



LE MAGAZINE

DES INGÉNIEURS DE L'ARMEMENT

— N° 105 - AVRIL 2015 —



I(A), ROBOT



PRÉFACE
DE BRUNO
SAINJON
P04



LE RÉVEIL
DE PHILAE ?
P48



MANAGEMENT
P60

de **Bruno Sainjon**

Président Directeur Général de l'ONERA



Nées du mariage entre les machines et l'intelligence artificielle par la micro-informatique, les techniques et les technologies

de la robotique se sont développées pour couvrir notamment les besoins de l'homme pour l'accès à des environnements extrêmes et de dépassement de ses capacités physiques et de traitement des informations. Aujourd'hui, la robotique fait partie intégrante des technologies militaires, spatiales, etc., mais elle est aussi présente dans nos systèmes de production voire dans notre vie quotidienne. Elle constitue un axe d'innovation et de développement économique pour bon nombre de pays industrialisés dont la France.

La robotique occupe une place particulièrement importante dans le domaine « Traitement de l'Information et Systèmes » de l'ONERA. Le développement et l'intégration de systèmes robotiques reposent en effet sur plusieurs domaines scientifiques d'excellence : commande, perception, décision, systèmes embarqués, interfaces homme /

systèmes, systèmes d'information, etc. Tous les domaines à fort enjeu dans lesquels l'ONERA est un acteur de premier plan, qu'il s'agisse de l'aéronautique, de l'espace, de la sécurité et de la défense, ou encore de la surveillance de l'environnement sont en quête d'avancées fonctionnelles pour offrir plus d'adaptation, plus d'autonomie, plus de sécurité, plus d'interactivité à des véhicules comme les drones (aériens, terrestres, marins, sous-marins), les satellites, les engins militaires, les systèmes de surveillance. Ces domaines sont parmi ceux où les techniques de la robotique s'expriment intensivement mais aussi ceux où les recherches en robotique sont particulièrement actives.

L'ONERA est plus particulièrement engagé depuis plusieurs années dans un ensemble de travaux visant à accroître l'autonomie des systèmes et l'intégration homme-système.

La perception artificielle et la compréhension de l'environnement constituent des problèmes clés dans les capacités d'adaptation et au-delà d'autonomie des systèmes comme les drones. Au cours de ces dernières années un ensemble de techniques de planification et de navigation autonome des engins mobiles pour des évolutions dans des environnements naturels non complète-

ment connus a priori a été développé à l'ONERA. Ces capacités de navigation autonome fondées sur des techniques de localisation et de commande référencée capteur permettent par ailleurs de sécuriser un certain nombre de fonctions critiques un peu à l'image des assistances qui commencent à se populariser sur les véhicules routiers. Ces avancées serviront sans doute les évolutions de la réglementation en offrant des comportements sûrs et fiables en réaction à des perturbations de toutes sortes.

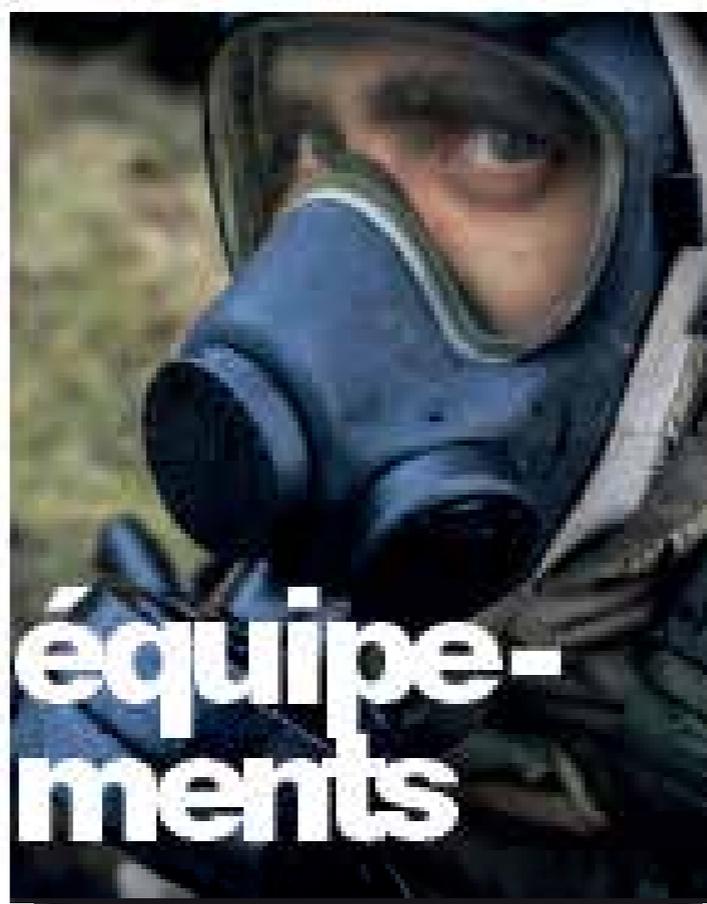
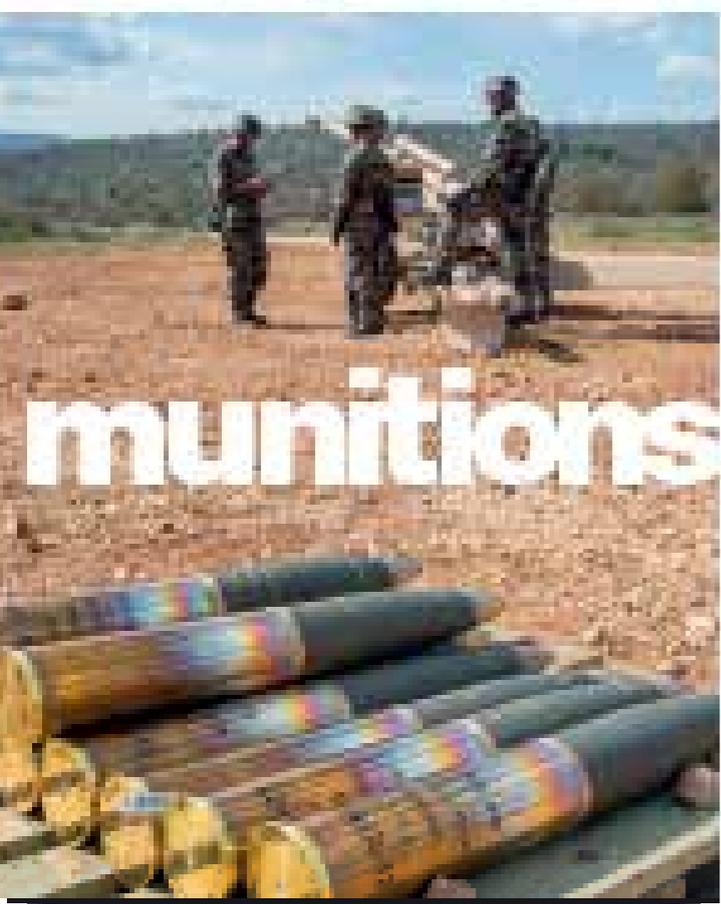
Au-delà de cette réactivité pour faire face à des environnements non complètement connus, la dimension « autonomie décisionnelle » des systèmes fait également l'objet de travaux importants. Nous travaillons en particulier à doter les engins de moyens de planification de leurs activités (mouvement, perception, action, etc.) pour disposer à terme des systèmes capables de réaliser à haut niveau d'autonomie, voire à autonomie complète, des missions complexes comme celles auxquelles serait confronté le futur avion de combat sans pilote. L'ONERA a ainsi développé tout un ensemble de techniques de planification par des méthodes déterministes ou probabilistes intégrant la prise en compte dynamique des contraintes spatio-temporelles liées à l'évolution de l'environnement et de l'état des systèmes dans la réalisation des missions.

