en produisant localement des énergies renouvelables nécessaires aux besoins du site, prend alors tout son sens. Il est entendu que ces leviers doivent s'adapter à chaque situation, contraintes et besoins.

#### Pouvez-vous nous parler de quelques exemples de sites dont la transition énergétique est engagée ?

Pour le Ministère des Armées, nous avons plus particulièrement travaillé sur trois sites militaires que sont les camps de Mourmelon (51), Ochey (54) et de la Valbonne (01). Sur chacun de ces sites, nous avons accompagné l'intégration complète de ces enjeux de décarbonation en fonction du budget alloué dans le cadre des appels d'offres et en veillant à proposer des solutions avec le meilleur taux de performance énergétique.

Concrètement, pour décarboner ces camps, nous avons défini des usages et déployé un plan de verdissement des énergies. L'idée étant de réduire les consommations d'énergie en rénovant notamment les bâtiments existants, en mettant

en place des réseaux énergétiques internes avec de nouveaux moyens de production, et enfin en produisant sur site de la chaleur à partir d'énergies renouvelables comme la biomasse ou les panneaux photovoltaïques. Le tout piloté finement à l'aide de Gestions Techniques Centralisées et d'outils digitaux permettant une rapidité d'intervention et de suivi.

Pour chaque projet, nous nous engageons sur des résultats ambitieux via des Contrats de Performance Énergétique (CPE). De l'étude à la conception des installations jusqu'à l'exploitation et la maintenance, ce sont des engagements dans la durée qui nous permettent d'identifier les leviers d'économie d'énergie et d'optimiser les actions de performance énergétique sur la base des usages techniques des sites.

#### **Sur les trois projets des sites militaires d'Ochey, de Mourmelon et de la Valbonne, quels résultats avez-vous obtenus ?**

Sur l'ensemble de ces programmes, nous cherchons à aller au-delà des objectifs convenus dans les Contrats de Performance Énergétique.

Le contrat d'Ochey est le deuxième plus important du Ministère des Armées après le camp de Mourmelon qui avait été intégré dans le cadre du plan de relance France 2030. Pour ce site nous avons proposé un ensemble de solutions avec pour objectif de réduire les consommations d'énergie à hauteur de 45 % et jusqu'à 95% des émissions de gaz à effet de serre. Nous avons aussi proposé de couvrir 85 % des besoins énergétiques du site avec des énergies renouvelables. Cela représentera 120 000 tonnes de CO<sub>2</sub> en moins de rejetées dans l'atmosphère !

Pour Mourmelon ce sont plus de 50 bâtiments qui sont en cours de rénovation énergétique et nous construisons un réseau de chaleur interne de près de 17 km qui sera alimenté par une chaufferie biomasse en cours de construction sur le site. La performance passe aussi par un fort volet RSE en intégrant des programmes d'aide à l'insertion des publics éloignés de l'emploi pouvant aller jusqu'à 9 500 heures dans le cadre des travaux et 8 000 heures pendant les 20 années d'exploitation.

Quant au projet du camp militaire de la Valbonne, l'un des tout premier appel d'offres que nous ayons remporté avec le Ministère des Armées en 2013, nous avons pour obligation d'atteindre 35 % de réduction de consommation d'énergie et de réduire de 60 % les émissions de CO<sub>2</sub>. Ces objectifs ont été largement dépassés et atteignent actuellement 73 % sur les consommations d'énergie et 70 % sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Et nous continuons à innover aux côtés du Ministère des Armées, en déployant des panneaux solaires hybrides permettant de produire simultanément de l'électricité et de l'eau chaude.

#### **Quelle est la valeur ajoutée de votre accompagnement ?**

La valeur ajoutée d'ENGIE Solutions se reflète dans notre engagement pour atteindre les résultats escomptés. Pour les CPE conclus généralement sur de longues durées (entre 10 ans et 20 ans), nous nous engageons auprès de l'administration et des armées sur la réduction réelle des consommations d'énergie. Nous mettons en place des mécanismes de garantie qui s'inscrivent sur le long terme. Les leviers de performance que nous actionnons dès les phases d'étude, pendant les travaux, lors de la conduite du projet, de son exploitation, concourent tous à tenir nos engagements d'économie d'énergie et de réduction de CO<sub>2</sub> sur du long terme, voire à les dépasser.

Nous avons pour avantage de nous investir dans toutes les étapes du programme de décarbonation, en amont et en aval. À ce titre, nous assurons le suivi des actions à mettre en œuvre, de la conception de solutions (élément fort de notre capacité à développer des idées et des innovations dans le cadre de réponse aux projets) jusqu'au déploiement de la stratégie établie et au-delà.

Par notre présence locale avec plus de 300 équipes sur l'ensemble du territoire, et notre capacité à mobiliser toutes les ressources locales d'énergies (récupération de chaleur, biomasse, pompe à chaleur, géothermie ...), nous sommes au quotidien aux côtés de l'armée pour optimiser les usages et bâtir sur chaque site le système énergétique le plus performant et durable.



# LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DU PATRIMOINE IMMOBILIER DES ARMÉES : LE RÔLE D'UN ÉTABLISSEMENT DU SERVICE D'INFRASTRUCTURE DE LA DÉFENSE



Jacques Massot, Directeur  
de l'Établissement du  
Service d'Infrastructure de  
la Défense de Lyon

Par l'Ingénieur général de 2<sup>e</sup> classe Jacques Massot, Directeur de l'Établissement du Service d'Infrastructure de la Défense de Lyon.



Fort du plus vaste domaine immobilier de l'État (27 %), le Ministère des Armées dispose d'un service expert dédié en matière d'infrastructure et d'énergie : le Service d'Infrastructure de la Défense (SID).

Le SID administre, construit et adapte l'ensemble du patrimoine immobilier du ministère. Il est le référent en matière de construction, de maintenance immobilière, de maîtrise de l'énergie pour les infrastructures et de gestion administrative, technique, environnementale et énergétique du patrimoine.

Depuis sa création, le SID se positionne comme un maître d'ouvrage public innovant et ambitieux en matière de performance énergétique.

Son action s'inscrit dans les politiques étatiques déclinées dans la Stratégie Énergétique de Défense, laquelle porte comme objectifs de « consommer moins, consommer mieux et consommer sûr ». L'ensemble des acteurs du Ministère des Armées est ainsi mobilisé pour une réduction de la dépendance aux produits pétroliers pour la mobilité des systèmes, la réduction de son empreinte énergétique, logistique et environnementale, et l'intégration de nouvelles technologies utilisant des énergies plus vertes et renouvelables.

La seconde Stratégie Ministérielle pour la Performance Énergétique (SMPE) décline ces ambitions pour les infrastructures, sur la période 2020-2023. Ce sont 18 actions ambitieuses et chiffrées qui agissent sur la part infrastructure des consommations du ministère et engagent

le patrimoine des armées vers la décarbonation totale à l'horizon 2050. Ces efforts contribuent également à assurer la résilience du Ministère des Armées, et à faire de l'énergie un atout opérationnel.

Entités de production et d'expertise, les ESID sont tenus d'appréhender les enjeux des infrastructures dans toute leur complexité. Il s'agit en effet de répondre aux besoins exprimés par les armées et bénéficiaires et d'assurer le maintien en condition, dans des délais et budgets contraints, en intégrant les exigences réglementaires au même titre que les enjeux transversaux : cybersécurité, sécurité et sûreté, flexibilité, environnement et bien entendu, performance énergétique.

Il revient au commandement de l'ESID d'impulser une vision stratégique et prospective ambitieuse, permettant la prise en compte de la performance énergétique dans tous les métiers et à toutes les étapes d'une opération. Depuis le rôle d'appui au commandement dans les stratégies de stationnement, dans les études amont, les programmes d'infrastructure, les travaux et la maintenance, la préoccupation environnementale s'envisage comme une nécessité qui fait écho aux enjeux écologiques et de résilience.

Ainsi, l'éco-construction vient rechercher un optimum en matière de besoins énergétiques et d'empreinte carbone, considérés désormais sur tout le cycle de vie. De nouvelles données d'entrée s'imposent au quotidien : la gestion des déchets produits par le bâtiment, mais également



leur valorisation, la préservation des ressources en eau et de la biodiversité, la végétalisation pour lutter contre l'artificialisation et l'imperméabilisation des sols, l'amélioration du confort d'été, et la limitation des effets du changement climatique. Comme le faisaient nos anciens, les conceptions se font bioclimatiques : elles s'appuient sur le génie du lieu et leur frugalité originelle constitue leur première force dans la réduction de l'empreinte environnementale.

La mobilisation des approches performantielles dans les modes de contractualisation vient en soutien de ses stratégies. En effet, exiger des résultats en matière de performance énergétique favorise la liberté de conception et l'innovation, mais permet également d'engager les opérateurs sur un coût global, et sur des résultats réels en matière de consommations, d'émissions de gaz à effet de serre, de taux de recours aux énergies renouvelables, etc.

Les opérations d'infrastructure dont l'objet principal est l'efficacité énergétique et la décarbonation (rénovation énergétique de bâtiment ou chaufferie, contrat de performance énergétique,...) sont essentielles à l'atteinte des objectifs réglementaires et notamment le zéro carbone à l'horizon 2050, mais elles ne pourront à elles seules porter cette ambition. Il revient aux ESID de s'assurer que la performance énergétique est embarquée dans toutes les opérations d'infrastructure, pour tous, partout, et au quotidien.

La construction s'inscrit par nature dans le temps long ; les conceptions d'aujourd'hui feront toujours partie du patrimoine immobilier en 2070. Dès lors, la prise en compte de la performance énergétique doit s'envisager dès aujourd'hui comme intrinsèquement liée à la capacité opérationnelle des forces, tant elle est liée à la pérennité du patrimoine, à la qualité du service rendu et à la résilience énergétique.



Esquisse du projet de Commandement de l'Espace (Toulouse) – Groupe 6, groupement Bouygues Bâtiments Centre Sud Est : une conception bioclimatique et des engagements performantiels exigés par l'ESID de Lyon au profit de la performance énergétique, du confort et de la qualité de service.

## Chiffres clefs :

### Le SID :

- 6 700 agents, dont 1/3 de personnel militaire, principalement répartis en 7 Établissements du Service d'Infrastructure de la Défense, sur le territoire métropolitain, et 9 Directions d'Infrastructure de la Défense en Outre-mer et à l'étranger
- 30,5 Mm<sup>2</sup> de surface bâtie active, répartie sur 4 700 emprises et 270 000 ha
- 2.67 Milliards d'euros de crédits, pour plus de 20 000 actes d'achat notifiés par an
- Consommations d'énergie infrastructure :
  - 25 % des consommations d'énergie du ministère
  - 3,2 TWh/an environ se décomposant en 1,3 TWh d'électricité ; 1,3 TWh de gaz et 0,6 TWh autres (fuel, RCU, bois,...).

### L'ESID de Lyon :

- 6,7 mm<sup>2</sup> de surface bâtie active, sur plus de 900 sites du quart Sud-Est (hors port toulonnais), de l'Occitanie et de la Corse
- 1 253 personnels, pour 69 000 personnels soutenus
- 2 Systèmes de Management de l'Énergie de type ISO 50001 en place, et 4 supplémentaires en cours de montage
- 6 Contrats de Performance Énergétique en place, et 3 supplémentaires en projet

- 46 % des surfaces chauffées du périmètre de l'ESID de Lyon disposent d'un marché de maintenance intégrant des clauses d'intéressement à la performance énergétique
- La suppression du fuel pour la production de chaleur à l'horizon 2031 fait l'objet d'un plan d'action qui a d'ores et déjà permis une réduction de 38 % des puissances installées
- 199 ha mis à disposition d'opérateurs photovoltaïques dans le cadre de l'opération Place au Soleil
- 7 installations solaires en place pour répondre aux besoins électriques des sites (autoconsommation), et une vingtaine de projets complémentaires à l'étude
- 11 % de la surface chauffée soutenue raccordée à un réseau de chauffage urbain comportant principalement des énergies renouvelables et décarbonées. 13 projets en cours de déploiement, portant cette surface raccordée à 29 %
- Bilan entre 2015 et fin 2022 (corrigé des effets de la rigueur de l'hiver) :
  - -36 % de consommations des énergies les plus émissives (fuel et charbon, dont la dernière production a été arrêtée en 2017)
  - +3 % de consommation en énergie finale et - 5 % d'émissions de gaz à effet de serre, à mettre en regard d'une hausse de 11 % de la surface bâtie sur la même période.

# LE CENTRE RÉFÉRENT EN PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE : UN PÔLE D'EXPERTISE DÉCENTRALISÉ



Delphine LABRY, Cheffe du  
Centre Référent en  
Performance Énergétique

Par la Conseillère Technique de la Défense Delphine LABRY, Cheffe du Centre Référent en Performance Énergétique.



## Piloter, conseiller, capitaliser, diffuser

Le Centre Référent en Performance Énergétique (CRPE) de l'ESID de Lyon intervient sur l'ensemble du patrimoine des armées. Il est composé de 9 experts, riches de leurs expériences antérieures en collectivité territoriale, au ministère chargé de la transition écologique, dans le secteur privé ou, au sein du ministère, à la DGA ou dans la conduite d'opération d'infrastructure.

Ancré en ESID, c'est au plus près des enjeux et besoins du terrain que le CRPE expérimente et capitalise de nouvelles manières de contractualiser la performance énergétique.

Au service de toute la chaîne infrastructure, qu'il conseille et assiste dans ses projets à enjeux environnementaux, il analyse et diffuse les bonnes pratiques. Son mode opératoire se veut démultiplicateur : les outils produits, du marché-type au guide méthodologique, de la formation en ligne à l'observatoire national, sont diffusés avec un objectif d'appropriation et d'acculturation. Courroie de transmission entre les échelons locaux et les porteurs de la stratégie ministérielle, le centre référent éclaire les orientations stratégiques et facilite la mise en œuvre sur le terrain des politiques énergétiques, autour des trois leviers : sobriété, efficacité et décarbonation.

Vecteurs majeurs de la rénovation énergétique du patrimoine des armées, agissant simultanément sur ces trois leviers, les Contrats de Performance Énergétique font l'objet d'un déploiement national coordonné par le CRPE. Avec une programmation d'investissement annuelle d'environ 50 M€, ces marchés voient la mise en œuvre à l'échelle d'un site d'un bouquet d'actions défini par l'opérateur privé, qui garantit en contrepartie pendant les 20 ans du partenariat des réductions substantielles de consommations d'énergie (35 à 46 %), d'émissions de gaz à effet de serre (50 à 92 %), et un taux de

recours minimum aux énergies renouvelables (10 à 80 % selon les sites). Les 10 contrats de performance énergétique mis en place depuis 2011 devraient être portés à 18 d'ici à 2025, générant des économies d'environ 100 GWh par an.

## Sobriété et efficacité énergétique, pour réduire les besoins

En matière de construction neuve, la sobriété s'envisage sous l'angle du bioclimatisme. L'implantation et la conception du bâtiment sont pensées pour s'adapter aux contraintes environnementales locales et en saisir les opportunités, afin de réduire les besoins en fluides. La contractualisation performantielle, avec engagement de résultats et transfert de risques, permet de favoriser ces conceptions frugales, à compléter par des systèmes énergétiques à haute efficacité et décarbonés. Ainsi, le projet de construction du Commandement de l'Espace à Toulouse a intégré, avec l'appui du centre référent, des exigences performantielles de confort, qualité de service et d'éco-construction. Les candidats se sont engagés sur des cibles de végétalisation, de moindre artificialisation, de volume de matériaux biosourcés, de qualité de l'air ou de rendements de systèmes, qui seront vérifiées à la livraison puis pendant les premières années d'exploitation.

En phase maintenance, l'optimisation des systèmes existants de chauffage, ventilation et climatisation est recherchée via l'intéressement économique des prestataires aux réductions de consommations. Ces clauses performantielles, rédigées et suivies par le centre référent, bénéficiaient fin 2022 à 21 % de la surface chauffée du ministère. Dans le même temps, la mise en œuvre de cet intéressement sur les premiers sites générait une diminution moyenne de 13 % des consommations de chaleur. Enfin, le déploiement de Systèmes de Management de l'Énergie de type ISO 50001 permet d'engager les occupants

durablement sur le chemin de la sobriété. Outre son appui technique, le centre référent favorise l'adhésion de onze sites militaires à cette démarche d'amélioration continue au profit des économies d'énergie : exemplarité, écogestes et traçabilité. Le CRPE assure également la formation et la montée en maturité des gestionnaires de l'énergie du patrimoine, répartis sur le territoire au plus près des forces, et de l'ensemble de la filière énergie du SID.

#### **Les énergies renouvelables au service de la décarbonation**

En complément de la réduction des besoins énergétiques des infrastructures, les efforts du centre référent portent sur l'augmentation du recours aux énergies renouvelables. L'interdiction du chauffage au fuel à l'horizon 2031 oriente vers des sources alternatives décarbonnées : biomasse, solaire, géothermie, mais également raccordements à des réseaux de chaleur urbains, dont le mix est en moyenne composé de 70 % d'énergies renouvelables ou de récupération.

75 sites du ministère étaient raccordés à des réseaux de chaleur urbains fin 2022, soit 23% de plus qu'en 2021. Ces raccordements représentent une économie annuelle d'environ 22 500 tonnes de CO<sub>2</sub> par rapport à une production au gaz, soit des émissions divisées par 3. Sur ce sujet, le CRPE assiste les équipes dans la contractualisation et capitalise les résultats. L'autoconsommation d'électricité photovoltaïque est également un vecteur de transition énergétique en pleine expansion sur le patrimoine, malgré différents freins techniques et réglementaires. Le CRPE accompagne et suit le développement de ces projets. Ce sont environ 10 000 m<sup>2</sup> de panneaux qui sont déjà installés, tandis qu'une trentaine de sites ont lancé des études de faisabilité via un marché national co-construit par le centre référent.