Ces travaux trouvent également leur aboutissement dans le cadre de la robotique terrestre et sous-ma-

rine. Des opérateurs robotiques sont en effet souvent mêlés maintenant aux moyens d'intervention et de surveillance. Des techniques avancées de traitement de l'information pour la détection, le suivi et au-delà la compréhension des activités humaines peuvent être mises à profit pour obtenir des comportements interactifs avec des opérateurs.

La robotique spatiale est aussi un domaine dans lequel l'ONERA s'implique. Les techniques de commande, de perception et de planification ci-dessus évoquées s'appliquent en partie aux problèmes d'autonomie des systèmes d'exploration planétaire. Nous abordons également de manière plus récente les problèmes de commande et plus largement de déploiement de systèmes de télé-manipulation spatiale robotisée pour les besoins de la maintenance des systèmes orbitaux.

Les technologies et les techniques de la robotique sont un axe de recherche et d'innovation dans lequel l'ONERA est fortement engagé et entend être l'acteur national de référence dans ses domaines. Il s'agit également d'un secteur à fort potentiel de diversification par exemple dans la robotique médicale ou encore la robotique personnelle. 📌



Rédacteur en chef : Jérôme de Dinechin
Rédacteur en chef délégué : Eric Bujon
Directeur de publication : Philippe Roger
Comité de rédaction : Arnaud Salomon, Daniel Jouan, Denis Plane, Dominique Luzeaux, Flavien Dupuis, Frédéric Tatout, Jocelyn Escourrou, Louis Le Pivain, Olivier-Pierre Jacquotte

Edition et régie publicitaire : SACOM 01 41 10 84 40, Ineyret@la-clique.com
Création graphique : La Clique www.agencesacom.com

CAIA, Bâtiment 158, 24 av. Prieur de la Côte d'Or, 94117 ARCUEIL Cedex
Tél. : 01 79 86 55 12
Télécopie : 01 79 86 55 16
Site : www.caia.net
E-mail : caia@caia.net
numéro de dépôt légal : 2265-3066

3 Editorial

4 Préface de Bruno Sainjon,
Président Directeur Général de l'ONERA

La robotique

- 8 Introduction au dossier Robotique, par *Eric Bujon*
- 10 Des automates aux robots : une perspective historique, par *Frédéric Tatout*
- 14 Systèmes intelligents et conduite de programme, par *Edouard Geoffrois*
- 16 La robotique développementale, par *David Filliat*
- 18 Apprendre pour être encore plus humanoïde, par *Rodolphe Gelin*
- 19 ROBOTICS DAYS
- 20 Des robots qui coopèrent entre-eux !, par *Magali Barbier, Martial Sanfourche, Yoko Watanabe, Charles Lesire et Philippe Bidaud*
- 24 Quelle politique industrielle pour la Robotique ?, par *Benjamin Gallezot*
- 26 Ethique des robots : Sans limites, par *Denis Plane*
- 28 Conception des armes et volonté sociale, par *Jacques Bongrand*
- 30 Permis de tuer ?, par *Dominique Luzeaux*
- 32 « Robots-tueurs » : quel encadrement juridique ?, par *J-B Jeangène Vilmer*
- 33 Ingénierie de l'information & robotique, un domaine scientifique à la DGA
- 34 Gentils robots, méchants robots ?, par *Patrick Michon*
- 36 Spin-off du LRBA à l'origine de la Navigation Magnéto-Inertielle, par *David Vissière*
- 40 FCAS, Vers l'ère des drones de combat ?, par *Philippe Koffi*
- 42 La Guerre des mines navales, moteur du développement des drones mouillés, par *Alain Hetet et Maud Amate*
- 44 Ce que veut l'internaute, par *Nicolas Guillermin*
- 46 Expertise robotique terrestre, interview de *Arnaud Ramey*
- 48 Sans la robotique, pas de spatial, par *Thierry Duquesne*
- 50 Le Naval au service du spatial, par *Hervé Grandjean*
- 52 L'ATV-5 Georges Lemaître, 5^e et dernier vaisseau européen pour l'ISS
- 53 Rosetta & Philae, deux conceptions très différentes, par *Francis Rocard*
- 55 Le transport en 2050 : un essaim de robots ?, par *Eric Bujon*