#### **Concilier performance énergétique et résilience**

L'ensemble de ces efforts contribue à la résilience énergétique du patrimoine des armées, en accroissant son indépendance et son autonomie. Des expérimentations plus ambitieuses sont en cours : ENSSURE, « ENergy Self Sufficient and REsilient military base », est un projet de démonstrateur de site militaire énergétiquement autonome et résilient, intégrant énergies renouvelables, stockage et systèmes d'optimisation intelligents. Porté par le centre référent, il s'inscrit dans une stratégie partagée et soutenue par l'Agence Européenne de Défense.

#### **Une structure agile au service des infrastructures de demain**

Le centre référent travaille en réseau interministériel, avec les autres maîtres d'ouvrage, les professionnels et avec ses homologues européens. Ces échanges enrichissent sa vision et contribuent au rayonnement du ministère et à son influence dans la normalisation européenne comme dans les réglementations européennes et nationales.

Les ambitions rehaussées de la France en matière de décarbonation à l'horizon 2030 (-50 % GES par rapport à 1990) demandent un effort sans précédent du secteur tertiaire. Le centre référent, fort de ses 8 années d'expérience, est pleinement engagé pour la déclinaison opérationnelle de cet objectif. A l'aube d'une nouvelle stratégie ministérielle englobant les enjeux climatiques, la réussite de la transformation du patrimoine des armées passe par une approche intégrée et prospective à laquelle le centre référent ambitionne de contribuer.



Installation solaire photovoltaïque du Contrat de Performance Energétique de la caserne Marescot – 31èRG – Castelsarrasin (82).



# CHEZ DALKIA, NOUS DÉCARBONONS LA CHALEUR !



Yannick Duport, Directeur  
Commerce & International  
membre du Comex  
de Dalkia

Rencontre avec Yannick Duport, directeur Commerce & International, membre du Comex de Dalkia, qui répond à nos questions et nous explique comment Dalkia s'engage pour aider ses clients à consommer moins et mieux.



## Comment votre entreprise accompagne-t-elle ses clients dans la transition énergétique ?

Dalkia est un acteur majeur et très engagé de la transition énergétique des territoires. Notre ambition est de développer des solutions de chauffage urbain et de climatisation avec des ressources énergétiques renouvelables et de récupération locales pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, consommer bas-carbone et donc « consommer mieux ». Chez Dalkia, nous décarbonons la chaleur, c'est un enjeu stratégique puisqu'elle représente à elle seule près de la moitié de l'énergie finale consommée. Or 60 % de cette chaleur est produite par des énergies fossiles !

Nous accompagnons également nos clients dans leurs actions d'efficacité énergétique avec un engagement ambitieux « consommer moins » pour agir concrètement sur la réduction des consommations. Ainsi en 2022, nous avons permis à nos clients d'éviter l'émission de 4 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, soit plus de 2 millions de voitures retirées de la circulation !

## Concrètement comment « consommer moins » et « consommer mieux » ?

Au cœur de ces enjeux se trouve le Contrat de Performance Énergétique (CPE) connu aussi sous le nom de Marché Public Global de Performance (MPGP) dans le cadre d'une commande publique. Une démarche 360° qui allie l'utilisation d'énergies renouvelables, les travaux de rénovation, une maintenance régulière des installations, un pilotage intelligent, et bien d'autres services sur mesure. C'est la solution pour améliorer la performance énergétique des bâtiments et réaliser des économies d'énergies dans la durée. Les chiffres parlent d'eux-mêmes avec des baisses de consommation énergétique pouvant dépasser - 40 % et des résultats garantis contractuellement.

## Quelles actions mettre en place avec le CPE ?

Il existe 3 types d'actions qui peuvent être intégrées en totalité ou en partie à un CPE. Leurs enjeux en matière de performance énergétique, de coûts et de temps de retour sur investissement

différent et offrent donc un large panel de solutions. On distingue les actions avec un gain rapide sur investissement comme par exemple la mise en place de systèmes de comptage d'énergie et de télégestion, le changement de chaudière ou d'équipements énergivores, la sensibilisation des occupants aux économies d'énergie... Ensuite on identifie les actions de rénovation énergétique notamment le verdissement des équipements fonctionnant avec des énergies fossiles en utilisant la biomasse, la géothermie, un réseau de chaleur et de froid alimenté par des énergies renouvelables et de récupération... Le dernier type d'action concerne les rénovations lourdes incluant notamment des mises aux normes. La démarche d'un CPE est simple : on commence par établir une situation de référence pour les consommations énergétiques puis on définit les Actions de Performance Énergétique (APE) en fonction du niveau d'engagement et des objectifs souhaités. Et l'engagement porte sur les économies réelles à réaliser dans la durée, les résultats étant mesurés selon un protocole défini contractuellement.

## Est-ce que toutes ces actions seront suffisantes pour atteindre l'objectif de neutralité carbone en 2050 ?

Le CPE, qui permet d'atteindre des économies d'énergies très significatives, est déjà une réelle opportunité pour les clients de tendre vers cet objectif. Mais effectivement on peut aller plus loin. C'est justement l'ambition du nouveau Contrat de Performance Carbone (CPC) sur lequel nous travaillons activement avec en plus de la réduction ou la maîtrise de ses consommations des solutions complémentaires pour réduire son impact « Carbone ». Et pour réussir ce défi, le seul moyen c'est d'agir ensemble, clients, partenaires, usagers des services.

## Contact :

- [fabienne.martin@dalkia.fr](mailto:fabienne.martin@dalkia.fr)
- [www.dalkia.fr](http://www.dalkia.fr)

# UN ACTEUR INCONTOURNABLE DE LA SÉCURITÉ MODERNE



Salvatore Furnari, Président  
du Groupe Héraclès -  
Secrétaire Général du club des  
entreprises françaises de  
sûreté à l'étranger

Salvatore Furnari, PDG du Groupe Héraclès, répond à nos questions et nous en dit plus sur la société qui se positionne comme une Entreprise de Services de Sécurité et de Défense. Entretien.

**GROUPE HÉRACLÈS**  
SÛRETÉ - SÉCURITÉ

## Experts de la sécurité, quels sont vos métiers et votre positionnement ?

En tant qu'experts de la sécurité, Héraclès se positionne comme une Entreprise de Services de Sécurité et de Défense (ESSD) pour les entreprises. Notre équipe multidisciplinaire comprend des experts en sécurité humaine, en gestion des risques, en analyse stratégique et en technologie. Notre mission principale est d'aider nos clients à prévenir et à gérer les menaces potentielles.

## En votre qualité d'Entreprise de Services de Sécurité et de Défense, à quels niveaux accompagnez-vous les entreprises ?

Nous accompagnons les entreprises à différents niveaux pour assurer leur sécurité globale. Nous réalisons des évaluations approfondies des risques et proposons des solutions personnalisées pour renforcer la sécurité des installations, des informations sensibles et des personnes. Nos services comprennent par exemple, la surveillance, la protection physique, les systèmes de contrôle d'accès et la vidéosurveillance basée sur l'intelligence artificielle.

## Avec votre filiale Héraclès Protection rapprochée renforcée armée, vous faites partie des rares entreprises en France ayant l'autorisation de faire de la protection physique de personnes avec usage d'armes de catégorie B et D. Pouvez-vous nous en dire plus ?

Les évolutions sociétales, technologiques et géopolitiques ont entraîné des changements significatifs dans les menaces auxquelles les entreprises sont confrontées. Depuis notre création, nous sommes restés attentifs à ces évolutions et avons anticipé les besoins de nos clients en matière de sécurité et de sûreté. L'évolution de ces menaces nous ont conduit à créer notre filiale

de protection rapprochée renforcée armée faisant de nous la troisième société autorisée sur le territoire français à travailler armée en Protection Physique de Personnes. Nous sommes convaincus qu'une approche préventive de la sécurité est essentielle pour protéger les entités ou les personnes exposées à des risques élevés. Notre équipe d'agents qualifiés et expérimentés évalue les risques, planifie et met en œuvre des mesures de protection adaptées.

## Quels sont les autres sujets qui vous mobilisent actuellement ?

En parallèle, nous nous mobilisons sur d'autres sujets importants. Récemment, nous avons ouvert notre département de Business Intelligence dans le but d'anticiper les menaces et les enjeux sécuritaires. En combinant cette expertise avec notre connaissance approfondie de la sécurité, nous sommes en mesure de mettre en place des dispositifs de sécurité préventifs et proactifs. Ainsi, nous minimisons les risques pour nos clients et leur fournissons des solutions personnalisées.

Dans notre volonté constante de répondre aux besoins sécuritaires émergents, nous investissons également dans notre département technologie. Nous nous efforçons de proposer des équipements de protection hautement techniques et des matériels à la pointe de l'innovation.

Chez Héraclès, nous sommes fermement convaincus que la sécurité moderne ne peut pas être traitée de manière isolée, mais nécessite une approche globale. C'est pourquoi nous nous concentrons sur trois grands principes : les aspects humains, technologiques et organisationnels de la sécurité. Nous croyons que cette approche intégrée est essentielle pour relever les défis sécuritaires modernes et garantir une protection efficace à nos clients.

## IDEX : L'ENTREPRISE QUI ACCOMPAGNE

### LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES ARMÉES



Jacky Danilo, Directeur  
Commercial Grands Comptes  
d'IDEX

Le monde de la défense accélère sa transformation afin de contribuer aux fortes ambitions nationales et européennes en termes de décarbonation, de réduction du CO<sub>2</sub> et des gaz à effets de serre. Dans ce contexte, il peut compter sur des partenaires de confiance comme IDEX, un acteur incontournable de la transition énergétique. Le point avec Jacky Danilo, Directeur Commercial Grands Comptes d'IDEX.



#### Pouvez-vous nous présenter IDEX ?

IDEX, qui célèbre ses 60 ans cette année, développe, conçoit, finance, construit et exploite des infrastructures énergétiques locales et décarbonées de fourniture de chaleur et d'électricité pour les bâtiments, les villes et l'industrie. IDEX est aujourd'hui le seul opérateur du marché verticalement intégré sur l'ensemble de la chaîne de valeur des énergies locales. Nous intervenons de la production d'énergie thermique ou électrique à partir de ressources énergétiques locales et décarbonées (géothermie, déchets, biomasse, solaire), à la distribution de cette énergie via des réseaux de chaleur et de froid jusqu'à l'optimisation de son usage final dans les usines de production, les bâtiments industriels résidentiels et tertiaires.

Avec un chiffre d'affaires de 2 milliard d'euros en 2022, IDEX compte aujourd'hui 6100 collaborateurs. Notre ambition est d'accompagner l'ensemble de nos clients sur les enjeux de décarbonation et d'optimisation de leur consommation d'énergie.

#### Quels sont les enjeux liés à la transition énergétique identifiés par IDEX ?

Nous faisons le constat majeur d'un besoin de financement conséquent à flécher en priorité sur la décarbonation de la chaleur soit plus de 60 Mds€/an (chiffres France, source I4CE, SNBC) nécessaires pour financer la rénovation énergétique et les infrastructures bas carbone afin d'atteindre la neutralité carbone à horizon 2050. 45 % de la consommation finale d'énergie est dédiée à la chaleur (processus industriels, chauffage des bâtiments, eau chaude sanitaire) et 65 % de sa production dépendent d'énergies fossiles (fioul, gaz...). Le défi est de taille !

#### Quelles sont les réponses d'IDEX ?

Nous pouvons résumer nos réponses selon trois priorités :

- Accélérer la décarbonation des industriels : production de vapeur et d'électricité à partir de biomasse, de sous-produits dans une logique d'économie circulaire, valorisation de chaleur fatale.







- Améliorer l'indépendance énergétique des territoires par le recours à des énergies locales et décarbonées : biomasse, géothermie, combustibles solides de récupération, gaz renouvelables (biogaz, hydrogène), pyrogazéification...
- Accompagner l'optimisation des usages énergétiques au sein des bâtiments : contrats de performance énergétique, couplage de panneaux solaires, avec des bornes de recharge pour véhicule électrique, individualisation des frais de chauffage.

#### Que propose IDEX aux acteurs de la défense nationale ?

IDEX est un partenaire et un opérateur historique du Ministère des Armées et plus particulièrement des Services d'Infrastructures de la Défense, au travers de contrats emblématiques.

- Nous intervenons sur la base Saint-Christol sur le plateau d'Albion dans le sud dans le cadre d'un contrat de performance énergétique (CPE), pour exploiter et maintenir une centrale de production d'eau chaude avec une installation solaire thermique couplée à une centrale biomasse.
- Sur la base militaire des chasseurs alpins de Gap, nous sommes responsables d'un CPE qui s'appuie sur une chaufferie biomasse, qui a permis de décarboner significativement le site.
- Dans l'Est, nous sommes présents à Mailly le Camp où nous exploitons un réseau de chaleur. Nous avons testé plusieurs solutions d'énergies renouvelables afin d'identifier les plus pertinentes pour décarboner le site (plaquettes forestières, miscanthus, ...).

Au travers de ces projets, le Ministère des Armées et les Services d'Infrastructures de la Défense travaillent sur des solutions et des alternatives pour réduire le recours aux énergies fossiles et

promouvoir les énergies renouvelables et vertes, diminuer la consommation énergétique afin de réduire l'empreinte carbone.. Aujourd'hui, plusieurs options peuvent être immédiatement déployées et mises en œuvre comme le raccordement à des réseaux de chaleur décarbonés avoisinants, le remplacement des chaudières utilisant des énergies fossiles par des solutions vertes comme la biomasse ou la récupération d'énergies.

Dans le cadre des contrats que nous signons avec les Services d'Infrastructure de la Défense, il y a un volet performantiel fort. Concrètement, nous nous engageons sur les moyens à mettre en œuvre et sur les performances à atteindre. Nous nous engageons ainsi sur les consommations énergétiques et sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Pour ce faire, nous réalisons les travaux nécessaires et mettons en place l'instrumentation et les dernières technologies disponibles pour collecter les données qui permettront aux systèmes d'information et aux algorithmes d'optimiser le fonctionnement des installations.

IDEX veut être un partenaire pérenne du monde de la défense. Les projets que nous portons s'inscrivent dans le temps long afin d'obtenir un retour sur investissement viable sur les plans économique et technologique.

Nous mettons à disposition des armées nos expériences et savoir-faire dans le monde civil (tertiaire, industriel, logement). Nous les accompagnons aussi dans la recherche de solutions innovantes sur des enjeux comme l'autosuffisance et la résilience d'une base, le pilotage énergétique d'un site, la continuité du fonctionnement d'un site, le déploiement de smart grids, de réseaux intelligents, de solutions de récupération d'énergie, sans oublier la mise en œuvre de solutions robustes en matière de cybersécurité.

# COMMENT VINCI ENERGIES S'ENGAGE DANS LA PERFORMANCE

## ÉNERGÉTIQUE AVEC SON ENTITÉ OZAIQ ?

Dans un monde en évolution permanente, VINCI Energies accélère la transition écologique en concrétisant deux mutations majeures, numérique et énergétique. Ses équipes déploient des technologies et des solutions multi-techniques sur mesure, de la conception à la réalisation, l'exploitation et la maintenance.



Chez VINCI Energies, nous sommes présents sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments, associant ingénierie et travaux, maintenance et services aux utilisateurs finaux dans le cadre du Facility management.

La combinaison d'activités de long terme et d'activités de projet nous permet de maîtriser pleinement toutes les étapes de la vie des bâtiments et de créer de la valeur pour nos clients dans le cadre de :

- L'évolution des bâtiments au service des usages : pour rendre les bâtiments évolutifs et au service des changements des modes d'utilisation ;
- La transition environnementale : pour engager les bâtiments vers la sobriété et dans une transformation bas carbone.

En 2021, VINCI Energies a créé OzaiQ, business unit à vocation nationale, dédiée au pilotage des contrats de Marchés Globaux de Performance Énergétique (MGPE). OzaiQ appartient à la société VIVERCI.

Son offre globale d'ingénierie autour de l'efficacité énergétique et du commissionnement\* permet à OzaiQ de construire et d'assurer l'atteinte et le maintien des

engagements de performance (énergie et environnement) des projets de rénovation énergétiques d'envergures. OzaiQ agrège et pilote les expertises des entreprises d'ingénierie et travaux de VINCI Energies avec celles des entreprises d'exploitation-maintenance de VINCI Facilities ainsi que des partenaires tels que des cabinets d'architecture et les bureaux d'étude.

**Avec OzaiQ, améliorons ensemble les performances de vos bâtiments.**

La performance des bâtiments est un levier important pour l'optimisation des consommations d'énergie. Des mesures de consommation à la gestion technique des bâtiments en passant par la rénovation et le choix de systèmes énergétiques à haute performance, OzaiQ accompagne ses clients dans tous leurs projets d'efficacité énergétique, notamment dans la durée grâce à des Contrats de Performance Énergétique.

\*Le commissionnement est une démarche qualité, pour atteindre le niveau des performances contractuelles et créer les conditions pour les maintenir.

### Rénovation Énergétique

Choisir les solutions qui conduisent à la meilleure performance globale des bâtiments





Émilie Sohier, Directrice de projet MGPE au sein d'OzaiQ

OzaiQ est une entité de VINCI Energies, à vocation nationale. Elle intervient sur des projets qui associent construction et exploitation-maintenance, sur le temps long. Une directrice de projet MGPE au sein d'OzaiQ, Émilie Sohier, nous en dit plus.



### **Vous rejoignez VINCI Energies en 2021, pourquoi ?**

Diplômée de l'INSA de Lyon en Génie Énergétique et Environnement, j'ai commencé ma carrière dans un bureau d'études Tous Corps d'État en tant que chef de projet CVC. Dès 2011, j'ai collaboré à des projets de rénovation énergétique réalisés dans le cadre de Contrat de Performance Énergétique (CPE).