57 Dossier industrie

ECA Group

Vie de la CAIA

58 Le mot du président, par *Philippe Hervé*

60 Management

- Retourner la pensée, par *Jérôme de Dinechin*

62 Histoire

- Jacques Vaucanson, Déjà des robots au XVIII^e siècle !, par *Daniel Jouan*

64 Technologie

- Les roquettes Françaises en pointe, par *Bernard Amrhein*

66 Lu pour vous

- Exterminateur 17, de *Jean-Pierre Dionnet et Enki Bilal*

67 Camarades écrivains

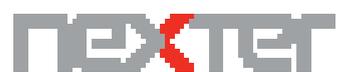
- H, de *Alain Crémieux*
- GPS, Galileo et autres systèmes de radionavigation, de *Walter Arnaud*

68 Lu au JO - Nominations DGA

69 Carnet Pro

70 Portrait

- *Emile Blanc*



de **Eric Bujon**, ICA

Responsable du Métier Simulation à la DGA



Je garde un souvenir ému de ma première rencontre avec un robot : c'était vers la fin des années 80 dans les locaux de l'ENSTA. Un camarade de promotion, dont je tairai pudiquement le nom mais qui se reconnaîtra peut-être à la lecture de ces lignes, venait de perdre le contrôle de son robot, objet de son option d'enseignement par la recherche, et nous étions trois, à quatre pattes, tentant dangereusement de débrancher l'objet gesticulant au dessus de nous pour mettre fin à la casse grandissante dans le laboratoire d'électronique ... Je n'ose imaginer la fin de ce sketch si ce fameux robot avait été alimenté sur batterie ... Cette anecdote aura au moins eu le mérite de me faire concrètement prendre très tôt conscience que même le plus inoffensif projet de robotique peut avoir des retombées conséquentes en cas de perte de maîtrise ...

Mais qu'est-ce qu'un robot ?

Abstraction faite de celle du robot culinaire, les définitions du Larousse sont pour le moins multiples, voire contradictoires : Un robot est tout d'abord un « Appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable ». Cette acception du terme intègre donc de facto tout automate programmable, quand bien même il serait exempt de toute forme d'intelligence artificielle ... Elle s'accorde bien avec l'image classique et péjorative du robot à la mode des « Temps Modernes » où Charlot, transformé en robot, agit de manière automatique et répétitive.

Mais la réalité des robots d'aujourd'hui et de demain est tout autre et se rapproche plus de la première définition du Larousse : « Dans les œuvres de science-fiction, machine à l'aspect humain, capable de se mouvoir, d'exécuter des opérations, de parler ». Et même si l'évolution est lente, la réalité est en train de rallier la fiction : tout comme l'informatique est en train d'offrir un cerveau à l'automatique. Les robots sont désormais des ordinateurs bardés de senseurs pour appréhender leur environnement et d'actionneurs pour interagir avec lui.

Etre ou paraître humain ...

Même si l'aspect humain évoqué par le Larousse a nourri bien des œuvres de science fiction ainsi que notre imaginaire collectif, c'est désormais l'être humain que souhaitent simuler nos robots. Il s'agit de les doter d'une autonomie grandissante, qu'il s'agisse d'appréhender un environnement non prédéfini et sans cesse changeant, de décider des meilleures stratégies et plans d'actions pour satisfaire un objectif précis : en fait, de mimer le cerveau humain qui, à partir de ses cinq sens, saura observer et comprendre un environnement, de construire en conséquence plusieurs options afin de satisfaire un objectif, d'en décider une et enfin d'agir pour la concrétiser.

L'intervention humaine dans le contrôle de ces robots devient dès lors de moins en moins prégnante. Les robots pilotés laissent peu à peu place à des machines douées d'autonomie décisionnelle : l'automatique devient indépendante ... et peu importe son apparence. Elle peut se vouloir rassurante en simulant l'aspect humain dans son interface homme/machine mais là n'est pas sa principale caractéristique.

L'étape suivante consiste à doter ces machines de la faculté d'apprentissage : le périmètre de l'autonomie se veut alors grandissant et la machine, à l'image des humains, devient peu à peu capable de tirer enseignement de ses expériences passées.

La première partie du magazine s'intéresse à la R&D dans ces domaines : à la fois sur le fond scientifique mais aussi sur les incitations mises en place pour en susciter l'innovation.

L'âme des robots ?

Dès lors que les robots se montrent doués d'autonomie décisionnelle, se posent d'épineuses questions éthiques et juridiques. Derrière les nombreux rôles potentiellement joués par les robots, sans même aller jusqu'aux robots tueurs, se cache un partage des responsabilités de plus en plus délicat à cerner : en cas de bavure, qui est responsable ? Le robot lui-même ? Celui qui s'en sert, celui qui l'a conçu ... ?

Comment s'assurer qu'un robot agira en âme et conscience, comment légiférer sur ces questions ? Comme toujours, le progrès technologique en robotique conduit et conduira encore pour de nombreuses années à faire évoluer notre arsenal juridique pour être en mesure, demain, de cadrer l'activité des robots.

La seconde partie du magazine est consacrée à ces questions, avec bien sûr un focus particulier sur l'emploi des robots dans le domaine de l'armement.

Des applications multiples et qui se multiplient ...

Comme la lecture de la dernière partie du magazine pourra, je l'espère, vous en convaincre, les applications de la robotique se multiplient autour de nous, de manière continue, pour le meilleur mais pas vraiment encore pour le pire.