En rejoignant VINCI Energies, j'ai souhaité mettre mes expertises à disposition de ce groupe leader, acteur sur ce type de marché en rénovation énergétique. Je suis en effet intimement persuadée que, pour répondre aux enjeux environnementaux et aux exigences du Dispositif Eco-Energie Tertiaire, les CPE par le déploiement de Marchés Globaux de Performance (MGP) ont et joueront un rôle de plus en plus important. Ils permettent aux Maîtres d'Ouvrage d'avoir des garanties de résultats, ce type de marché pousse à l'excellence !

En France, le bâtiment est le plus important consommateur parmi tous les secteurs économiques : 30 à 40 % des coûts d'exploitation d'un bâtiment sont liés à la facture énergétique. Ainsi, même si tous les bâtiments ne sont pas concernés par le Dispositif Eco-Energie Tertiaire, comme les sites militaires, une prise de conscience collective est bien là.

Toute la profession du bâtiment doit s'organiser et se mettre en ordre de marche. Et c'est précisément le cas avec OzaiQ ! Nous sommes en mesure d'assembler toutes les expertises de VINCI Energies qui couvrent tout le cycle de vie du bâtiment : Ingénierie, Travaux et Exploitation-Maintenance.

### **Quelle stratégie et quelles expertises sont mises en œuvre pour répondre aux engagements d'un Contrat de Performance Énergétique ?**

Les Contrats de Performance sont un véritable outil juridique et engageant pour diminuer les consommations énergétiques ! Celui-ci doit être mené avec des solutions vertueuses, sans dégrader le niveau de confort et d'usage des occupants. Pour ce faire, différentes Actions de Performance Énergétique (APE) peuvent être retenues et doivent être adaptées en fonction des résultats escomptés. OzaiQ définit le bouquet d'APE adéquat et les engagements associés avec ses ingénieurs efficacité énergétique. Leurs sélections et leurs déploiements nécessitent différentes expertises, portées par les architectes, bureaux d'études, entreprises de travaux, exploitant-mainteneur.

***OzaiQ, en tant que mandataire, constitue l'équipe avec un groupement ajusté à chaque projet !***

Les entreprises ingénierie & travaux de VINCI Energies (chauffage ventilation climatisation, courants forts notamment photovoltaïque et courants faibles, telles que Tunzini, Cegelec, Santerne et bien d'autres encore...) ainsi que les entreprises d'exploitation-maintenance VINCI Facilities, toutes locales et situées au plus près des projets, sont la base de cette équipe. Nous complétons avec des expertises spécifiques externes et internes (par exemple : Qivy Habitat pour les travaux d'enveloppe, Eliove pour le photovoltaïque et Cegelec Défense dans le cadre de son expertise en matière de cybersécurité sur les projets militaires...).

***Pour être efficaces, toutes ces expertises doivent être coordonnées, pilotées par le directeur de projet qui sera également l'interlocuteur privilégié du client final. Un maître mot : la coopération.***

### **Pourriez-vous nous parler de projets en cours ?**

Un important Marché Public Global de Performance Énergétique a été confié par une commune d'Île-de-France à un groupement d'Entreprises dont OzaiQ est le mandataire. Ce contrat de 10 ans porte sur un certain nombre de sites sélectionnés par le maître d'ouvrage, parmi les plus énergivores, dont des groupes scolaires. Notre offre englobe la conception et la réalisation de travaux de rénovation énergétique (enveloppe du bâtiment et systèmes), l'exploitation et la maintenance associées à un programme de sensibilisation des occupants et des élèves. Nous nous sommes engagés sur une réduction de 38 % des consommations d'énergie.

VINCI Facilities accompagne depuis plus de 6 ans un de ses clients, grand groupe d'électronique français spécialisé notamment dans la défense, dans sa performance énergétique au travers d'un Contrat de Performance Énergétique. Et une équipe projet travaille aujourd'hui avec ce client sur un futur contrat de performance bas carbone, permettant d'aller au-delà de notre engagement sur les consommations d'énergies.

### **Et pour conclure ?**

Les métiers de la transition énergétique sont porteurs et évolutifs. Ils jouent un rôle essentiel dans l'atteinte de la sobriété énergétique. Je considère que ma mission a un réel sens et je suis heureuse, à mon niveau, de pouvoir accompagner les clients dans leur transition environnementale et bas carbone.



## UNE EXPERTISE

# DANS L'ACCOMPAGNEMENT MANAGÉRIAL



Jérôme de Dinechin,  
ICA, coach certifié  
maître praticien EMCC

Un marché de l'emploi tendu rend le recrutement stratégique. Se pose également la question de la fidélisation des talents et de leur capacité à évoluer dans l'entreprise. Le coaching managérial répond à ces objectifs, notamment par l'accompagnement à la découverte de « ressources » qui permettront plus d'adaptabilité et de déploiement personnel aux différents stades de la carrière.



Disposer de leaders bien formés, connaissant la culture interne est un gage de bonne santé des organisations, voire de survie à moyen terme, et a contrario, Le coût du remplacement d'un cadre peut coûter des dizaines de milliers d'euros. Depuis quelques années, de nouvelles modalités d'accompagnement des cadres ont montré leur efficacité : fonctionnement en promotions, mentorat, université interne, bilans managériaux aux âges clés, coaching individuel...

Blue Work Partners renforce ces dispositifs par son expertise dans le coaching des talents et des hauts potentiels. Plusieurs types d'accompagnements ont été conçus pour répondre aux défis des moments clés de la carrière :

**Posture du jeune manager** : destiné aux jeunes diplômés, ce programme a pour objectif d'aider à s'affirmer et à trouver sa place face à des collaborateurs plus anciens et plus compétents. Il aborde par exemple l'animation de réunion, la prise de parole en public et l'assertivité. Il permet de dépasser le « syndrome de l'imposteur » et d'entrer dans une phase de construction d'une identité professionnelle.

**Mieux se connaître pour mieux performer** : en deuxième ou troisième poste, l'enjeu est de compléter un savoir-faire technique par des qualités managériales et relationnelles. On approfondira l'estime de soi comme socle du leadership : comment je fonctionne, ce que me disent mes émotions et vers quoi je me sens attiré.

**Réussir les projets** : en corollaire, l'expertise en projets, qu'ils soient techniques ou de transformation, est très recherchée. Un accompagnement opérationnel sur la base du « Guide de survie du chef de projet (Dunod) » permet de mieux vivre le stress, prendre des décisions plus sereinement, et favoriser l'engagement des équipes.

**Accompagnement managérial** : Blue Work Partners participe à plusieurs programmes comme « Etre et agir en dirigeant » organisé par le Campus des Dirigeants. Sous forme de rencontres régulières d'un CODIR ou d'une équipe projet, on expérimente des thématiques comme : comment transformer nos objectifs en succès, déléguer dans un esprit de subsidiarité, apprendre à intégrer dans son management des temps de bluework (pensée créative) en complément de l'omniprésent redwork (agir productif)...

**Leadership par la confiance** : vers la quarantaine, les talents confirmés ont souvent un enjeu, celui de changer de posture : il n'est plus suffisant de bien faire, il faut comprendre les enjeux systémiques, c'est-à-dire intégrer les intérêts des parties prenantes en vue d'un bien collectif. En séminaire, les futurs dirigeants explorent différents aspects du leadership : est-ce un « pouvoir sur » ou un « pouvoir pour » ? Comment construire une sécurité psychologique dans l'esprit du leadership bienveillant, comment faire émerger des leaders dans leurs équipes en montant « l'échelle du leadership » de l'intent based leadership. Suis-je un leader nommé, effectif, psychologique ou régulateur selon la Théorie organisationnelle de Berne ? En un mot, comment développer la confiance en soi, avec son employeur, et pour ses équipes.

Le coaching a pour but d'aider les personnes à trouver leurs propres réponses aux enjeux ou questions qui s'offrent à eux. Le coach, familier des dynamiques de parcours professionnels et des organisations complexes, aide à poser les bonnes questions aux étapes-clés et permet d'expérimenter de nouvelles ressources aussi bien en accompagnement individuel qu'en séminaire ou atelier. C'est aussi une réponse particulièrement adaptée à la génération post confinement dans son exigence d'humanité et de cohérence de vie.

[www.blueworkpartners.com](http://www.blueworkpartners.com)



# ASSOCIATION



# INTERVIEW DE PHILIPPE JOST

## NOUVEAU PRÉSIDENT DE L'ÉTABLISSEMENT PUBLIC REBÂTIR NOTRE-DAME DE PARIS

Propos recueillis par Jérôme de Dinechin, ICA



*A la suite du décès accidentel du Général Jean Louis Georgelin, notre camarade Philippe Jost, IGA, a été désigné par le président de la République comme son successeur pour achever les travaux de rénovation et assurer l'ouverture de la cathédrale Notre-Dame de Paris fin 2024. C'est une mission particulièrement visible et importante pour un ingénieur qui n'a jamais cherché à se mettre dans la lumière. Nous avons essayé d'en savoir plus.*

**La CAIA :** Cher Philippe, nous sommes très heureux que tu aies accepté de prendre du temps pour nous parler de ton job au service de la restauration de Notre-Dame. Pourrais-tu nous dire ce que cela représente pour toi ?

**Philippe Jost :** Je ne parlerais certes pas de job ! C'est une mission, qui consiste à réparer les dégâts de l'incendie, à rouvrir la cathédrale au culte catholique et à la visite. Cela a du sens, un sens qui me parle, j'y adhère pleinement.

Cette mission, je la vis au quotidien en réalisant des choses que j'aime faire, comme être en relation avec des intervenants nombreux et très divers, des entreprises, des architectes, des mécènes, des donateurs, des représentants du ministère de la culture, d'organismes de contrôle et des parlementaires. Ces intervenants ont des objectifs et des motivations qui leur sont propres, il s'agit d'avancer et de faire en sorte qu'ensemble, on trouve des solutions. Mon rôle est de comprendre ce qu'ils veulent et trouver les moyens de se rejoindre. Les objectifs ne sont pas opposés, ils sont juste différents et j'aime bien cela. La DGA, j'y reviendrai, m'a habitué à cela.

Enfin, j'ai l'impression que ce que j'ai à faire, je sais le faire. Je ne me sens pas décalé ni stressé, grâce notamment à mes expériences à la DGA.

**La CAIA :** Quel est ton rapport avec Notre Dame de Paris ? As-tu eu un coup de cœur pour une chose en particulier ?

**PJ :** Notre Dame est d'abord une très belle cathédrale, d'un superbe gothique des XII<sup>e</sup> et XIII<sup>e</sup> siècles mâtiné de Viollet-le-Duc. Moi qui suis parisien, c'est ma cathédrale, j'allais souvent y écouter les homélies du cardinal Lustiger le dimanche soir à 18h30. J'y étais entré quelques jours avant l'incendie.



Finesse d'une fresque du XIX<sup>e</sup> siècle redécouverte après nettoyage

Au cours du nettoyage intérieur, nous avons pu redécouvrir des éléments architecturaux ou des décors quasiment invisibles car noircis par le temps. J'aime particulièrement les chapiteaux de remploi présents dans les tribunes du chœur. Ils viennent probablement d'un édifice antérieur et présentent des motifs végétaux sculptés dans une très belle pierre. Nous avons aussi redécouvert les décors peints des chapelles du chœur datant du XIX<sup>e</sup> siècle. Celui de la chapelle Saint-Marcel présente une finesse de dessin et une grâce toutes particulières.





Reconstruction de la « forêt » en chênes sélectionnés dans toute la France

**La CAIA :** Durant tes études, tu as fait l'école du Louvre. C'est un peu surprenant pour un ingénieur. Pourquoi ?

**PJ :** J'ai toujours eu une prédilection pour l'architecture, le patrimoine et l'histoire. J'avais des connaissances venant de mes lectures, mais suivre l'école du Louvre en parallèle de l'Ensta, après l'X, a structuré mes connaissances et m'a donné une vision globale de l'histoire de l'art. J'ai découvert et me suis passionné pour l'histoire de la peinture, l'iconographie, l'évolution de l'architecture. Je n'ai jamais cherché à en faire mon métier, c'était par goût personnel ; c'est un bonheur pour moi de m'en servir aujourd'hui.

**La CAIA :** Comment t'es-tu retrouvé dans le projet de sauvegarde et de reconstruction de Notre-Dame ?

**PJ :** D'abord, je dois dire qu'après avoir été très épanoui à la DGA, je l'ai quittée en 2013 sans remords car je sentais que c'était pour moi le moment de passer à autre chose. J'ai enseigné les mathématiques quelques années dans un lycée des Yvelines. J'ai été très heureux de pouvoir aider des élèves un peu cabossés par notre système éducatif.

Le 15 avril 2019, quand j'ai appris que Notre Dame brûlait, je me suis précipité à Paris sur les quais de Seine et là, devant la cathédrale encore en flammes, sans sa flèche, j'ai été plongé dans une émotion personnelle et collective intense. Deux jours après, apprenant que le général Georgelin était désigné, je lui ai envoyé un SMS. Je le connaissais, on s'était apprécié dans la co-direction du programme 146 « Equipement des forces » lorsqu'il était CEMA et moi directeur des plans, des programmes et du budget de la DGA. Il m'a répondu aussitôt : « Venez, je suis tout seul, venez ». Je n'ai plus beaucoup quitté son bureau durant les mois qui ont suivi. Nous avons tout construit ensemble. Je savais que pour réussir, il fallait des manettes. Et pour moi, avec mon expérience de la DGA, les manettes, c'était disposer du budget et passer les contrats. Il fallait être maître d'ouvrage et donc créer un établissement public dédié.

Avec le plein soutien du président de la République, nous l'avons inclus dans le projet de loi Notre-Dame en juin 2019 et il a fonctionné en décembre, en quelques mois à peine.

**La CAIA :** en quoi ton expérience à la DGA a-t-elle été utile dans cette fonction nouvelle ?

**PJ :** La DGA m'a appris quatre choses particulièrement utiles.

**1/** D'abord, la fonction de maître d'ouvrage, le fameux triptyque « contenu - délai - coût », dont je rebattais les oreilles des directeurs de programmes lors des comités de devis. Comment être capable de s'engager sur des choses qu'on va faire ?

**2/** Ensuite, la gouvernance lorsque j'ai été entre 2001 et 2006 au Service des Affaires Industrielles en lien étroit avec l'APE, l'Agence des Participations de l'Etat. Dans une période très mouvementée, avec le changement de statut de DCN, la fusion de Sagem et Snecma en Safran et d'autres dossiers lourds, j'ai compris comment était gouvernée et dirigée une entreprise avec ses conseils et comités, son budget, son contrôle... Cela m'a été extraordinairement précieux pour créer l'établissement public en lien avec les différentes tutelles. Nous fonctionnons de la même manière. Et cette période m'a rendu familier des RIM (réunions interministérielles) présidées par Matignon. Le lendemain de mon arrivée auprès du général Georgelin, j'ai participé à une RIM pour examiner l'esquisse du projet de loi Notre-Dame.



Une broussaille d'échafaudages pour consolider et restaurer



Une architecture et des vitraux bientôt ré-ouverts au public et au culte

Je me suis senti comme un skieur qui rechausse ses skis après quelques années de pause. Cela revient finalement assez vite !

**3/** La programmation était au cœur de ma fonction de directeur des plans, programmes et budget de 2006 à 2011. L'établissement public « Rebâtir Notre-Dame de Paris » reçoit les dons de la souscription nationale instituée en 2019, soit environ 850 millions d'euros. Nous avons établi le budget de restauration de la cathédrale, soit sept cents millions d'euros, 150 de mise en sécurité du monument de 2019 à 2021 et 550 de restauration proprement dite. Comparé à un programme d'armement, ce sont des sommes moyennes, mais pour une restauration de monument historique, c'est un très gros budget. J'étais familier de ce type de chiffres et j'ai pu mettre en place les moyens de maîtriser une opération de cette envergure.

**4/** La direction générale d'une entité, en toute confiance avec le numéro un, que j'avais vécue en tant qu'adjoint du Délégué général pour l'armement Laurent Collet-Billon entre 2011 et 2013. J'ai pleinement vécu cela à nouveau aux côtés du général Georgelin.

Je suis très reconnaissant à la DGA de m'avoir permis de vivre ces missions passionnantes qui, de manière la plus inattendue, se sont trouvées utiles et mobilisées dans le projet Notre-Dame.

**La CAIA :** Tu as été le plus proche collaborateur de Jean-Louis Georgelin durant quatre ans. Que voudrais-tu en partager ?

**PJ :** J'en ai dit quelques mots lors de la messe de funérailles aux Invalides. C'était une personnalité hors du commun, une figure d'autorité qui dérangeait, voire « terrorisait » certains. Lorsque j'ai travaillé avec lui à la

DGA, j'ai compris que c'était une posture pour secouer ses interlocuteurs et les amener à montrer ce qu'ils valaient. Lui-même savait où il voulait aller, c'était un grand serviteur de l'État, visionnaire, d'une honnêteté parfaite, fondamentalement bon. C'est sans doute pour cela que l'on s'est revus ensuite. Dans le projet Notre-Dame, il incarnait l'autorité et a rendu crédibles la mission et l'objectif dont beaucoup doutaient au départ. Nous avons échangé en toute confiance et loyauté sur tous les sujets. Il était pleinement impliqué et avait des relations directes avec qui il voulait au plus haut niveau de l'Etat. C'était vital car, dans notre mission, nous avons des alliés mais également, au début, des personnes hostiles ou des sceptiques.

**La CAIA :** Que souhaiterais-tu partager à nos camarades ?

**PJ :** Je voudrais dire deux choses. La DGA est une entité dans l'État qui offre des postes exceptionnels et très variés à ses cadres et elle fonctionne vraiment bien. Il convient d'en être fier et de contribuer à ce qu'elle conforte ses qualités.