Plusieurs articles traitent évidemment des programmes d'armement en cours qui bénéficieront directement des avancées technologiques en matière de robotique.

Chez nos amis anglo-saxons, on a pour habitude de caractériser les cas d'application des robots selon trois catégories, dites des 3 D :

- Dirty : les robots interviennent là où l'homme ne peut travailler, dans le domaine NRBC par exemple ;
- Dull : lorsque les activités sont répétitives, fatigantes et peu gratifiantes, on cherche à substituer l'homme par des robots, notamment dans le domaine de la robotique industrielle par exemple ;
- Dangerous : l'exemple typique de cette catégorie en est le domaine militaire - il est bien évidemment préférable de mettre en danger un drone qu'un pilote et son avion.

Je serais d'ailleurs assez tenté d'y ajouter un quatrième « D » pour intégrer tous les cas où les robots permettent d'intervenir à distance : dans le domaine spatial bien évidemment mais aussi, de plus en plus, dans notre vie quotidienne, grâce à Internet via par exemple les achats à distance qui constituent peu ou prou une forme de robotisation du commerce.

Force est de constater que l'application de la robotique revêt des formes extrêmement variées et qu'elle s'insinue insidieusement dans nos habitudes : pour ne citer qu'un exemple, la domotique est en train de progressivement transformer nos demeures en robots. Et même si la grande majorité d'entre nous n'a pas encore le sentiment de vivre dans un robot, il suffit pour s'en convaincre de comparer un système d'alarme avec les principes de base de la robotique : des senseurs, une centrale capable d'appeler seule un centre de sécurité en cas d'intrusion, une sirène en guise d'actionneur ... Et la capacité d'interagir sur sa maison à distance – via sa box internet – pour surveiller (capteurs de présence, webcams ...) et contrôler (prises commandées, volets roulants, chauffage), ne fera que croître et se généraliser.

La peur du robot ...

On peut s'interroger enfin sur la fascination qu'exercent les robots sur notre inconscient. Comme souligné dans l'éditorial, il suffit pour s'en convaincre de constater le nombre considérable d'œuvres littéraires et cinématographiques qui traitent du sujet.

La peur d'être supplantés par nos propres créations n'est certainement pas totalement étrangère à cette appréhension latente. Alors que nous nous réjouissons de cette prise de relais par nos propres enfants, le fait même d'imaginer que ces robots puissent leur ravir le pouvoir à terme suscite une crainte viscérale et justifiée.

Même s'il est évident que les robots peuvent réaliser de nombreuses tâches mieux et plus vite que la très grande majorité des humains, même si leur autonomie décisionnelle va croissante, même si leur nombre explose, il n'en demeure pas moins qu'il nous reste encore un rempart rassurant à leur hypothétique domination sur l'homme : ils ne sont jusqu'ici pas très doués dans leur capacité de procréation ! ☹

DES AUTOMATES AUX ROBOTS : UNE PERSPECTIVE HISTORIQUE

L'histoire des automates puis des robots est étroitement liée au ressenti et à l'imagination des humains à leur égard. L'évolution des technologies a connu une forte accélération entre la fin des années 30 et la fin des années 50. Elle en connaît une autre, impressionnante, depuis une dizaine d'années, dont les retombées et les implications sont encore difficiles à imaginer.

Les automates, des ancêtres déjà sophistiqués

Les automates existent depuis l'Antiquité. Au départ, ils étaient créés essentiellement pour simuler des événements surnaturels à des fins religieuses, susciter l'étonnement ou imiter la nature :

- Les masques et statues animés d'Égypte.
- Réalisations de Philon de Byzance (3^e s. av. J.-C.) et Héron d'Alexandrie (1^{er} s. av. J.-C.).
- Les Jacquemarts à la fin du Moyen-Âge.
- La diffusion d'automates de divertissement à la renaissance.



Karakuri Ningyō

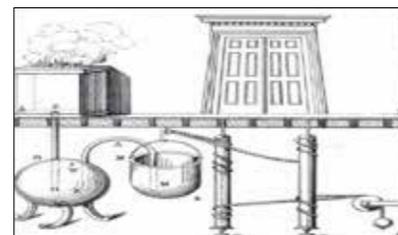
- Au 18^e siècle, des automates présentant une ressemblance frappante avec des humains ou des animaux : le « joueur de flûte » de Jacques Vaucanson (1738), un scribe créé par les horlogers Pierre et Louis Jacquet-Droz (1774), qui furent accusés de sorcellerie en Espagne.
- Au 19^e siècle, les automates à figure humaine, déjà très répandus, sont devenus des phénomènes de mode (automates magiciens ou joueurs d'échec par exemple).

Au fil du temps on note des perfectionnements techniques considérables. Mais les évolutions conceptuelles anciennes sont difficiles à cerner, sans doute parce que notre connaissance provient de rares vestiges et de sommes écrites, telles que celles de Philon de Byzance (« traité des leviers », « traité des automates », etc) et Héron d'Alexandrie (« traité des pneumatiques »), qui ont désacralisés les miracles antiques.

On notera toutefois une évolution majeure à la fin de l'Antiquité, avec les horloges et autres machines de régulation du mouvement dont les techniques, perfectionnées par les Arabes, ont été recueillies par les Croisés pour aboutir

à la création des jacquemarts. Au Japon, dès le 17^e siècle, des horloges ont été intégrées aux karakuri ningyō, des poupées-automates magnifiques qui ont connu un grand succès jusqu'au 19^e siècle.