En tant qu'individu, il ne faut cependant pas en être captif. La DGA n'est pas seule au monde. Soyez ouverts, intéressez-vous à ce qui existe ailleurs, sans œillères, et si c'est le moment, n'hésitez pas à la quitter.

Beaucoup ont trouvé incompréhensible que je quitte la DGA pour aller « nulle part ». Pour moi, ce qui a toujours été premier, c'est le sens et, pour moi, le sens, je le trouve dans le service de l'État, de la DGA à Notre-Dame en passant par l'enseignement. Et puis il faut aimer ce qu'on fait, et changer s'il le faut. On n'a qu'une vie ! ☺

# NOUVEAUX STATUTS DE LA CAIA

## VERS DAVANTAGE D'OUVERTURE

Par Hervé Moraillon, IGA

**Pourquoi donner un coup de jeune aux statuts de la CAIA et à son règlement intérieur ?  
Quels bénéfices concrets attendre ?**

### La CAIA vise notamment à :

- resserrer les liens de camaraderie et de solidarité entre les membres et anciens membres du corps des Ingénieurs de l'Armement;
- renforcer les liens entre ses membres et les membres d'associations ayant un champ d'action voisin du sien (...) afin de renforcer l'efficacité de la contribution de ses membres au profit des services de l'État ;
- participer pleinement à la cohésion du Corps de l'Armement et au renom des Ingénieurs de l'Armement (...) afin de permettre une meilleure exploitation de leurs compétences au service de l'État et dans l'intérêt de la nation ;
- proposer à l'ensemble de ses membres (...) un ensemble d'activités permettant d'améliorer la compréhension mutuelle du fonctionnement des secteurs public et privé de notre nation (...).
- contribuer au renforcement de la connaissance et de la réflexion sur les problématiques de défense, d'armement et de sécurité au profit de ses membres et (...) de la société civile en France (...)



**Bienvenue à la CAIA !**

### Des statuts révisés pour une plus grande ouverture à tous et pour accompagner une plus grande diversité d'activités

L'Assemblée Générale Extraordinaire (AGE) du 13 juin 2023 a adopté la mise à jour proposée de nos statuts actuels et de notre règlement intérieur, en vigueur depuis 2014. Outre de simples mises à jour et une mise en forme pour se rapprocher des statuts type d'association validés par le Conseil d'État, ces nouveaux statuts détaillent davantage l'objet de notre association, ses missions et ses moyens d'actions afin de mieux montrer l'apport de la CAIA à la société civile et au service de l'État, facilitant ainsi une éventuelle reconnaissance d'intérêt général pour notre association.

### Un objectif de faciliter le mécénat d'entreprises au profit de plus d'activités de la CAIA

Un dossier est en cours de préparation et sera soumis aux autorités concernées en vue d'obtenir cette reconnaissance. Si notre association l'obtient comme nous l'espérons, elle pourra émettre des reçus fiscaux au bénéfice de ses donateurs, permettant d'amplifier les actions menées par la CAIA en compensant les coûts supplémentaires.

Enfin, un projet complémentaire d'ouverture de notre association à des membres associés, intéressés par les objectifs et les activités de notre association, a été

présenté et débattu lors de cette AGE. Il a ensuite été adopté le 13 juin 2023 lors d'une nouvelle AGE à la quasi-unanimité des votants.

### Vous qui êtes passionné du monde de l'armement et n'êtes pas ingénieur de l'armement, n'hésitez pas à candidater comme membre associé

Enfin, nos nouveaux statuts permettent une plus grande ouverture de notre association à des membres associés, représentatifs du secteur de la défense et intéressés par les objectifs et les activités de notre association. A la suite de cette révision, le membre associé est un membre qui peut participer à l'ensemble des activités (ouvertes selon son âge, certaines activités étant dédiées aux plus jeunes) et qui dispose de l'ensemble des droits de membre de l'association, y compris de droit de vote. Son admission est soumise à un parrainage par au moins un membre actif de l'association et sa candidature doit être agréée par le Conseil d'Administration de l'Association, sur proposition de son Bureau. De cette façon, notre association pourra notamment accueillir des personnalités extérieures intéressées par les problématiques de défense, d'armement et de sécurité, renforçant ainsi l'ouverture et la qualité de notre association.

Ces statuts mis à jour, complétés par la mise à jour du règlement intérieur, permettent de donner des moyens additionnels fort utiles pour les nouvelles activités. ☺



# MENTORING ENTRE IA

## UNE ACTIVITÉ INÉDITE

Par **Amandine Reix**, ICA, Responsable « milieu de carrière » pour la CAIA

**C'est une première ! Un programme pilote de mentoring porté par la CAIA. Une initiative lancée sous l'impulsion d'Olivier Martin, président de la CAIA, et basée sur les résultats du sondage rempli par les adhérents.**

Ce programme, qui s'effectue en coordination avec le CGArm, s'inscrit dans une action d'ensemble pour les ingénieurs de l'armement en milieu de carrière, et, plus largement, dans l'action de la CAIA dans le renforcement de la compréhension mutuelle État-industrie.

Au départ, nous pensions former une dizaine de binômes, et ce seront finalement 18 binômes qui, regroupés par affinités, vont vivre durant 6 mois cette première expérience de mentoring.

Il faut dire que le choix a été rude : Nous avons reçu d'excellents profils de mentors et mentorés

Cette première étape, nous la préparons depuis plusieurs mois avec Alix Senney (Sealcoaching), coach certifiée que la CAIA a mandatée pour l'événement, et Jérôme De Dinechin, coach certifié et accrédité EMCC qui partage avec nous son expérience du mentoring. Nous avons été témoins qu'une expérience réussie de mentoring peut donner un nouvel élan à sa vie professionnelle, voire la transformer profondément. C'est une expérience humaine particulièrement enrichissante pour les mentorés, tout autant que pour les mentors

Maintenant, à vous, mentors et mentorés de faire vivre cette relation. Si vous êtes hésitants, voici une petite Foire aux Questions, sur la base des échanges tenus lors de la réunion de lancement du 11 septembre dernier :

### A quoi je m'engage ?

Il n'y a pas d'obligation de résultat, pour le mentor comme le mentoré. Nous avons veillé à ce qu'il y ait une vraie demande de la part du mentoré et une vraie envie d'écoute de la part du mentor. L'important est de pouvoir accorder le temps nécessaire pour que la relation se fasse, autour d'un rendez-vous par mois, autour d'une heure à deux heures.

### Qu'est-ce qu'il faut faire ?

Pour le mentoré, accepter de poser sa problématique, par écrit si possible. Poser des objectifs dits « SMART » : Spécifique, Mesurable, Atteignable, Réaliste, posé dans le Temps. Pour le mentor, déployer sa capacité d'écoute. Vous êtes là pour écouter et partager vos expériences avec sincérité et authenticité, tout en laissant évidemment le mentoré s'exprimer et réagir.



Jérôme de Dinechin, Amandine Reix et Alix Sennyey présentent le cadre du programme de mentoring

### Est-ce qu'il y a quelqu'un pour m'accompagner ?

Alix est responsable de la supervision du programme. 3 séances de formation / supervision sont proposées aux mentors, en visioconférence. Jérôme, coach également, peut également apporter ses compétences en cas de question.

### Ça dure combien de temps ?

Compter 1 à 2 heures par mois sur 6 mois. Ce qui prend du temps, ce sont les questions que vous allez vous poser entre deux rendez-vous et l'investissement que vous allez y mettre pour y répondre. Le mentoring est une expérience qui transforme mentor et mentoré.

### Le mentoring, ça va m'aider à réseauter ?

Ce n'est pas fait pour ça, c'est surtout une relation de confiance qui s'établit. Rien n'interdit de réseauter ensuite, mais ce n'est pas le but du mentor de vous ouvrir à son réseau, en tout cas durant cette phase de mentoring.

### Je suis trop jeune, trop vieux, trop atypique...

Nous avons axé ce parcours pour les IA en milieu de carrière. Finalement, les candidatures balayent tous les âges et tous les profils. Nous avons évité les relations hiérarchiques entre mentors et mentorés et essayé de faire des binômes qui ne se connaissent pas.

### Et après ?

En ce qui concerne la relation mentor-mentoré, elle s'arrêtera à l'issue de ces quelques mois. Charge à chacun de voir la suite à donner à cette aventure. Certaines relations mentor/mentoré peuvent durer toute une vie. Pour l'expérience CAIA, nous ferons un bilan que nous partagerons avec vous lors de la soirée de clôture le 29 février 2024. Une belle manière parmi d'autres de vivre l'entraide entre ingénieurs de l'armement. ☺

# ACCUEIL DE 26 NOUVEAUX IA

Par **Benoît Chandesris**, responsable « jeunes IA » pour la CAIA

« Travailler au service de l'État », « intégrer un grand corps tout en continuant à faire de la technique », « avoir une carrière diversifiée » : telles sont quelques-unes des motivations partagées par les nouveaux IA que nous avons eu la joie d'accueillir au sein du corps de l'armement.

Cette arrivée de nouveaux membres est toujours une occasion de se réjouir ; cette année, nous avons pu le faire à l'Ecole Militaire le 31 août dernier autour d'un cocktail. Les 26 X qui rejoignent tout juste le corps commencent ainsi leur « 4A » en France ou à l'étranger. Cette promotion s'enrichira des IA admis sur titres et issus du concours interne – accueillis aussi par la CAIA lors d'autres événements dédiés.

On notera que le corps continue à attirer, avec un rang de sortie de l'X compris entre 10<sup>e</sup> et 226<sup>e</sup> et pas moins de 11 IA dans les 100 premiers – une belle preuve de la vitalité du corps et de celles et ceux qui œuvrent au recrutement ! Nos jeunes camarades partent ainsi pour des horizons variés, à l'ENSTA Paris ou l'ISAE-Supaéro, mais également aux Mines de Paris, à l'ENS, ou encore à l'étranger à l'EPFL ou Berlin... La plupart prendront

leur premier poste à l'été 2025 ; une dizaine devrait faire une thèse à l'issue de la 4A.

La CAIA leur a donc souhaité la bienvenue, avec un mot d'Olivier Martin, de même que Thierry Carlier au nom de la DGA. C'était également l'occasion d'initier des échanges avec des jeunes IA (moins de 35 ans) d'horizons divers (différents parcours DGA, mais aussi Agence des Participations de l'État, Direction Générale des Entreprises, affectation temporaire dans l'industrie...). La présence de « grands témoins », aux carrières riches, a également été très appréciée.

Bon vent à cette nouvelle promotion : Victoria de Rul, Mathis Azéma, Antoine Bak, Tristan Cheny, Thomas Crasson, Sixte de Boisset, Allan Delautre, Tristan Desplanches, Pierre-Marie Esmenjaud, Merlin Fruchon, Baptiste Gonon-Mathieu, Florent Goulette, Maximilien Hebey, Jérôme Hui, Antoine Lacan, Jules Lecoustre, Lucas Maisonnette, Majdi Medjahed, Alexandre Muller, Pierre-Yves Parent, Baptiste Prieur, Gatien Schneider, Paul Schouppé, Basile Terver Jean-Samuel Tettekpoe, Paul Zeinaty. Nous leur souhaitons le meilleur au sein du corps ! 🍷



En route vers l'aventure pour les X20

# LE GROUPE RÉGIONAL NOUVELLE-AQUITAINE DE LA CAIA EST SUR LES RAILS !

Par Pierre Cambournac et Philippe Loué

Le conseil de la CAIA (Olivier Martin, Président, et Etienne Galan, responsable de cette initiative), a présenté fin mars 2023 à une petite dizaine d'IA Nouveaux Aquitains intéressés l'initiative générale des groupes régionaux. **Cette initiative vise à susciter la création de groupes régionaux dans les régions connaissant la présence d'un nombre suffisant d'IA.** Ce groupe serait piloté et animé par un noyau d'IA en charge du montage d'activités de type visites, rencontres-débats ... et principalement destinées aux IA de la région. De tels groupes se lancent en parallèle en Ouest Bretagne et Provence Alpes Côte d'Azur et d'autres régions suivront.

Cette première présentation fut suivie d'un dîner de lancement mi-juin pendant lequel nous avons pu nous rencontrer et définir les grandes lignes de notre groupe.

Ainsi, sur la centaine d'ingénieurs de l'armement habitant dans la vaste région qu'est la Nouvelle-Aquitaine, nous sommes une bonne dizaine d'IA intéressés pour faire vivre ce groupe régional dont **l'animation sera as-**



**surée par le binôme constitué par Philippe Loué et Pierre Cambournac.** Lors de notre dîner de travail avec Thierry Leblond (co-président de X-Bordelais depuis presque 20 ans) et Jacques Cardin, nous avons choisi d'orienter dans un premier temps les actions du groupe vers des visites d'entreprises de la défense et de centres de la DGA suivant un rythme de 1 à 2 événements par an.

**L'appel à idées lancé à la suite de ce dîner nous a permis de recenser quelques destinations,** principalement dans la région de Bordeaux où les activités de défense ne manquent pas. Entre autres, le campus Thales à Mérignac, les activités d'ArianeGroup autour du M51, le campus cyber de Nouvelle-Aquitaine, la chaîne d'assemblage Rafale de Dassault Aviation...

Nous visons un premier événement fin 2023 – début 2024 afin de découvrir les richesses de notre région dans le domaine de l'armement. **N'hésitez pas à prendre contact avec nous ([contact@caia.net](mailto:contact@caia.net)) si vous souhaitez participer à cette initiative.** 📧



Clin d'oeil : L'Aquitaine, première frégate anti-sous-marine de la classe Aquitaine, issue du programme FREMM franco-italien, ici pavoisée peu après son admission au service actif en 2015



# OÙ SONT LES FEMMES ?

## GROUPE DES FEMMES INGENIEURES DE L'ARMEMENT

Par **Amandine Reix**, ICA, Co-responsable et membre du groupe femmes IA, aux côtés d'Isaure de Broglie et Monique Legrand-Larroche

*Sous l'impulsion l'Olivier Martin, président de la CAIA, un déjeuner a été organisé, permettant les échanges entre femmes ingénieures de l'armement.*



36 femmes ingénieures de l'armement au premier déjeuner du groupe femmes IA

### Attractivité du corps IA pour les femmes

Nous le constatons tous : les promotions d'ingénieurs de l'armement ne comptent pas beaucoup de femmes. Il est vrai que les cursus d'ingénieurs n'y sont pas favorables, mais même, il semble que le corps de l'armement ne soit pas si attractif pour les femmes. Par exemple, la dernière promotion ne comporte qu'une femme...

Nous pensons que nos métiers sont méconnus et souffrent d'une image peu attractive pour les femmes, peut-être trop technique, alors que l'éventail des métiers possibles est bien plus large. Il serait bien dommage de se priver de 50% des compétences, en particulier à un moment où les lois incitent à des quotas de femmes dans les postes de direction.

**Nous n'allons pas révolutionner le monde des études d'ingénieurs, mais à notre niveau, nous pouvons changer l'image qu'on peut se faire de la femme ingénieure.**

Lors du repas, plusieurs pistes ont été identifiées, dont un lien fort avec Polytechnique pour améliorer le recrutement.

### Amélioration de la vie professionnelle

Des pistes ont également été trouvées pour améliorer la vie professionnelle des femmes ingénieures de l'armement avec différentes propositions : un atelier pour apprendre à porter sa voix en réunion, des astuces pour la gestion du temps articulée entre vie professionnelle et vie personnelle, notamment sur comment intégrer le sport au quotidien, des conseils sur le travail dans un univers masculin, avec des ateliers sur les biais sexistes, des conseils sur le management d'une équipe mixte (a priori

des choses sont déjà en place dans la formation cadres confirmés), sur comment changer les cultures dans l'équilibre vie pro/vie personnelle et l'idée d'organiser des réunions ou déjeuners en présence de managers hommes (en proportion 2/3 - 1/3 éventuellement) pour leur partager ces problématiques. Sur la carrière plus précisément, il a été évoqué de pouvoir s'entraider pour les parcours professionnels ou les concours, voire éventuellement du coaching ou une formation spécifique pour les femmes, comme cela existe dans le privé.

### Maternité et gestion des enfants

Il nous a semblé qu'il y avait beaucoup de questions sur la maternité, aussi nous avons prévu dès cet automne un déjeuner autour de témoignages de femmes inspirantes pour évoquer les thématiques qui nous sont propres : des déplacements fréquents, des missions, et donc les moyens pour les parents de s'organiser : gardes d'enfants, organisation familiale ou aménagements d'horaires, quand c'est possible.

### Un réseau au long cours

Ce réseau tout juste constitué est amené à perdurer : nous allons proposer un groupe Signal à celles qui en ont envie, des déjeuners réguliers et des témoignages. En septembre dernier, la Direction Générale de l'Armement a constitué un groupe de femmes pour la course de la Parisienne cette année : un acte fort !

Ce n'est que le début pour le groupe des femmes ingénieures de l'armement, mené par Isaure de Broglie, Monique Legrand-Larroche et Amandine Reix, soutenu par Mireille Carlier, Nassima Auvray et Morgane Riou. ☺

# DÎNER-DÉBAT CAIA DU 3 MAI AVEC NICOLAS CHAMUSSY

## « NEXTER À L'HEURE DE L'ÉCONOMIE DE GUERRE ET DE LA HAUTE INTENSITÉ »

Par Jacques Doumic, ICA, Capgemini, Membre du Conseil de la CAIA

**Ce troisième diner-débat de la CAIA a permis de recevoir un grand industriel de la défense français et européen. Comme toujours, la grande liberté de ton implique que la teneur détaillée des échanges reste en confidentialité entre les participants au dîner.**



Le parcours de N. Chamussy l'a conduit des laboratoires de l'US Air Force au Nouveau Mexique jusqu'à la tête d'Astrium en passant par les directions de programmes en coopération et le cabinet de Charles Millon. Il a passé en tout neuf ans en Allemagne.