Les automates de travail se sont répandus relativement tard, dans le domaine du tissage en particulier. En 1725 un certain Basile Bouchon, tisserand lyonnais, inventait un moyen d'automatiser le travail de la navette du métier à tisser à l'aide d'une bande perforée. Ce procédé, perfectionné en particulier par Jacques Vaucanson entre 1745



Construction d'une chapelle, telle qu'en allumant du feu, les portes s'ouvrent toutes seules et se ferment quand le feu est éteint. Figure extraite de l'ouvrage Les pneumatiques de Heron d'Alexandrie et Philon de Byzance, par Albert de Rochas (1882)

et 1755, puis par Jacquard en 1801, constitua le premier exemple de machine programmable : la bande perforée, portant le programme, étant devenue distincte du métier.

Deux décennies de progrès scientifique ont planté le décor de la robotique actuelle

Sans minimiser l'importance de la machine mécanique inventée par le jeune Pascal pour aider son père à calculer (la pascaline), le véritable tournant a été pris en 1937 par Alan Turing, inventeur du concept d'ordinateur fondé sur le calcul booléen (qui était apparu en 1854). La conjonction de cette invention avec l'essor de l'électronique a permis l'émergence dès 1943 (sous l'impulsion de Turing) d'une arme de guerre inédite, plus que discrète à l'époque, mais qui s'est avérée être une carte maîtresse dans la main des Alliés : une machine capable de casser les codes d'Enigma.

Peu après le projet ENIAC, lancé en 1945 pour le programme Manhattan, trois autres innovations majeures sont apparues :

- le transistor, à l'origine du phénomène continu de la loi de Moore, toujours à l'œuvre même si elle connaît aujourd'hui ses premières limites ;
- la cybernétique (Norbert Wiener, 1948 : « *cybernetics, or control and communication in the animal and the machine* ») ;
- l'intelligence artificielle (IA), dont il est coutumier d'attribuer l'origine à un article fameux d'Alan Turing en 1950, « *computing machinery and intelligence* ». Cet article fut suivi de lourds débats autour de la notion de « machine pensante », si bien que l'IA n'a connu son essor qu' à partir de 1956, sous l'impulsion de Marvin Minsky, Allen Newell et peut-être surtout du théoricien de la rationalité limitée, le fameux économiste Herbert Simon. Le décor était désormais planté, même si la route s'est avérée depuis, et paraît toujours longue, entre les espoirs initiaux et l'avènement réel de l'IA.

Des premiers robots aux incertitudes récentes

Une première génération de robots (en fait des automates programmables électroniques) a donné de bons résultats à partir du début des années 60 dans l'industrie de production, avec des machines au départ très frustes telles que le bras télé opéré (à Argonne, en Lorraine) ou le robot Unimate, qui a connu une diffusion bien réelle, notamment dans les chaînes de production d'automobiles.

Une décennie plus tard apparaissait la génération

Les robots font débat à propos de leurs retombées économiques et de leurs capacités

Le débat sur les retombées économiques.

Dès l'époque de Vaucanson, les tisserands lyonnais s'inquiétaient des perfectionnements des métiers à tisser. Le 19^e siècle aura été ponctué de révoltes : de celles, mémorables, des luddites et des canuts, passés d'artisans à ouvriers, jusqu'aux actions, en fin de siècle, de farouches opposants au développement des pianos mécaniques, parmi lesquels la société EMI, déjà, se posait comme défenseur des droits des auteurs compositeurs de musique.

En mai 1964, avec l'arrivée des premiers automatismes électroniques (par exemple 300 000 postes d'opérateurs d'ascenseurs supprimés à New York), un comité de sages lançait un message d'inquiétude au président Lyndon Johnson : « *the cybernation revolution (...) results in a system of almost unlimited productive capacity which requires progressively less human labor. Cybernation is already reorganizing the economic system to meet its own needs* ».

Herbert Simon ne partageait pas leur pessimisme. Il pensait que l'automatisation modifierait profondément la structure du marché du travail des humains, mais ne le réduirait pas drastiquement avant très longtemps. Mais son analyse est longtemps restée inaperçue, de sorte qu'en 1995 J. Rifkin prédisait que le e-commerce allait réduire les postes commerciaux à peau de chagrin.

Il est intéressant d'analyser de manière factuelle les retombées, comme l'ont fait par exemple Frank Levy et Richard J. Murnane dans « *the new division of labour* » (2004). Leurs études confirment que l'automatisation et la robotique ont fait disparaître de nombreux métiers, mais que beaucoup d'autres sont restées hors de portée de ces technologies, notamment ceux qui requièrent une expertise pointue ou une capacité à communiquer dans des situations complexes. Or, la demande a explosé sur des métiers nouveaux centrés sur ce type de compétences.

F. Levy et R. Murnane complètent leur analyse par quelques enseignements précieux sur la formation des jeunes, qui devront « apprendre à faire avec » la diffusion de la robotisation. En effet, les retombées macroéconomiques sur le marché du travail ne sauraient faire oublier l'enjeu crucial de l'automatisation des tâches à faible valeur ajoutée pour les entreprises : question de survie pour beaucoup, dans le contexte d'une compétition rendue plus intense du fait de l'accélération de l'innovation.

Le débat sur les capacités actuelles et futures des robots

L'histoire récente est ponctuée d'erreurs de jugement sur l'évolution future des ordinateurs. Par exemple, de nombreux experts les voyaient capables de soutenir une conversation avant de battre des champions d'échecs. En 1957, des experts de Carnegie Mellon avaient même parié sur une date : 1967. Or, c'est l'inverse qui s'est produit. Le jeu d'échec étant régi par des règles simples, le défi tenait essentiellement à l'augmentation de la puissance de calcul, même si le pari a été tenu 30 ans plus tard que prévu, par Deep Blue. Beaucoup d'experts se sont ensuite attendus à des progrès rapides sur des tâches apparentées au développement sensorimoteur du petit enfant (jusqu'à 18 mois), qualifiées par certains de « bas niveau », et à des avancées plus lentes sur des tâches impliquant des raisonnements sophistiqués (qualifiées parfois « de haut niveau »). Ils ont dû changer d'avis depuis avec Siri (d'Apple), Google Voice et un certain Watson, développé par IBM, devenu champion incontesté du jeu Jeopardy en 2011.

Pour maîtriser des capacités de type sensori-motrices temps réel (par exemple, un drone volant de manière autonome dans une forêt), il faudra augmenter encore la performance des capteurs et des moyens de calculs. Ce verrou technologique ne va donc probablement pas s'évanouir d'un coup comme par magie, mais plutôt graduellement au fil des passages de jalons technologiques.

Autres fins observateurs de l'épopée récente, les économistes E. Bryjolfsson et A. Mc Afee résumant la situation dans cette formule frappante : « *Computers are good at following rules, but lousy at pattern recognition* ». Ils nomment cela le *paradoxe de Moravec*.



par Frédéric Tatout

■ **CHARGÉ DE MISSION AUPRÈS DU DIRECTEUR CENTRAL DE LA SIMMAD** (structure intégrée de maintenance des matériels aéronautiques de défense)

Chercheur au CEA puis architecte à la DGA, Frédéric Tatout a été, au sein du ministère de l'industrie, en charge de thématiques clé du développement des usages numériques, notamment la SSI, la confiance et les RFID.

Depuis 2012 il anime des projets d'amélioration de la performance du MCO aéronautique au sein de la SIMMAD.



Baxter à l'œuvre (photo du site de l'entreprise Rethink Robotics, qui le développe)



Des robots et objets androïdes d'aspect rassurant pour favoriser les ventes (CES, Las Vegas, 2015)



des robots dotés de moyens de perception qui leur donnaient une certaine autonomie (robots marcheurs, robots industriels avec capteurs optiques, etc).

Une décennie de plus, et la miniaturisation de l'électronique permettait l'émergence d'une troisième génération, celle des robots « dotés d'intelligence » au sens où ils sont capables « d'apprendre » (modifier leur programme). Cela représente une extension d'autonomie considérable. Mais du coup, leur comportement n'est plus déterministe, leur fiabilité devient questionnable. D'où un doute sérieux sur la qualité de leurs résultats et leur sûreté, source d'un débat vigoureux sur l'IA depuis les années 90, qui se greffe sur d'autres, plus anciens au regard notamment de leurs retombées économiques.

Ces débats sont actuellement amplifiés par une vague impressionnante de progrès, liée à l'explosion des financements dans ce domaine ; par des incertitudes fortes sur les retombées économiques et les capacités réelles et supposées des robots, au présent et dans un futur proche (cf. encart) ; et par les craintes que peuvent inspirer certaines réalisations impressionnantes, qui s'amalgament avec une méfiance envers les objets connectés. Deux exemples de la variabilité des perceptions des acteurs économiques :

- cela fait trois ans que le patron de Foxconn annonce qu'il « va équiper massivement ses chaînes de production cette année ».
- en 2013, les achats de robots industriels par les entreprises françaises ont baissé de 27% par

rapport à 2012, et sont deux fois moins élevés que ceux des entreprises italiennes¹, n'en déplaie aux partisans d'un sursaut national à cet égard (cf. rapport Gallois).

Et voici qu'apparaît Baxter, un robot capable d'apprendre des tâches réputées infaisables jusqu'alors, après avoir été initié dans les gestes à réaliser par un opérateur humain. Non content de jeter un pavé dans la mare du paradoxe de Moravec (cf. encart), il alimente, vu son prix modique (25 000 \$), la réflexion (voire la polémique) sur le marché du travail, même aux Etats-Unis². Une chose paraît claire : derrière les débats parfois houleux, pointe la faiblesse de nos repères et de notre vision collective. Notre société peine à appréhender l'évolution prochaine des capacités des robots et leurs conséquences. Quoi de surprenant, vu les difficultés actuelles des experts pour se mettre d'accord sur les performances des technologies actuelles ?

L'idée que l'homme se fait du robot influence la robotique, et réciproquement

Depuis le mythe de Prométhée revisité par l'écrivain tchèque Karel Capek, inventeur du mot robot en 1920, la littérature et le cinéma ont oscillé sur ce thème entre des périodes pessimistes (années 20 et 30) et d'optimisme (C.K. Dick, années 60), en générant un corpus important de scénarii et d'idées sur un futur possible.

Les « trois lois » de la robotique d'Isaac Asimov ont certes instauré un immense ressort dramatique,

que d'autres ont exploité après lui. Dans la perspective de l'avènement d'une véritable capacité d'apprentissage autonome, postulé par Moravec autour de 2020, elles ont aussi inspiré de nombreuses vocations.

Les robots restent fascinants et sujet à débats, surtout lorsqu'ils sont perçus comme androïdes. C'est pourquoi le président de Samsung Electronics considère que les robots se diffuseront d'autant plus facilement dans les foyers « qu'ils seront perçus comme parfaitement inoffensifs »³. Cette vague annoncée s'appuiera sur des objets dont l'aspect extérieur sera délibérément éloigné de la forme humaine.

Vers une nouvelle ère économique et politique ?

Au-delà de la polémique sur les drones tueurs, d'autres débats politiques surgiront inévitablement lorsque les robots évolués seront largement diffusés dans nos maisons, voire avant. On verra peut-être se développer un droit de la protection des robots, comme le réclament certains universitaires Américains. Aristote, avec ses principes sur l'esclavage, par exemple, apportera peut-être un éclairage utile...

Il serait intéressant d'alimenter la réflexion par les mythes et les romans de robots et figures androïdes, à l'instar d'une étude réalisée dans les années 80 par un panel de chercheurs en sociologie et en télécommunications, relativement méconnue mais qui fait encore sens, mais aussi sur une lecture renouvelée des grands classiques. 📖

1) Cf. International Federation of Robotics (basé à Francfort).