### Économie de guerre

La notion d'économie de guerre a fait irruption dès l'attaque russe, sous la forme d'une question assez incongrue : « Qu'a Nexter en magasin à livrer sous quinze jours ? » Or Nexter produit et livre conformément à un contrat notifié par un client, et ne stocke pas des produits finis à emporter. La question devient alors rapidement un vrai défi : « Comment produire plus, plus vite et dans un contexte d'autonomie stratégique ? »

L'histoire apporte un premier éclairage. La forêt du Tronçais a été plantée par Colbert pour fournir des chênes pour les futures coques des navires, au lieu d'acheter des grumes à Riga. De même, pour la mâturation, une source d'approvisionnement est identifiée au fin fond de la vallée d'Aspe. Le *Chemin des mâtures*, cavité à flanc de falaise que l'on peut encore parcourir aujourd'hui, est créé pour acheminer les troncs avant de les embarquer pour Rochefort. Déjà, l'économie de guerre reposait sur les trois volets « produire plus, plus vite et en autonomie stratégique ».

Dans un contexte de guerre en Ukraine, l'actualité se traduit par une pression politique forte, avec le cas emblématique du Caesar. Sans commande publique française de matériel neuf entre 2004 et 2022, sa production perdurait grâce à l'export, au rythme de production de 2 par mois en moyenne et un cycle de 24 à 30 mois. L'objectif est maintenant de 4 à 6 par mois, avec un cycle de 12 mois. Nexter a optimisé ses process et devrait atteindre un cycle de 17 mois et une cadence de 6 par mois fin 2023, puis 8 par mois en 2024. La coopération avec les partenaires industriels de la supply chain a été encore renforcée, notamment avec Aubert et Duval, qui fournit les ébauches métalliques.

Beau défi, avec un effet pervers (gérable) puisque l'accélération de production crée des trous dans le plan de production. En parallèle, Nexter poursuit la montée en cadence de production des Jaguar, Griffon et Serval pour atteindre un volume de 450 véhicules neufs livrés par an, en partant de zéro en 2017.

De même, dans le domaine des munitions de gros calibre, la consommation ukrainienne estimée est de 6 000 à 7 000 obus de 155 mm par jour, et la consommation russe de l'ordre de 15 000. Nexter pouvait produire 40 000 obus de 155 mm par an en France, et 20 000 en Italie. Il est aujourd'hui prévu de livrer 90 000 obus par an début 2024, avant de quadrupler plus tard la cadence si nécessaire.

Pour cela, il a fallu investir quelques centaines de M€ avec une pression politique parfaitement compréhensible et légitime, sans commande initiale, tout en pilotant les indicateurs économiques de l'entreprise. Le contexte d'économie de guerre ne doit pas faire oublier que nous sommes en même temps en guerre économique.

Il faut enfin noter que la LPM (alors en cours d'examen) prévoit non seulement un droit de réquisition, qui peut avoir un impact éventuel sur la confiance des clients export dont les livraisons seraient retardées, mais aussi une contrainte de constitution de stocks sans compensation financière.



La guerre en Ukraine a aussi donné naissance à un grand nombre de mécanismes contractuels et budgétaires. Les AMX10 RC, blindés de l'armée de Terre, ont été sortis des parcs d'entraînement ou régimentaires, donc sans contrat avec Nexter. En France, ces AMX10 RC seront remplacés par des Jaguar. S'agissant des Caesar, l'Ukraine reçoit des canons de l'armée française remis à niveau, remplacés le plus rapidement possible par Nexter.

Les mécanismes européens ont permis aussi des commandes au profit de l'Ukraine, avec 40% de remboursement par l'UE. Nexter a ainsi fourni des offres commerciales directes à l'Ukraine, ou via d'autres pays.

Enfin dans le domaine du MCO, un flux de soutien a été mis en place avec l'Ukraine. KNDS a tenté de mettre en place des hubs de réparation en Pologne et en Croatie, ce qui n'est pas si facile car à chaque fois, c'est de l'import-export de matériel de guerre.

### Autour de KNDS et du MGCS

Nexter et KMW sont depuis 2015 filiales à 100% de KNDS, chacune disposant de son portefeuille de produits et d'une organisation industrielle complète. Au sein de KNDS, N. Chamussy est DG France, et a également un rôle transverse sur les sujets Procurement / Qualité / Production et un programme actif d'intégration progressive est mis en oeuvre. Les structures des véhicules Nexter sont en aluminium, alors que celles des véhicules de KMW sont en acier, etc. On teste la production d'un élément d'une entité par l'autre entité, mais cela prend du temps (CIEEMG...).

Le programme MGCS (Main Ground Combat System) devrait être le premier programme majeur d'armement terrestre en coopération franco-allemande.

Le MGCS part d'un contexte assez simple : la version Mk 2 du char Leclerc, qui sera une vraie nouvelle version, est en cours de développement, et vivra quelques décennies. Le Léopard 2 qui, à l'instar du Rafale, a connu un développement incrémental, est un grand succès à l'export et continue à être produit. Il en résulte une différence structurelle entre la France et l'Allemagne : quel que soit l'avenir du MGCS, l'Allemagne aura une solution intérimaire ou pérenne à base de Léopard II. Par ailleurs, la France insiste sur le combat collaboratif, et l'emploi en termes de système.

Le MGCS, sous leadership allemand, a été pensé comme le pendant du SCAF, sous leadership français. Le principe est le même : 50/50 en qualité et quantité des travaux dans chaque pays. Mais la participation de Rheinmetall a beaucoup perturbé et retardé le lancement de ce programme, conçu sous maîtrise d'oeuvre de KNDS. On en est donc encore aux études d'architecture de niveau système. Nous nous dirigeons vers un démonstrateur, mais la suite n'est pas écrite. Pour la France, qui a besoin d'un système, on évoque une solution intérimaire EMBT, soit française, soit franco-allemande (châssis français et tourelle française). « Pour que cela fonctionne, nous avons besoin d'une bonne fée. »

### Réponses aux questions

Interrogé sur l'avenir des grands corps de l'État, N. Chamussy insiste sur la fluidité nécessaire entre l'industrie et l'appareil étatique : « Il est très important que chacun connaisse les deux côtés de la barrière pour fluidifier les relations État-industrie. Par ailleurs, il faut renforcer la maîtrise technique des ingénieurs de l'armement et que la DGA continue à attirer les meilleurs. »

Les réglementations de type Reach ou d'interdiction des moteurs thermiques s'appliquent (y compris pour le chromage des tubes) mais il y a et il y aura des exemptions pour le matériel militaire, mais qui freineront la synergie avec le marché civil.

La compétitivité se heurte au nombre d'industriels et aux règles en vigueur de retour géographique. A contrario, l'usine Space X qu'il a visitée semble simple : des rouleaux de tôle qui y entrent, et des lanceurs en sortent. En Europe, de nombreux industriels interviennent dans le développement et la production des lanceurs. C'est une politique compréhensible mais elle n'est certainement pas compatible d'un objectif de compétitivité économique, notamment face à une entreprise comme Space X qui peut optimiser en permanence son organisation industrielle.

En conclusion, une très bonne participation avec une variété de générations d'IA présents et des échanges très intéressants qui ont permis à l'assistance de mieux connaître la situation d'un secteur industriel de l'armement que le récent conflit ukrainien a remis sous les feux de l'actualité. ☺





# SOUVENIRS D'ALLEMAGNE : LE COBRA

Par Alain Filipowicz, ICA et colonel de réserve à l'État-Major

**La fin de développement du radar de contrebatterie de l'artillerie, développé en coopération avec l'Allemagne et le Royaume-Uni : une aventure inoubliable.**



Le radar COBRA donne les coordonnées d'origine et d'arrivée des obus et roquettes trajectographiés

En 1994, la Direction des Armements Terrestres de la DGA me proposa de devenir co-directeur français du bureau trilatéral de programme COBRA à Coblenz (Trilaterales Programbüro COBRA – TPC), au confluent du Rhin et de la Moselle. A cette époque – l'OCCAR ne sera créée qu'en 1998 – il était de coutume dans les programmes internationaux avec un faible nombre de nations partenaires de partager la direction de l'organe conjoint entre les différents pays.

## **Le TPC, un bureau de programme très attachant**

Le bureau était situé dans l'aile nord du Kurfürstenschloß de Coblenz, au même étage que le bureau de programme franco-allemand du TIGRE. Le personnel « technique » de chaque nation comptait six membres et l'Allemagne nous fournissait en plus le personnel pour les secrétariats, la logistique et l'informatique. Les décisions étaient prises en consensus entre les trois co-directeurs. Notre interface industrielle, notre ligne de front, était le consortium Euro-Art, basé à Munich et composé à l'époque de Thomson CSF Airsys, de Siemens, de Martin Marietta et de General Electric, cette dernière société américaine étant à l'origine de la technologie des composants MMIC de l'antenne du COBRA. Le COBRA était né dans les années 80, du besoin de la France de disposer d'une capacité de trajectographie et de contre-batterie pour l'artillerie sol-sol. Au titre

du développement du radar, chaque nation avait son prototype dont les seuls vrais caractères différents étaient le camion porteur, le système radio et la langue d'utilisation. Les prototypes 1 et 2 avaient une antenne fabriquée aux USA et l'antenne 3 du prototype français était manufacturée en Europe.

La langue de travail du TPC était l'anglais et les six français que nous étions étions tous trilingues. Il nous arrivait parfois de travailler en allemand avec nos amis d'Outre-Rhin quand nos camarades anglais n'étaient pas là.

## **Le COBRA, un radar merveilleux mais pas facile à mettre au point, avec des risques importants et une erreur d'inattention**

Nous avons constaté que le radar avait le bug de l'an 2000 tous les jours (le sujet était à la mode en ce temps-là) si on programmait une mission démarrant avant minuit et se terminant le jour suivant. Euro-Art voulut nous faire payer un avenant pour résoudre ce problème. Non seulement la fonctionnalité devait marcher au titre des spécifications et était donc due, mais l'argument comme quoi cela allait être difficile à résoudre en termes de lignes de code ne tenait pas car le système utilisait un ordinateur de PC qui, comme chacun le sait, a une horloge linéaire fonctionnant avec une date initiale au 1<sup>er</sup> janvier 1904.

Le problème le plus dur pour moi se passa à l'été 1997. L'antenne prototype n°3, produite en Europe, était achevée et en test pour intégration. Elle commençait à s'autodétruire dès qu'on la mettait sous tension. Dû à une oscillation hors bande opérationnelle du radar, il y avait un retour d'énergie de la voie d'émission vers la voie de réception des composants MMIC. General Electric, devenu Lockheed Martin entre temps, n'avait rien dit sur les spécifications hors-bande et prétendit que ce n'était pas de sa faute. Par chance, nous avons lancé dès 1995 un important programme de réduction des coûts de production de l'antenne qui visait notamment à réduire de 7 à 3 les chips des MMIC. Nous en profitâmes pour revoir les spécifications et blinder la circulation des signaux.

### MLRS, le retour

Conçu à l'époque de la guerre froide et devenu dans les années 90 un outil magnifique de maintien de la paix, le COBRA donne les coordonnées d'origine et d'arrivée des obus et roquettes trajectographiés. S'agissant des roquettes d'entraînement M28 du MLRS, explosant à 1000 mètres au-dessus de l'objectif pour libérer des barreaux métalliques à la place des grenades, et qui étaient utilisées pour les essais de qualification, nous ne pouvions disposer de coordonnées d'impact alors que le COBRA fournissait des coordonnées d'arrivée d'une roquette monolithique qui n'aurait pas explosé. Ayant en ma possession le logiciel de tir des M26 en version macintosh (Cf. Article « souvenirs du Levant » de la revue n°129), je créai alors pour nos équipes un logiciel d'interface sous Hypercard, où les artilleurs du TPC n'auraient qu'à entrer les coordonnées du lanceur, le message météo et le point d'explosion des roquettes observé par télémètre laser par les observateurs des tirs. L'interface Hypercard effectuait alors plusieurs calculs de manière itérative de façon à faire passer une trajectoire monolithique par le point observé. Nous avons naturellement ainsi les coordonnées d'impact au sol. Euro-Art fut assez surpris...

### Sur le sentier des douaniers

La France n'avait pas de TVA à payer sur les programmes en coopération ne se passant pas sur son sol. Outre le fait que l'argent français du programme était en banque allemande et en quatre devises, quelqu'un s'avisait un jour de vouloir faire payer une TVA sur le prototype français quand il viendrait à passer la frontière. Ce prototype étant partie intégrante du développement je réussis à le faire maintenir hors taxes avec les douanes, ce qui évita au Ministère de la Défense de payer cette TVA.

Le prototype fut immatriculé en plaque rouge et affecté au 74<sup>e</sup> RA.

### La négociation de la production du COBRA

Si l'année 1997-1998 fut aussi beaucoup consacrée à la mise au point et à la négociation du futur contrat de production, elle mit en évidence une erreur commise vers 1992 ou 1993 : la longueur du bloc shelter du radar était de 19 et non de 20 pieds qui est la taille normale d'un shelter en logistique. Les véhicules porteurs du prototype du radar étaient donc spécifiques, accueillant non seulement le bloc d'alimentation diesel (PPU, Prime Power Unit) mais aussi ce shelter à 19 pieds. En cas de nécessité de chargement du radar sur un camion logistique standard, seuls deux coins ISO seraient donc utilisables, l'arrimage de l'autre extrémité du shelter devant être faite par des chaînes. Si cette dimension ne posait pas de problème pour le développement, elle n'aurait jamais dû être entérinée pour la future production et le coût pour revenir en arrière était trop important.

Nous devions avoir une réunion finale de négociation à la fin du printemps 1998. Elle devait être présidée par le côté allemand. Quelques temps auparavant, le codirecteur allemand m'informa que le Colonel Rohr, chef de délégation allemande, souhaitait me parler dans son bureau à Bonn et seul. Nous discutâmes donc tous les deux plus de trois heures en allemand, où je lui décrivis les différents points sensibles du programme et de la future négociation. Il sortit de la réunion très motivé et me demanda de l'assister personnellement pendant la négociation. Elle se passa à Berlin, à la Julius-Leber-Kaserne, l'ancien quartier Napoléon que j'avais connu dans ma jeunesse, quand je fus quelques temps berlinois à l'époque de la guerre froide. ☺



### Une œuvre de tradition militaire

Sous l'impulsion du LCL Didier Debray, qui était notre artilleur français du bureau, j'organisai un concours en vue de créer un insigne militaire de tradition à porter en pucelle en poitrine sur nos uniformes, quelle que ce soit notre nationalité.

Le lauréat fut l'insigne suivant dont la description héraldique française est : ***Cobra de bronze lunetté et dressé sur ses anneaux, à langue de gueule, écrasant une paire de canons du même, le tout brochant un écu allemand d'azur portant trois étoiles d'or en chef et le logo « TPC » en pointe.*** L'insigne fut tiré à 1000 exemplaires.

J'ai quitté le TPC à l'été 1998 pour mon affectation suivante à Toulouse. J'eus l'occasion de revenir à Coblenz en juin 2000 pour fêter le début de la production. Nous fîmes tous ensemble une magnifique croisière sur le Rhin jusqu'au rocher de la Lorelei.

# UNE JOURNÉE PARTICULIÈRE

## PREMIÈRE TOURNÉE DU RAFALE MARINE

Par **Bernard Besson**, IGA, directeur du programme Rafale de 1991 à 1996

**Parmi les nombreuses actions lancées par la CAIA au courant de l'année scolaire 2022 – 2023, figure en bonne place la création d'une commission Histoire. Cette commission a commencé ses travaux le 26 juin et est déjà en mesure de présenter pour le magazine des IA d'octobre 2023 une première publication rédigée par l'IGA Besson sur les essais de validation de l'embarquement sur porte-avions du Rafale en 1993. – Daniel Jouan, animateur de la commission Histoire de la CAIA.**



Rafale sur le Foch 1993, journée VIP de la première campagne à la mer (de g à d) Olivier Dassault, CV Habert (Cdt du Foch), le ministre François Léotard, Yves Kerhervé (1er pilote à apponter un Rafale), masqué Al Coatanea (CEMM), Serge Dassault, Jacques Boyon (Pdt commission défense de l'AN), Yves Sillard (DGA), IGA Besson (DP Rafale), Gal Lanata (CEMAA), Jean-Claude Hironde («père» du Rafale chez Dassault)

Après deux campagnes d'essais aux USA sur des installations à terre, en juillet puis décembre 1992, la première campagne d'essais Rafale Marine sur le Foch, prévue pour 4 semaines de mi-avril à mi-mai 1993, s'annonçait à l'évidence comme évènement phare du développement : valider la formule et justifier son choix comme avion embarqué.

La pression était forte sur le programme : depuis la déclaration du premier ministre Michel Rocard – *le programme Rafale est en état de sinistre avancé (16/09/88)* – le développement avait respecté le calendrier et les budgets. La réussite de cette campagne était indispensable, et je voyais se profiler les innombrables demandes de visites à bord pendant la campagne, venues de tous horizons : industriels, opérationnels, journalistes et hommes politiques. Pour un travail serein des équipes, un ballet incessant de visiteurs était inacceptable. L'idée est donc venue de regrouper toutes les demandes sur une journée, positionnée dans la quatrième semaine de la campagne, espérant alors maîtriser les aléas.

Le porte-avions Foch était un bâtiment opérationnel sous le commandement de la Force d'Action Navale, qui gérait donc les autorisations d'embarquement. Pour éviter tout conflit avec la DGA conduisant le programme, je demandai un entretien avec le chef d'état-major de la Marine, l'amiral Coatanea, pour lui exposer notre projet de limitation des accès et de journée bloquée. Après m'avoir écouté attentivement, il me déclara : «*Besson, vous*

*rendez-vous compte de ce que vous me demandez ?*». La suite de l'entretien porta sur les travaux de préparation de la journée et des organismes à y impliquer. Quelques jours plus tard, je reçus une note de service de la Marine, signifiant que, pendant la campagne Rafale Marine, les autorisations d'accès à bord du Foch devaient obtenir l'approbation du directeur de programme Rafale.

La préparation de la journée, baptisée «VIP-presse» a été un exercice contraignant, car il est rapidement apparu qu'il s'agissait d'inviter plusieurs centaines de personnes, dont plusieurs personnalités politiques. Le cabinet du ministre participait donc à cette préparation et bien entendu les services communication du ministère.

Pour donner à l'évènement sa plus grande dimension, les media invités étaient la presse écrite, technique ou générale, nationale ou régionale, les radios et télévisions. Depuis le premier vol du prototype en mai 1991, nous avons constitué un dossier de presse mis à jour en permanence qui fut pré-diffusé à tous les media. Avoir des images le jour J avec plusieurs équipes concurrentes constituait un véritable casse-tête. Nous avons fait venir une équipe de l'ECPA<sup>1</sup> les semaines précédentes et préparé un ensemble de vidéos fourni à toutes les chaînes quelques jours avant, sous embargo. Pour la radio, France-Info proposa de faire de l'évènement un fil rouge des ses émissions de la journée. Pour le constituer, ils souhaitaient diffuser des interviews de divers membres de l'opération : pilote, mécaniciens, ingénieurs, Commandant du Foch, etc. Michel Polacco m'a demandé de pouvoir embarquer la veille pour réaliser ses interviews, ce que j'ai accepté.

Tout semblait prévu et encadré quand le changement de gouvernement a conduit François Léotard au poste de ministre de la Défense, un mois avant le début de la campagne. Elu du Var, il fit ajouter à la liste des invités un assez grand nombre d'élus du département, maires, conseillers généraux. L'équipe de la Marine chargée du protocole et de la logistique dût revoir rapidement ses plans.

Enfin le jour J (jeudi 29 avril 1993) : tout s'est bien passé ! ☺

<sup>1</sup> : Établissement de Communication et de Production Audiovisuelle, organisme du ministère de la Défense.



# RENÉ NEYRET, LES SCIENCES ET LES LETTRES

Par Philippe Japiot, IGA



**René Neyret, IGA né en 1946, nous a quittés le 21 juin 2023. Il nous laisse l'image d'un IA aux talents multiples, de l'ingénieur à l'écrivain, avec un élan vital communicatif largement partagé avec sa famille et ses nombreux amis.**

## La CAIA

J'ai fait la connaissance de René en 1995 lorsqu'il a rejoint le comité de rédaction du « Bulletin de liaison » de la CAIA dont j'étais alors le rédac'chef. J'ai d'emblée été

séduit par sa personnalité atypique, généreuse, pleine d'humour et de vie, et nous avons travaillé ensemble à l'émergence d'un journal moins austère au service d'une communication efficace auprès de la communauté des IA. Le nouveau magazine portant le numéro 50 paraîtra en avril 1996 avec plusieurs nouvelles rubriques et une jaquette modernisée.

## Son parcours

Atypique ? oui, René avait vécu une enfance singulière dans les années 1950, très joliment décrite dans son livre autobiographique « Une enfance au café » paru en 2012. On y découvre un enfant plein de curiosité confié à ses grands-parents qui tiennent le café d'un petit village de Haute Loire. C'est un concentré émouvant d'anecdotes sur la vie du village et d'un grand père amoureux de la nature et de la pêche, et très attentif à l'ouverture à la vie de son petit-fils.

Plus tard, René suivra une filière scientifique au lycée de Saint Etienne qui le mènera à l'ENSICA de Toulouse. Jeune ingénieur, il rejoint le ministère de la Défense où il passe avec succès le concours d'entrée dans le corps des IA, puis la DCAé/Paris où il décrochera un brevet de pilote avant de s'éclater en 1987 dans la conduite d'un projet particulièrement excitant soutenu par le ministre de la Défense André Giraud : battre le record du monde de saut en altitude détenu par un américain (31 000m dont 25 000m en chute libre) ! L'objectif retenu est ambitieux : 38 000m ! Une équipe pluri disciplinaire est constituée autour du CEV, et un essai probant est réussi en septembre 1989. Mais las ! les priorités budgétaires amènent le ministre Jean-Pierre Chevènement à arrêter le projet... et, comble, 13 ans plus tard, ce prestigieux

record sera arraché par un autrichien, retournant à vif le couteau dans une plaie mal cicatrisée de notre ami René... (voir son récit « On a raté la marche » dans CAIA N 100 de juin 2013).

Sa vie pourtant a bien changé, l'ingénieur est devenu spécialiste de la communication en entrant chez Bull en 1993, puis en fondant sa propre entreprise cinq ans plus tard. Mais désormais une nouvelle vocation a envahi tout son espace : écrire !

## L'écrivain

Un premier roman paraît en 2007 « Mort au comptant », un polar bien ficelé dont René avait scrupuleusement observé le quartier de Paris concerné pour s'en imprégner le plus possible dans un souci avoué d'« écriture de fiction réaliste ».

Le second livre est « Une enfance au café » (2012) évoqué plus haut, dans lequel René nous livre ses racines profondes.

Puis viendront « Yes kill » (2014), un polar autour de sa passion « la pêche à la mouche », puis « Oh God » (2016), un roman sur commande autour d'un thème insolite : le tombeau de Jésus près de la Mer Morte... Le dernier, paru en 2020, « Les filles d'Ariane », est encore un polar, mettant en cause la société Arianespace : toujours dans ce même souci de précision du décor, René a tenu à rencontrer notre camarade Frédéric d'Allest, ancien président de la société, qui a chaleureusement soutenu le projet. ☺



# VOUS SENTEZ-VOUS L'ÂME D'UN AVENTURIER ?

Par **Bertrand Delmas-Marsalet**, IGA Président de la section Carrières du CGARM

**Le terme qui caractérise sans doute le mieux une transition professionnelle, quelle qu'elle soit, est celui d'aventure. D'où le titre de cet article. Si oui, vous avez frappé à la bonne porte en contactant la section Carrières du CGARM, car notre raison d'être est de vous accompagner afin que cette aventure soit réussie.**

*Curiosité vient du mot latin « cura » qui veut dire « soin ».  
Le curieux est un médecin. Il prend soin du monde.*

*(Erik Orsenna)*

## Créateurs d'opportunité

Chaque rencontre avec un aventurier est l'occasion d'explorer avec lui ou elle le champ des possibles, le croisement entre ses compétences et ses appétences. Il en émerge parfois une idée que ni l'un ni l'autre n'avait au début de l'échange. Magique parfois !

La richesse de la section réside tout d'abord dans la diversité des expériences, des parcours et des réseaux de ses membres.

En complément, le CGARM anime un réseau d'une vingtaine d'ambassadeurs du corps dans différentes administrations, établissements publics et entreprises privées. Leur mission :

- être le point de contact privilégié du CGARM pour toute question concernant les parcours d'ingénieurs de l'armement (IA) au sein de leur organisme et les opportunités de poste pour des IA ;
- être le référent et animer la communauté des IA au sein de leur organisme ;
- conseiller les IA en recherche de poste et les mettre en contact avec leur réseau interne.

En parallèle, la section entretient un portefeuille de postes à pourvoir dans le secteur public ou privé. Elle vous les diffuse via sa lettre d'information et ses éditions spéciales et, parfois, en liaison avec la DRH de la DGA, sollicite directement des candidats potentiels.

## Tenter l'aventure dès les premiers postes, c'est possible

Chaque année, la section organise un *speed-dating* au cours duquel les IA en sortie d'école peuvent échanger avec les employeurs qui proposent des périodes d'ouverture. Jusqu'à 10 postes sont en effet proposés en



De gauche à droite, Pierre Dauchy, Marc Maurer, Bertrand Delmas-Marsalet, Romain Berline, Sandra Campo, Thomas Gouesse

primo-affectation notamment dans l'industrie pour une période de deux voire trois ans. Une opportunité pour eux de s'immerger parmi ceux qui font, avant de faire faire en tant que maîtrise d'ouvrage, une expérience très riche aux dires de tous ceux qui l'ont vécue.

Rappel : ce dispositif est ouvert jusqu'au grade d'IPA compris et jusqu'à l'âge de 35 ans. Alors n'hésitez pas à venir nous parler de vos envies !

## À l'écoute de vos envies et de vos besoins

La première rencontre avec la section Carrières, souvenez-vous, ce fut pour beaucoup d'entre vous lors d'un amphi retape, à l'X ou l'une école du concours sur titres, ou encore pendant la formation administrative et militaire initiale (FAMIA).

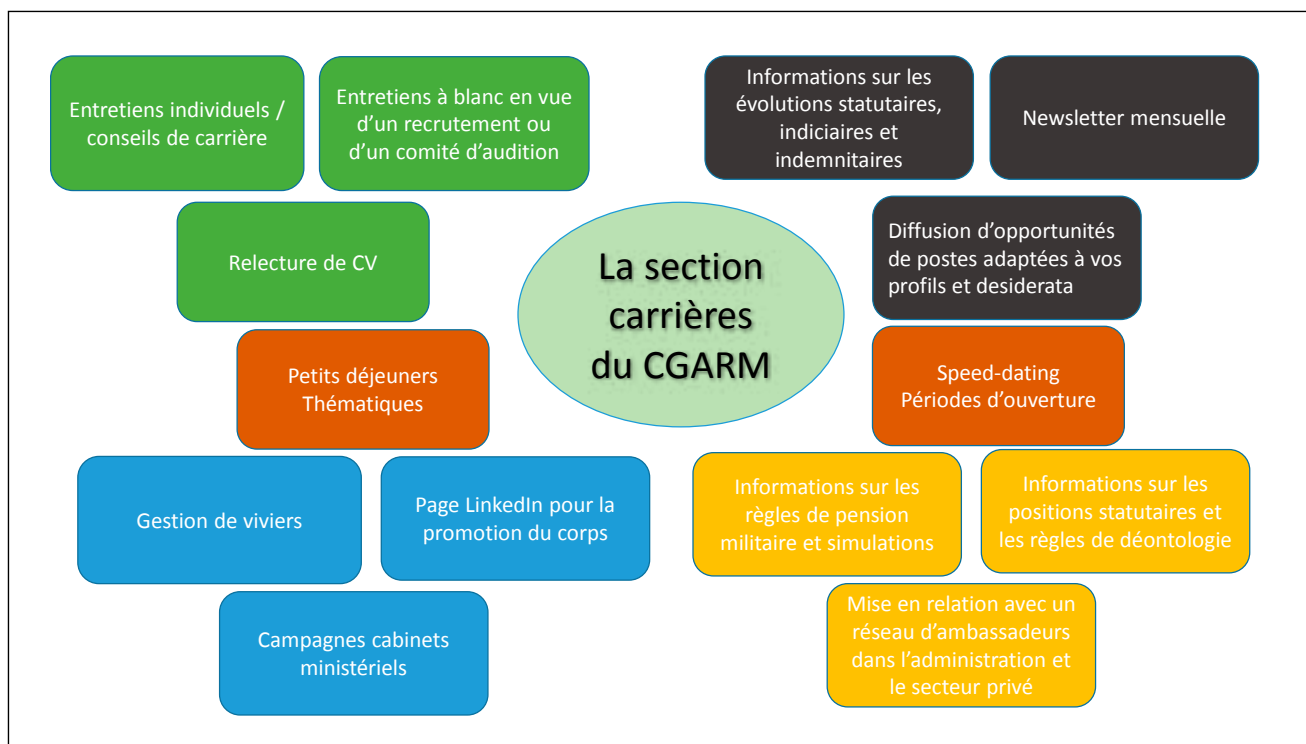
La section Carrières du CGARM a en effet vocation à vous accompagner tout au long de votre carrière. Elle réalise pour cela plusieurs centaines d'entretiens chaque année. Vous avez trouvé un poste : elle vous prépare à l'entretien de recrutement, une activité en forte croissance. Le tout avec une garantie de confidentialité qui autorise chacun à une parole libre, sans tabou, dans un climat de confiance.

## Un centre de ressources à votre profit

Qui dit aventure dit prise de risque. La maîtrise des risques est au cœur des grands programmes. C'est pourquoi la section Carrières continue à développer, en s'appuyant sur l'héritage de nos anciens, une expertise dans le domaine des RH. Plusieurs leviers pour cela : le partage au sein de l'équipe, le contact avec les services

juridiques et la capitalisation des réponses aux questions que vous nous posez (merci de les avoir posées !). Elle a ainsi constitué au fil du temps des fiches thématiques, des recueils de recommandations pratiques et des synthèses relatives aux dispositions réglementaires (statuts, retraite, etc.) et plus récemment une foire aux questions.

## Notre offre de services



## Témoignages

« L'accompagnement proposé par le CGArm permet de mettre un maximum de chances de son côté pour une candidature à l'interministériel. Il m'a permis de rendre mon CV plus percutant, en évitant les informations inutiles et en valorisant les expériences adaptées au poste visé. J'ai également bénéficié d'une mise en situation réaliste pour préparer l'entretien de recrutement mené par un responsable de haut niveau. Le débriefing à chaud est riche d'enseignements sur le fond et la forme des réponses apportées, et permet de se préparer à répondre à une grande diversité de questions sans se laisser déstabiliser. »

« Puissant ce post sur LinkedIn J MERCI !!! »

« Mon détachement n'était pas gagné d'avance, merci pour le soutien 😊 »

« Je suis en poste depuis hier et je voulais vous remercier pour votre aide et votre soutien pour avoir ce poste et dans les péripéties administratives ! »

« Ce petit mail pour te remercier vivement de ton soutien pour trouver ma période d'ouverture. Merci pour tes conseils et pour ta présence en réunion avec l'employeur. »

« Merci beaucoup, tout est désormais parfaitement clair ! Je comprends que j'ai intérêt à améliorer ma retraite privée sur le taux et la moyenne du revenu annuel. »

« Mille mercis à l'équipe Carrières du CGArm ! Document très intéressant, et maintien du lien très apprécié ! »

« Je vous remercie pour votre message et votre soutien dans cette épreuve. »



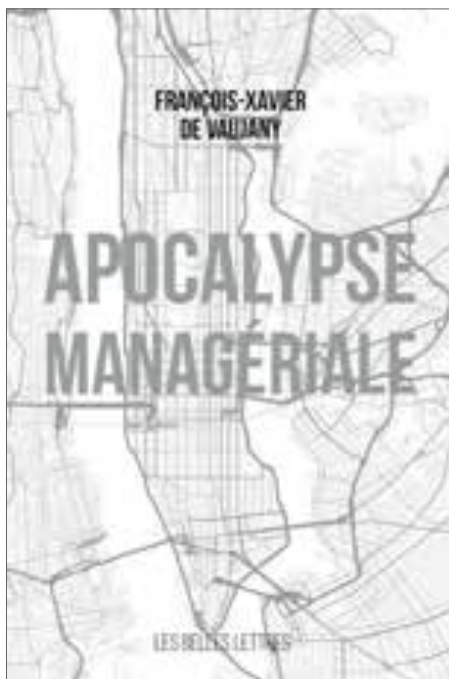
# APOCALYPSE MANAGÉRIALE ET ÉCONOMIE DE GUERRE

Par François-Xavier de Vaujany, Editeur : Les belles lettres

François-Xavier de Vaujany a publié l'année dernière un fort ouvrage contestable et passionnant<sup>1</sup>. Professeur à Dauphine, l'auteur entend retracer la genèse de pratiques managériales qui sembleront naturelles à beaucoup d'entre nous, qui ont grandi et vécu avec elles.

Mais ces pratiques ne seraient-elles pas plus contingentes qu'il n'y paraît ? Ne résuleraient-elles pas à la fois de la « révolution managériale » (James Burnham, 1941) et de la « révolution digitale » (Conférences de Macy, 1942) ? Peut-on les considérer comme responsables de notre perte de profondeur ? Avec une argumentation parfois serrée, Vaujany répond trois fois positivement. Une discussion pied à pied n'aurait pas sa place dans ces colonnes. Nous nous limiterons à citer ici le remarquable chapitre VI, *Les États-Unis « arsenal de la démocratie »*. *L'envolée de la Seconde Guerre mondiale* et le tout aussi remarquable chapitre VII, qui comprend une analyse du *Navy Yard* de Brooklyn.

« Au commencement de la guerre, les États-Unis sont la 19<sup>e</sup> puissance militaire de la planète [en nombre d'hommes et en équipement]. » (p. 192). Entre 1941 et 1945, ils auront pourtant produit près de trois mille Liberty Ship de 15 000 t, et l'un d'eux aura été assemblé en moins de cinq jours. Les exemples similaires abondent, surplombés par deux projets emblématiques et apparemment – apparemment seulement – sans point commun : Manhattan et Overlord. Derrière cela, avec une empathie revendiquée mais non sans quelque contradiction, Vaujany dessine le portrait de Roosevelt, à la fois « archétype du manager postmoderne » (p. 203), grand communicant, « préférant multiplier les entités administratives plutôt que de trancher un problème » et, à l'échelle mondiale, responsable de la diffusion du management avec ses « multiples agences, comités et projets » (p. 197). Et pourtant l'urgence est le maître mot. Elle fait tomber toutes les barrières. On fait travailler les



femmes et les minorités raciales, on innove dans la formation et la communication, on découvre l'efficacité du management participatif pour produire plus et plus vite. La guerre justifie tout. Ce n'est pas le moment de penser à l'avenir. C'est celui d'aller vite. (pp. 249-256). La victoire des Alliés devient alors celle du manager sur le tyran, ou de la chaîne de production mécanisée sur la stratégie du Blitzkrieg. Comme rien n'est simple, on découvre aussi que l'Union soviétique monolithique s'était montrée plus flexible que les États-Unis. Elle avait anticipé le besoin de convertir quasi instantanément sa production civile en production

militaire. Une usine de Leningrad « maintenait ainsi en permanence quatre lignes fabriquant des tracteurs pour une ligne fabriquant des chars. Tout cela était lié à un point commun technique essentiel : les deux engins s'appuyaient sur les mêmes types de chenilles » (p. 216).