2) Robotics Business Review, 18/02/2014, article intitulé How robots will shape future employment & labor law : " It is estimated that by 2025, half of the jobs in the United States will be performed by brilliant machines and intelligent systems ". Élément repris par le n°440 de L'humanité dimanche daté du 10 décembre 2014, qui titrait : « Faut-il avoir peur des robots ? Un emploi sur deux remplacé par une machine en 2025 ».

3) BK. Yoon, lors de son allocution d'ouverture du CES de Las Vegas le 6 janvier dernier.

TOUJOURS PLUS
SÛR

Leader mondialement reconnu du secteur aéronautique et spatial – et doté des produits les plus innovants du marché, à l'image de l'A400M ultra polyvalent – nous sommes dans une position idéale pour relever les défis qui se présentent à nous et offrir à nos clients dans le monde entier des solutions qui répondent à leurs besoins de sûreté. Visitez www.airbusgroup.com

Airbus Group. We make it fly.*

*Nous faisons voler.

ARBUS GROUP

**L'AGGLOMÉRATION DE BOURGES :
UNE TRADITION D'INDUSTRIE
AÉRONAUTIQUE & DÉFENSE**

- Une présence militaire historique
- Un savoir-faire reconnu
- Des grands groupes à dimension internationale
- Un tissu de PME-PMI de haute technologie
- Une recherche diversifiée
- L'innovation encouragée
- Une technopôle spécialisée dans la prévention des risques

POUR TOUT RENSEIGNEMENT :

Florence THOMI-KYRBE
f.thomi-kyrbe@bourgesplus-developpement.fr
02 48 67 61 24

BOURGES PLUS
COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION

MBDA / Hordier / Safran / Ebarita / Fizeau / Pôles Déplacements & automobiles / ENSIB / PRISME / Base aérienne d'Avord / LEES / LABEP / GETMA-DERTIQ / BG AERO / SEOD Tract / Cogit Composites / ASB / Ecole Nationale / DGA / Techniques avancées / Michelin...

SYSTÈMES INTELLIGENTS ET CONDUITE DE PROGRAMME

UNE ÉVOLUTION TECHNIQUE QUI INDUIT DES CHANGEMENTS ORGANISATIONNELS

Pour être capables de traiter des situations nouvelles, les robots et plus généralement les systèmes intelligents font appel à des techniques d'apprentissage automatique. Celles-ci représentent un défi à la spécification puisqu'il s'agit par définition de traiter des situations qui ne sont pas intégralement prévisibles. Il existe cependant des solutions pour mesurer objectivement de telles capacités. Ces solutions, déjà éprouvées dans certains domaines d'application, impliquent une organisation adaptée mais sont facteurs de progrès rapides.

Les robots autonomes et plus généralement les systèmes intelligents représentent un enjeu industriel, commercial et de société majeur. Définir et mesurer leurs capacités est essentiel, que ce soit pour faire progresser la recherche et orienter les développements, pour acheter en connaissance de cause, ou encore garantir leur fiabilité et leur sécurité. Ce n'est cependant pas chose aisée.

En effet, ces systèmes font appel à des techniques d'apprentissage automatique qui leur confèrent

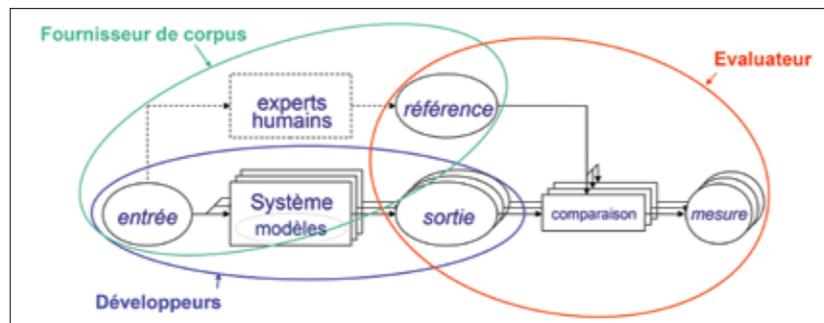


Schéma d'organisation d'une campagne d'expérimentation de systèmes intelligents : Les systèmes traitent des données et leurs sorties sont comparées par un tiers évaluateur à des sorties de référence produites par des experts humains. Cette production de données de test est souvent gérée par un acteur spécialisé qui produit aussi des données d'apprentissage. Différents systèmes peuvent être comparés sur les mêmes données d'entrée avec des sorties de référence et une métrique communes.

des capacités de généralisation et leur permettent, à partir de l'analyse d'un nombre fini de situations correspondant à l'expérience du système, de traiter une variété infinie de situations nouvelles auxquelles ils peuvent être confrontés. Ces techniques permettent ainsi de dépasser les limitations de modèles purement analytiques. Mais cette puissance de représentation accrue n'est pas sans conséquences sur la démarche de développement et notamment d'évaluation de tels systèmes.

Tout d'abord, comme pour tout système complexe, montrer la capacité de tel ou tel modèle à offrir une fonctionnalité donnée ne saurait reposer uniquement sur des preuves formelles et doit recourir à l'expérimentation. Cela rejoint la boutade attribuée au concepteur des premiers tests de développement intellectuel, qui à la question de définir l'intelligence aurait répondu « C'est ce que mesurent mes tests ! ». Mais pour que cette démarche pragmatique reste scientifique et en particulier que les expérimentations soient reproductibles, il faut définir des objectifs de développement mesurables et mettre en place des

données et des protocoles de test quantitatifs et transparents. C'est une tâche à la frontière entre recherche et assistance à maîtrise d'ouvrage qu'il est tentant de négliger. Mais c'est en fait un investissement essentiel à la qualité des développements.