Quand cela devait-il finir ? Vaujany cite un comité américain de 1945 : « La réponse est JAMAIS » et l'objectif va perdurer : « une distribution plus efficace » (p. 225). Les logiques qui ont permis de gagner la guerre ont été institutionnalisées après la victoire. Vaujany cite la gestion de la crise et de l'urgence, les projets stratégiques innovants et le besoin de série, la lutte pour la survie de l'entreprise, la peur de perdre, la loi de la concurrence, le besoin d'une grande cause ou le rapport au temps et à l'autre. Et de suggérer que, en un sens, nous vivons encore dans une économie de guerre qui a seulement changé sa gamme de produits. Comme toute généralisation, celle-ci est audacieuse. En l'occurrence, elle l'est un peu trop. Elle risque de faire perdre le sens de ce que fut la guerre, et de ce qu'elle demeure en dépit de ses métamorphoses. Mais, même excessive, cette généralisation permet aussi de considérer à nouveaux frais des pratiques si familières aux ingénieurs. C'est déjà beaucoup. ☺

Jacques Doumic

<sup>1</sup> : François-Xavier de Vaujany, *Apocalypse managériale, Promenade à Manhattan de 1941 à 1946 puis au-delà*, Les Belles Lettres, 2022, 596 pages, 25 €.

# INNOVATION ET DÉCARBONATION

## REMISE DU 14<sup>e</sup> PRIX BRARD

Par Alain Bovis, IGA, président du jury du prix Brard et président de l'Académie de Marine

*Le 15 juin dernier, le prix Roger Brard d'ENSTA Alumni a été décerné par Hervé GUILLOU (ENSTA Paris 1978), Président d'EXAIL, ex-PDG de Naval Group, et ancien Président du GICAN et du Comité stratégique de filière des industries navales à Mickaël HERRY, Chef de projet chez GTT, pour ses travaux de développement innovant d'un nouveau système de confinement de GNL appliqué sur le porte-conteneur Jacques Saadé de CMA-CGM, premier porte-conteneurs à propulsion hybride au GNL. Trois questions à Mickael Herry*

### Qu'est-ce qui vous a conduit à choisir une carrière dans le maritime ?

**Mickaël Herry** : Originaire de Brest en Bretagne, j'ai été proche d'un environnement maritime en côtoyant depuis toujours des navires d'exception allant des plus anciens comme la Recouvrance à des plus récents comme le trimaran GERONIMO ou le porte-avion Charles de Gaulle. La particularité de tous ces navires est d'être des concentrés d'ingéniosité et de technologie.

C'est naturellement que j'ai choisi l'ENSTA Bretagne pour son enseignement technique d'une qualité exceptionnelle et son environnement d'apprentissage remarquable. Fort d'une solide formation, j'ai choisi d'orienter ma carrière vers ce domaine pour les nombreux challenges techniques s'y rapportant.

### Pourquoi avoir choisi GTT à la sortie de l'ENSTA Bretagne ? Est-ce que le type de responsabilités que l'on vous y a confiées correspond à l'idée que vous vous faisiez au départ ?

**MH.** : Leader dans la conception de cuves de stockage de liquides cryogéniques, et particulièrement de GNL, GTT est axé sur l'Innovation avec pour objectif de continuer sans cesse à renouveler ses technologies et mieux répondre aux besoins de ses clients, et du monde maritime en général.

C'est en découvrant ces différents enjeux que j'ai souhaité intégrer GTT à la sortie de l'ENSTA Bretagne. En effet, il est passionnant de pouvoir approcher des domaines scientifiques en cours de développement, d'aller étudier de nouveaux produits et matériaux, le tout

pour contribuer aux développements de technologies à haute valeur ajoutée.

Par l'intermédiaire d'un laboratoire d'essai exceptionnel, de moyens de simulation d'impact *sloshing* unique mais également de maquettes d'essai échelle 1, GTT permet aux différents ingénieurs de mieux comprendre les produits et avoir tous les éléments pour les optimiser.

C'est dans ce contexte que j'ai pu piloter le projet « Développement innovant d'un nouveau système de confinement de GNL appliqué sur le porte-conteneur Jacques Saadé de CMA-CGM, premier porte-conteneurs à propulsion hybride au GNL ».

Ce projet d'ampleur a nécessité la mise en place d'une organisation particulière pour assurer la bonne réalisation du projet suivant les standards GTT mais également assurer la bonne intégration des différentes innovations répondant aux contraintes techniques.

### Conseilleriez-vous à de jeunes étudiants de se tourner aujourd'hui vers l'aventure maritime ?

**MH.** : Le monde maritime est un monde en constant changement et évolution. Comme dans les autres industries, la transition énergétique et environnementale du transport maritime est au cœur des principaux enjeux. En effet, les navires se doivent de transporter toujours plus tout en réduisant leur empreinte écologique.

J'invite vivement tous les jeunes ingénieurs souhaitant s'investir dans la décarbonation du transport maritime à s'engager dans cette aventure, où ils auront le plaisir de s'épanouir tous les jours sur des projets de haute technologie. ☺

# YOKOSUKA À L'AUBE DU JAPON MODERNE : LÉONCE VERNY (INGÉNIEUR DU GÉNIE MARITIME)

Par Alain Chevalier, son arrière-petit-fils, Co-édité par la SABIX et l'auteur

Cet ouvrage très abondamment illustré est un véritable album qui retrace l'histoire de cet ingénieur du Génie maritime, né en 1837, qui dirigea la construction du premier arsenal moderne au Japon à partir de 1864, donc bien avant l'arrivée en 1886 d'Emile Bertin.

Léonce Verny, qui malgré son jeune âge a déjà l'expérience de construction de canonniers en Chine depuis 1862, doit tout créer au Japon en s'appuyant sur un encadrement et sur du matériel venus de France. La main d'oeuvre est japonaise et il faut la former, y compris des cadres, dont certains sont envoyés en France dans des grandes écoles.

Il dirige la construction d'un port, de formes de radoub, d'ateliers divers, d'habitations et de phares, pour lesquels il fait venir de France deux ingénieurs des travaux publics. Pour la construction des bâtiments, il introduit au Japon la fabrication des briques. Sa ténacité pour faire progresser la gestion des bois, nécessaires pour la



Marine de cette époque, est probablement à l'origine de la création du Service des eaux et forêts du Japon.

Dans les années 1867-68, les combats qui marquent le début de l'ère Meiji ne perturbent pas trop l'activité de Léonce Verny qui est resté neutre. Il sera ensuite honoré par plusieurs visites de l'Empereur,

dont en 1870 la première visite de celui-ci à un européen.

La concurrence britannique sera toujours vive et s'étendra aux rails et aux ponts où Léonce Verny cherchait à diversifier son activité.

De retour en France (1876), il ne trouva pas dans les services de l'Etat un poste conforme à ses attentes, démissionna et fut Directeur des Mines de Firminy-La-Roche-Molière de 1878 à 1892.

Le livre traite de beaucoup d'autres sujets, certains sans rapport direct avec Léonce Verny, comme le gaz et l'industrialisation de la soie. ☺

Yves Desnoës

## LES ATOMES DE LA MER

Par Félix Torres et Boris Dänzer-Kantof aux éditions du Cherche-Midi



Préfacé par l'amiral Pierre Vandier, et bénéficiant d'accès à de nombreuses sources et témoignages le plus souvent inédits, ce livre écrit par deux historiens spécialistes du nucléaire nous introduit dans les arcanes d'une aventure passionnante et méconnue.

Il y est décrit la naissance outre-Atlantique de la propulsion nucléaire avec le Nautilus dans les années 1950, les tensions entre la France et les États-Unis, les réticences du « pape » de la propulsion nucléaire, l'amiral Rickover, à partager une compétence indispensable pour construire une force de dissuasion nucléaire crédible, la décision gaullienne en 1959 de réinventer notre propre chaufferie nucléaire en réalisant le prototype à terre (PAT) implanté à Cadarache, le rôle déterminant de notre camarade Jacques Chevallier -dont le nom a été récemment donné au premier bâtiment ravitailleur de flotte- pendant

les vingt ans qui ont permis de passer d'une chaufferie prototype à la chaufferie du Redoutable et à sa première sortie à la mer en 1971. L'aventure se poursuit avec la montée en puissance de Technicatome et les ambitions d'une nouvelle filière nucléaire française, les réacteurs du programme nucléaire civil français, profitant des avancées du domaine militaire. L'aventure canadienne de la fin des années 80 est aussi brièvement évoquée, seule fois où les autorités françaises ont accepté d'envisager de vendre des sous-marins à propulsion nucléaire à un pays ami. L'ouvrage décrit le développement des chaufferies successives pour accompagner chaque nouvelle génération de sous-marins, SNA et SNLE, ainsi que l'avantage que les chaufferies nucléaires apportent au porte-avions.

Au-delà des données techniques, l'intérêt de ce livre très documenté réside dans la description des implications géostratégiques et des choix industriels forts soutenus par une volonté politique constante depuis plus de soixante ans. ☺

Louis Le Pivain



# MA PRIÈRE, C'EST LA PENSÉE

## CIRCONSTANCES POUR UN PORTRAIT FAMILIAL DE JEAN GUITTON

Par Jean-Paul Guitton, IGA - Saint-Léger éditions



Jean-Paul Guitton est le neveu du philosophe et écrivain Jean Guitton. Il en décrit les multiples relations à partir de ses seuls documents personnels, surtout la nombreuse correspondance entretenue avec son frère Henri (père de Jean-Paul), citée à maintes reprises.

On pourrait attendre une biographie, ou une description de la vie quotidienne. En fait la lecture est doublement inattendue, ce qui en fait un remarquable livre de chevet : d'une part l'écriture est presque celle d'un roman, qui conserverait tout son intérêt s'il s'agissait d'une fiction ; d'autre part elle ouvre une fenêtre, par leurs échanges avec Jean Guitton, sur de très nombreuses personnalités du monde politique, religieux, artistique et académique et sur les luttes d'influence ou d'idées dans ces hautes sphères.

Il était par exemple un ami intime du pape Paul VI. Les anecdotes parfois savoureuses, parfois de la vie de Jean-Paul, complètent le tableau, et plusieurs centaines de notes indiquent brièvement qui étaient ces personnalités. La place de l'histoire n'est pas absente. Le titre, un peu compliqué, est déjà un jeu de mots qui introduit un léger humour constant : la prière est centrale bien sûr, et La Pensée est la résidence de la Creuse à laquelle il était profondément attaché. Un autre aspect du livre est présent dans le sous-titre : c'est bien pour Jean-Paul une façon de ne pas perdre une mémoire personnelle, complétée par des références précises ; mais le lecteur peut l'ignorer. Le texte est appuyé par des photos d'époque et des œuvres du peintre chrétien prolifique qu'était Jean Guitton. Un IA s'amusera à transposer à son propre monde la complexité des relations décrites et de l'expression de fortes convictions... ☺

Denis Plane

# LE FULGURANT DESTIN DU CHEVALIER DE LIMOËLAN

Par René d'Ambrières aux éditions VIA ROMANA et Ar Gedour

Joseph de Limoëlan (1768-1826) fut un chef chouan et l'un des organisateurs de l'attentat de la rue Saint Nicaise (24 décembre 1800) contre Bonaparte. Ce n'est sans doute pas un hasard si « fulgur » en latin signifie « éclair ».

Le livre nous présente en particulier, de manière alerte et documentée, l'histoire d'une famille noble de l'Ouest dans la tourmente révolutionnaire, jusqu'à cet attentat. Les dilemmes auxquels furent soumis les acteurs de cette époque sont bien décrits. L'histoire de l'attentat est particulièrement fouillée, occupant le quart de l'ouvrage, avec une présentation originale des préparatifs et du déroulement. Et l'on revient plusieurs fois sur ce thème dans la suite de l'ouvrage. Quelle fut la contribution exacte de Limoëlan ? L'auteur nous transmet tout ce que l'on a trouvé sur le sujet.

On parle aussi beaucoup de Fouché, qui avait des relations avec des proches de Limoëlan, et il apparaît ambigu comme souvent.

Nous sommes ensuite transportés aux États-Unis où le héros du livre s'exile et où il commence par traiter des affaires

d'héritage avec de multiples procès. Il s'oriente au bout de quelques années vers la prêtrise, toujours aux États-Unis, ce qui nous donne une vision de ce que fut le développement de l'église catholique dans ce pays, avec son lot de querelles intestines.

Le livre contient beaucoup de détails précis sur des aspects connexes, notamment la pyrotechnie avec le concours des poudriers de l'AF3P et les voyages maritimes entre la France et les États-Unis ainsi que l'Océan indien. On trouve également des considérations intéressantes sur les tactiques des chouans et celles des troupes républicaines.

On peut aussi y observer les conditions d'émigration et les aller et retours de certains, dont Limoëlan, plus complexes que ce que beaucoup ont retenu de leurs études. ☺



Yves Desnoës

# LU AU JOURNAL OFFICIEL

## PAR ARRÊTÉ DE MAI 2023

### Est nommé :

M. Lahoud (Marwan), membre du conseil d'administration de l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace en tant que personnalité qualifiée (9 mai 2023).

## PAR DÉCRETS ET ARRÊTÉS DE JUIN 2023

### Sont nommés :

Mme Crépon (Elisabeth), membre du conseil d'administration de l'École nationale des travaux publics de l'Etat au titre de personnalités issues des associations, des organisations syndicales et des personnalités désignées à titre personnel (5 juin 2023).

L'IGA CE Legrand-Larroche (Monique), inspectrice de l'École polytechnique (16 juin 2023).

L'IGA2 Leclercq (Franck), officier général, chef du pôle stratégie innovation et transformation auprès du directeur de la maintenance aéronautique (1<sup>er</sup> juillet 2023).

M. Lahoud (Marwan), membre du conseil d'administration de l'Institut supérieur de l'aéronautique, chargé d'exercé l'intérim des fonctions de président de ce conseil (26 juin 2023).

M. Francou (Thierry), président de la société GIAT Industries SAS (30 juin 2023).

### Sont désignés comme auditeurs de l'Institut des hautes études de défense nationale (cycle 2023 – 2024) :

#### - de la 76<sup>e</sup> majeure « politique de défense » :

L'ICA Fuller (William).

L'ICA Watteau (François).

#### - de la 60<sup>e</sup> majeure « armement et économie de défense » :

L'ICA David (Marie).

L'ICA Fauquet (Julien).

L'ICA Jagu (Steeve).

L'ICA Josien (Michael).

L'ICA Pelletier (Johana).

L'ICA Peudon (Benoît).

L'ICA Phan (Pierre-Emmanuel).

L'ICA Roussel (Nadège).

L'ICA Sol (Vincent).

L'ICA Warin (Philippe).

#### - de la 9<sup>e</sup> majeure « enjeux et stratégies maritimes » :

L'ICA Guyon (Jérôme).

## PAR DÉCRETS DE JUILLET 2023

### Est nommé et élevé aux rang et appellation d'ingénieur général hors classe de l'armement :

L'IGA1 Videau (Jean-Christophe), nommé conseiller armement auprès du chef d'état-major des armées (1<sup>er</sup> août 2023).

### Est nommée au grade d'ingénieur général de 1<sup>re</sup> classe :

#### Pour prendre rang du 1<sup>er</sup> août 2023

L'IGA2 Pailloux (Raphaële).

### Sont nommés au grade d'ingénieur général de 2<sup>e</sup> classe :

#### Pour prendre rang du 1<sup>er</sup> septembre 2023

L'ICA Romagnan (Hélène).

L'ICA Koffi (Philippe).

### Sont nommés :

L'IGA1 Priou (Richard), adjoint au directeur des plans, des programmes et du budget et directeur du Service de l'exécution financière de la gestion logistique des biens et des comptabilités de la DGA (1<sup>er</sup> août 2023).

L'IGA2 Kobak (Eric), chef du Service central de la modernisation et de la qualité de la DGA (1<sup>er</sup> août 2023).

L'IGA2 Arnaud (Walter), adjoint au chef du Service des affaires industrielles et de l'intelligence économique, chargé de la sous-direction de la stratégie industrielle, de l'intelligence économique et de la propriété intellectuelle de la DGA (1<sup>er</sup> août 2023).

### Est maintenu en position de détachement

M. Logak (Philippe), conseiller d'Etat, auprès des services de la Première ministre, pour une durée d'un an afin de continuer d'exercer les fonctions de rapporteur général auprès du haut-commissariat au plan (1<sup>er</sup> août 2023).

## PAR DÉCRETS ET ARRÊTÉ D'AOÛT 2023

### Sont nommés :

L'IGA1 Beurenaut (Olivier), chef du Service des architectures de systèmes de défense (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Prophète (Pascal), adjoint au chef de la mission de supervision des opérations d'exportation au sein de la Direction du développement international de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Dock (Jean-François), chargé de mission fonds de soutien de la Direction du développement international de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Frager (Nicolas), chargé de mission préfiguration de la division maintien en condition opérationnelle auprès du Directeur des opérations de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Lecointe (Olivier), chargé de mission orientations industrielles au Service des affaires industrielles et de l'intelligence économique de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Jammes (Raphaël), chargé de la sous-direction des plans et des programmes de la Direction des plans, des programmes et du budget de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Jourlin (Betrtrand), chargé de mission simplification RH auprès du Directeur des ressources humaines de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Marescaux (Bruno), adjoint numérique et cyber au Délégué général pour l'armement (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA2 Dodet (Frédéric), chargé de la sous-direction Afrique – Moyen-Orient à la Direction du développement international de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

L'IGA1 Luzeaux (Dominique), chargé de mission auprès du Directeur des ressources humaines de la DGA (1<sup>er</sup> septembre 2023).

M. Lahoud (Marwan), président du conseil d'administration de l'Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace (1<sup>er</sup> septembre 2023).

### Sont nommés à la commission des recours des militaires (1<sup>er</sup> septembre 2023)

L'IGA1 (2s) Borg (Laurent) membre titulaire représentant la DGA, renouvelé dans son mandat,

L'IGA2 (2s) Tanchou (Isabelle), membre suppléant représentant la DGA (au titre du 3<sup>o</sup> de l'article R. 4125-5 du code de la défense).

## PAR DÉCRETS ET ARRÊTÉ DE SEPTEMBRE 2023

L'IGA2 Chaubard (Laura), directrice générale de l'Ecole polytechnique, est chargée d'exercer l'intérim des fonctions de président du conseil d'administration de cette école (17 septembre 2023).

### Est nommé :

L'IGA1 SALMON (Erwan), directeur de l'unité de management opérations d'armement terrestres (1<sup>er</sup> octobre 2023)

### Est approuvée l'élection de

M. De Leffe (Patrick) à l'Académie de marine en qualité de membre titulaire affecté à la section « sciences et techniques », en remplacement d'un membre admis à l'honorariat (20 septembre 2023).



**ONT ÉTÉ NOMMÉS :**

**Pascal Guillou**, (1970), Pilote de la task force pour les générateurs de vapeurs du projet NUWARD), filiale d'EDF (1/5/2023)

**David Bergotti-Daoudi**, (1985), CTO chez Zephalto (1/6/2023)

**Lucie Reymondet**, (1991), Ingénieur de recherche au Scripps Institution of Oceanography, université de San Diego, (1/6/2023)

**Sébastien Zimmer**, (1980), Services du Premier Ministre - sécurité des systèmes d'information (1/7/2023)

**Vincent Dedieu**, (1981), PDG de Sodern (1/7/2023)

**Aurélien Gaillard**, (1999), Ingénieur conception de système satellitaire chez Thales Alenia Space (1/7/2023)

**Mathilde Kersual**, (1998), Spécialiste aérodynamique chez MBDA France (1/7/2023)

**Stéphane Joie**, (1984), Chargé de la maîtrise des transferts sensibles au SGDSN (1/7/2023)

**Pauline Emschwiler**, (1993), Chargée de participations à la DGE (1/7/2023)

**Adèle Pass-Lanneau**, (1994), Directrice de projet Réindustrialisation à la DGE (1/7/2023)

**Jean-Baptiste Lacan**, (1999), Architecte adjt du système propulsif BARRACUDA chez Naval Group (1/7/2023)

**Romain Picart**, (1980), Business development cyber & satellite chez Thales Six GTS France (1/8/2023)

**Alexandre Teissier**, (1999), Ingénieur assemblage intégration et test pour le projet nanosatellite AEROSAT au CNES (1/8/2023)

**Bruno Marescaux**, (1975), Adjoint numérique et cyber auprès du Délégué Général pour l'Armement (1/8/2023)

**Virginie Roziere**, (1976), Directrice du numérique au Ministère de l' Europe et des Affaires Etrangères (28/8/2023)

**Nathanaël Phan**, (1967), Professeur de mathématiques en lycée (1/9/2023)

**Philippe Jost**, (1960), Président du Conseil d'administration de l'établissement public Rebâtir Notre-Dame de Paris (1/9/2023)

**Krystel Frezza**, (1977), Responsable PMO du programme Grand Carénage a Saint-Denis chez EDF (1/9/2023)

**Jérôme Perrin**, (1970), Directeur Adjoint chez SAFE CLUSTER (1/9/2023)

**Sebastien Le Bouter**, (1983), Technical section leader au sein du programme HORIZON à l'OCCAR (1/9/2023)

**Mathieu Cargnello**, (1999), Ingénieur solution pour systèmes spatiaux ROEM/SS chez THALES Airborne Systems (1/9/2023)

**Sébastien Plumet**, (1978), DG adjoint chez DELAIR (4/9/2023)

**Baptiste Pierre Pecatte**, (1996), Ingénieur logiciels de sécurité chez EasyMile (4/9/2023)

**Stephen Marchisio**, (1975), Conseiller diplomatique (chef de pôle) auprès du Premier Ministre/CAB (5/9/2023)

**Fabien Mussillon**, (1984), Directeur political affairs et government business development chez Hensold France (11/9/2023)

**Corentin Allair**, (1997), Chef de projet véhicules chez SYSSNAV (16/10/2023)

**MOUVEMENTS DE MAI 2023**

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Alexandre GOY (1973)	ICA	DT/TT	SMQ/SQ
Emmanuel THOME (1982)	ICA	DP/SDP	DO/ UMACE
Elyes JAILLET (1983)	ICA	DO/UMAMS	DO/ UMC2ER
Bertrand PILOIX (1990)	IPA	DT/ST	DP/SDM
Gerald MARTINS (1982)	ICA	Aff temp CNES	DP/SDP
Johana PELLETIER (1980)	ICA	DP/SDP	DT/TT
Richard CASTAING (1990)	IPA	DO	Det Framatome

**MOUVEMENTS DE JUIN 2023**

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Thierry ROUFFET (1967)	ICA	S2IE/SDAI2	S2IE
Vincent SOL (1980)	ICA	S2IE/SDAI1	S2IE/ SDAI2
Ludovic BOUDON (1987)	IPA	DP/SDP	DO/ UMHOR
Camille VIALON (1990)	IA	DT/ST	S2IE
Laurianne DURAND (1986)	ICA	DP/SDP	S2IE/ SDAI1
Jean-Christophe GROS (1977)	ICA	DGA-BONN	ESA
Gautier NGUYEN (1995)	IA	DT/ST	ONERA
Alexis ROUGE (1995)	IA	DT/TT	Aff Temp Thales
Jacques DE MATHAN (2000)	IA	DRH/SDP	DT/ST

**MOUVEMENTS DE JUILLET 2023**

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Geoffroy LENGLIN (1976)	ICA	DP/SDP	SASD
Nicolas TESSAUD (1975)	ICA	DO/UMAMS	DO/ UMC2ER
Jean-Francois LECA (1968)	ICA	CPP/SCPP	SASD
Cecile LERNOULD (1976)	ICA	DI/SPEM	SASD/CPI
Raphael BAUMANN (1978)	ICA	DT/ST	DO/ UMC2ER

Sylvain BUSSIERE (1980)	ICA	DO/UMNAV	DO/S2A
Yann LEPAGE (1982)	ICA	DP/SDP	DO/ UMC2ER
Florent GOEURIOT (1985)	ICA	DT/ST	AID/STD
Alexis BACOT (1996)	IA	DT/MI	DT/ST
Cyprien JACQUEMOT (1996)	IA	DO/SMCO	DT/TN
Gwladys THEUILLON (1978)	ICA	SGDSN	SASD/CMI
Valentin SALVATOR (1995)	IA	Aff temp Parrot	DT/ST
Benoit CHANDESRIS (1989)	IPA	AID/STD	DO/ UMNAV
Sebastien ZIMMER (1980)	ICA	DO/UMC2ER	SGG
Stephane JOIE (1984)	IPA	DT/ST	SGDSN
Pauline EMSCHWILLER (1993)	IPA	DRH	MINEFI
Adele PASS LANNEAU (1994)	IPA	SASD/CATOD	MEFSIN DGE
Nicolas HINOUS (1995)	IA	SASD/CATOD	DT/ST
Tom THIMONIER (1999)	IA	DRH/SDP	DO/SMCO
Josephine GILBERT (1997)	IA	DRH/SDP	DT/ST
David ADMETE (1997)	IA	DRH/SDP	DT/ST
Simon KIEFFER (1999)	IA	DRH/SDP	DT/EV
Adrien DECKX VAN RUYSKENSVELDE (1999)	IA	DRH/SDP	SASD/ CATOD
Antoine BEGUET (1998)	IA	DRH/SDP	DT/EP
Elie PROST (1999)	IA	DRH/SDP	DT/ST
Maxence LAGARDE (1999)	IA	DRH/SDP	DT/ST
Amaury BELLIER-GANIERE (1998)	IA	DRH/SDP	SASD/ CATOD
Francois BALIAN (1998)	IA	DRH/SDP	SASD/ CATOD
Jean-Baptiste LACAN (1999)	IA	DRH/SDP	Aff temp NAVAL GROUP
Mathilde KERSUAL (1998)	IA	DRH/SDP	Aff temp MBDA
Gabriel AULARD (1990)	IPA	DT/ST	DI/SDEAN

**MOUVEMENTS DE AOUT 2023**

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Philippe BOUREUX (1983)	ICA	DRH/TEFI	DGNUM
Josselin VERMARE (1987)	IPA	DT/ST	DP/SDP
Morgane RIOU (1986)	ICA	DGA CAB	DP/SDP
Vincent DERVIEUX (1988)	ICA	DT/ST	DT/TA
Francis CELESTE (1977)	ICA	DO/UMHMI	OCCAR-MONTROUGE
Adrien BELLENGER (1993)	IPA	DGA-BOURGES	DT/ST
Alexandre TEISSIER (1999)	IA	DRH/SDP	Aff temp CNES
Jean-Baptiste DESCOLLONGES (1986)	ICA	DP/SDP	DI/SDEAN
Francois WATTEAU (1974)	ICA	DI/SDEAN	DO/UMNAV
Antoine DE SEZE (1980)	ICA	DO/UMNAV	SASD/ASP
William FULLER (1976)	ICA	DI/SDEAN	DRH/SDP
Pierre-Emmanuel SCHOUMACHER (1968)	ICA	DI/SDEAN	DO/UMC2ER
Renaud CHARLET (1975)	ICA	DO/UMC2ER	DO/SMCO

**MOUVEMENTS DE SEPTEMBRE 2023**

NOM	GRADE	DÉPART	ARRIVÉE
Pierre GRAVELINES (1972)	ICA	IGAAR	DP/SEREB
Eric PEDO (1973)	ICA	DO/UMAMS	DO/SMCO
Nicolas GRANGIER (1977)	ICA	AID/FAI	S2IE
Francois KALLER (1976)	ICA	DO/UMCOE	DO/UMHMI
David FORICHER (1975)	ICA	AID/STD	AID/FAI
Emmanuelle LERAY (1978)	ICA	AIA BDX	SMQ/SQ
Mathieu BOIREL (1977)	ICA	SMQ/SQ	DO/SMCO
Pierre-Nicolas GUILLOU (1979)	ICA	SIAé	AIA BR
Lam Fung LY (1964)	ICA	AID/STD	SMQ/CND

Aurelien GODIN (1980)	ICA	AND/DIV-PFRH	EMAT/STAT
Jacqueline CHAMBODUC DE SAINT PULGENT (1979)	ICA	DRH/SDP	DO/UMHOR
Nicolas PELLATTIERO (1980)	ICA	DT/EV	DO/UMHMI
Louis DUGRAIN (1981)	ICA	DO/UMAMS	DO/UMHMI
Jean-Charles LENCK (1984)	ICA	DP/SDP	DO/UMCOE
Mathieu NAVILLE (1982)	ICA	DP/SDP	DO/UMHMI
Patrick COLLIGNON (1987)	IPA	DI/SDAP	AID/STD
Guillaume PORTAL (1984)	ICA	DP/SDP	DO/UMC2ER
Marie MAGNAUD (1981)	ICA	DO/UMACE	DO/UMCOE
Thierry LUSSEYRAN (1989)	IPA	DT/ST	DO/SMCO
Mathieu DUCAROUGE (1983)	ICA	DT/ST	DP/SDP
Xavier GADoullet (1984)	ICA	OCCAR-BONN	DP/SDP
Krystal FREZZA (1977)	ICA	DET Framatome	Det EDF
Jerome LAVERGNE (1979)	ICA	DO/S2A	SMQ/SQ
Christophe LE GARFF (1980)	ICA	DRH/HDSE	DGA
Nathalie OUDOT (1980)	ICA	DGA-BRUYÈRES-LE-CH	DT/MNRBC
Sebastien LE BOUTER (1983)	IPA	DO/UMNAV	OCCAR-MONTROUGE
Jean-Gabriel KAMMERER (1986)	IPA	DT/MI	DT/ST
Arnaud GIBOIN (1980)	ICA	DI/SDEAN	DP/SDP
Mathieu RATIEVILLE (1975)	ICA	DI/SDEAN	AID/STD
Xavier LE GOFF (1981)	ICA	DI/SDAP	DP/SDP
Guillaume VEGA GARCIA (1980)	ICA	DT/EV	DI/SDEAN
Christian MAILLARD (1958)	ICA	SASD/CATOD	CGARm
Benjamin REMOND (1975)	ICA	OCCAR-MONTROUGE	DI/SDEAN



# JEU :

**QUELQUE PART ENTRE  $e = h\nu$  ET  $E = mc^2$ , PLACEZ LES CARTES DANS LE BON ORDRE**

**Par Denis Plane, IGA**

Nous sommes assaillis, par les medias, le politique, les entreprises, de chiffres destinés à impressionner mais qui sont parfois inexacts d'un facteur 1000 voire un million, et qui finalement ne disent rien, faute de référence ou de comparaison. A l'inverse, d'autres chiffres sont exagérément précis, comme l'arrêté qui définit l'économie d'éner-

gie obtenue par des chaudières à bûches de bois avec 7 chiffres significatifs. L'énergie est un domaine où les erreurs et les fausses données prolifèrent : à vous de faire le tri ! **Dé- coupez et classez ces cartes dans le bon ordre !** Mieux, donnez la valeur approximative de chacune, en Joules, en puissances de dix. Exemple : un tir de LMJ = 6.

L'énergie d'un photon dont la fréquence est l'inverse de l'âge de l'univers	Energie apportée sur un atome de césium par la chute d'une goutte de pluie en Australie	Un électron volt	Une note mezzo-forte au piano
L'énergie thermique d'un atome froid de césium dans l'horloge Pharaon	Un photon de radar bande L (ou d'IFF)	Une grande marée dans la baie du mont Saint Michel	Coup de patte d'une langouste arc-en-ciel
Un saut de puce	Une mousse au chocolat	Un kil de rouge	L'alimentation d'un IA pendant sa carrière
La production annuelle agricole française	Un plf (pied.livre.force)	Une BTU	Un Tcf de gaz (trillion cubic feet, unité américaine)
Les ondes émises par un appel de téléphone portable en ville de 10 mn	Une batterie de téléphone	Un tir de LMJ	Le voyant de la box internet en une nuit
Un mètre cube de gaz de ville	2 € d'hydrogène en sortie d'usine	2 € d'essence hors taxes	2 € d'électricité publique
Le plein d'une voiture électrique	Un très bon puits de pétrole pendant sa « vie »	L'arsenal nucléaire mondial	L'électricité produite dans le monde depuis toujours
Un très gros trou noir	L'énergie noire de l'univers	Porter un vaisseau spatial de 10 t à la vitesse de $c/2$	Un photon de rayon cosmique très dur de supernova
Les incendies de l'été 2023	0,1° d'élévation de température des océans	Une canette de Coca	Un joule

# SOLUTIONS DU JEU :

## UN FACTEUR D'UN ZETTA-GOOGLE ENTRE LE PLUS GRAND ET LE PLUS PETIT

---

### Quelques valeurs utiles :

Un baril de pétrole = 159 litres = 0,14 TEP (tonnes équivalent pétrole) = 5,9 GJ

Une tonne de TNT = 14,5 GJ (donc trois fois moins qu'une tonne de pétrole)

Un MBTU = mille BTU : un million de BTU s'écrit MMBTU

Piano - 3	Électron volt - 19	Césium et pluie - 63	Photon - 52
Langouste 2	Grande marée 11	Photon de radar - 24	Pharao - 28
IA 11	Kil de rouge 6	Mousse au chocolat 6	Saut de puce - 6
Tcf de gaz 16	BTU 3	Plif 0	Production agricole 15
Box internet 3	LMJ 6	Téléphone 4	Appel de portable 2
2€ d'électricité	Essence 8	Hydrogène 8	Gaz de ville 6,5
Électricité 21	Arsenal nucléaire 19	Puits de pétrole 14	Voiture électrique 9
Rayon cosmique - 6	Vaisseau spatial 14	Énergie noire 69	Trou noir 51
Joule 0	Coca 5	Océans 23	Incendies 20

# EMBARQUEZ SKYROCK PLM DANS VOTRE MOBILE

La mobiradio pour les militaires,  
créée en équipe avec Unéo

Téléchargez  
dès à présent  
l'appli Skyrock



**NOUVEAU**

**CHAQUE MATIN DÈS 9H00**  
RETROUVEZ LA CAPSULE VIDÉO SUR LE SITE D'UNÉO !  
TOUTE L'INFO MILI EN 2 MINUTES CHRONO !



Unéo, MGP et GMF  
sont membres d'  
**UNÉOPOLE**  
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



Bien plus  
qu'une mutuelle



# Le Futur

**des Systèmes Terrestres Européens est Là.**

**MODULES DE MISSION**

**CHARS DE COMBAT**

**SYSTÈMES D'ARTILLERIE**

**VÉHICULES BLINDÉS À CHENILLES**

**VÉHICULES BLINDÉS À ROUES**

**PONTS MOBILES**

**SYSTÈMES ANTI-AÉRIENS**

**MUNITIONS**

**ROBOTIQUE**

**SOUTIEN ET SERVICES**

**FORMATION**

**SIMULATION**