De plus, si les données de test sont connues à l'avance, les mesures risquent d'être biaisées. Celles-ci doivent donc être effectuées sur des données nouvelles, inconnues du système et de ses développeurs, et l'investissement dans la production de données de test pour un objectif de recherche donné doit être renouvelé à intervalles réguliers tant que l'objectif reste visé. Cela suppose aussi que la production et la mise à disposition des données de test soient faites par un tiers.

Inversement, si les données de test ne sont pas publiées et analysées par les développeurs, la démarche scientifique et les progrès associés s'en trouvent fortement bridés. Cet impératif, combiné avec celui de conduire les tests en aveugle comme mentionné précédemment, impose donc que l'ensemble des mesures soient faites sur une période bornée et

relativement courte, avant laquelle les données de test sont inconnues des systèmes et après laquelle l'analyse et l'exploitation des résultats peuvent se faire librement. Autrement dit, les mesures doivent être faites de manière synchronisée sous forme de campagnes impliquant l'ensemble des équipes de recherche concernées par l'objectif scientifique visé. En résumé, évaluer des systèmes doués d'apprentissage de manière rigoureuse, comparable et non biaisée suppose une organisation relativement élaborée. Pour chaque objectif scientifique ou technique donné, il faut définir un protocole de mesure commun à l'ensemble des équipes de développement visant cet objectif, disposer d'un tiers qui produit un environnement de test mettant en œuvre ce protocole, et organiser des campagnes d'expérimentations synchronisées impliquant tous les acteurs. Ce type d'organisation est souvent appelée « campagne d'évaluation ».

Cette organisation est bien connue dans le cas où les systèmes doués d'apprentissage sont humains : C'est celle des examens d'étudiants ! Elle l'est beaucoup moins dans le cas des systèmes artificiels. En effet, tant qu'elle n'est pas en place, le besoin de disposer d'un tiers aux missions particulières n'apparaît pas clairement, et tant que ce tiers n'existe pas, elle ne peut pas se mettre en place. De plus, son financement dépend du soutien d'un acteur qui a intérêt à voir la technologie progresser dans son ensemble, typiquement une agence de financement de la recherche dans le cas de technologies génériques.

Cependant, l'analogie avec les examens est productive et permet de comprendre simplement les enjeux. De même que l'éducation ne se résume pas aux examens mais que ceux-ci en sont une composante extrêmement structurante, le développement de systèmes intelligents ne se résume pas à l'organisation de campagnes d'expérimentation mais celles-ci sont essentielles à la structuration d'une filière technologique.

Une autre analogie intéressante est celle de la mise en place de la métrologie dans d'autres disciplines. Chaque discipline expérimentale qui émerge appelle la mise en place d'une métrologie, et qui à son tour soutient l'émergence de la discipline. De même que la lunette astronomique a permis à l'astronomie de basculer dans l'époque moderne et que la création du système métrique est une étape majeure de la physique, la mise en place d'une organisation adaptée pour mesurer expérimentalement avec la rigueur nécessaire les capacités de systèmes intelligents est centrale dans la structuration de la discipline scientifique et des filières techniques et industrielles correspondantes.

Où en est-on aujourd'hui ? L'Europe est bien moins



© D. Dufourd et A. Dalgarrondo, SPIE Aerosense 2003
Exemple de donnée d'entrée image annotée avec la sortie attendue du système (lignes blanches en surimpression) pour mesurer automatiquement les performances de systèmes de détection automatique de bord de route

avancée que les États-Unis (cf. encart). Cela s'explique en grande partie par la prééminence dans le financement de la recherche américaine des programmes de défense et donc l'utilisation courante de la commande publique, qui offre un effet d'entraînement extrêmement important. On peut cependant souligner la bonne place de la France en Europe. Par ailleurs, l'adoption de la démarche se fait domaine par domaine. C'est en effet une question d'opportunité, car sa mise en œuvre est soumise à des conditions qu'il n'est pas toujours évident de réunir. Il est cependant intéressant de noter que, bien qu'elle suscite parfois un scepticisme a priori, ceux qui en font l'expérience l'adoptent rapidement et ne veulent ensuite plus revenir en arrière.

Dans le domaine de la robotique, les moyens de reproduire les expériences de manière rigoureusement comparable sont encore rarement mis en œuvre. Il existe bien des compétitions où différentes équipes s'affrontent ou se confrontent à un objectif commun,

comme celles organisées par la DARPA pour le véhicule autonome (Grand Challenge et Urban Challenge, 2004-2007) et pour la robotique humanoïde (*Robotics Challenge, 2015*) ainsi que le défi CAROTTE (Cartographie par RoBoT d'un Territoire) organisé par la DGA en partenariat avec l'ANR (2009-2012). C'est d'ailleurs un outil de management et de motivation essentiel qui permet d'entretenir les échanges entre équipes. Cependant, il faudrait mettre en place de manière plus systématique des bases de données et métriques communes permettant de mesurer quantitativement et automatiquement les performances des différentes fonctionnalités visées, à l'instar de la campagne d'évaluation sur la détection de bords de routes pour la robotique terrestre conduite par la DGA au début des années 2000, pour laquelle une base d'environ 20 000 images annotées manuellement a été produite (voir illustration).

Plusieurs signes laissent envisager que la situation pourrait évoluer rapidement. Aux États-Unis, le *National Institute of Standards and Technology* (NIST) investit massivement dans la mise en place d'infrastructures d'évaluation des systèmes robotiques. En Europe, le besoin de mesures objectives en robotique autonome commence à être exprimé largement. En France, le Laboratoire National de métrologie et d'Essais (LNE) est impliqué dans la réflexion sur la sécurité des véhicules autonomes. La configuration actuelle offre ainsi des opportunités nouvelles pour renforcer la structuration d'une filière essentielle pour l'avenir. 🤖

Situation actuelle par domaine et par pays

La situation dépend du domaine scientifique et technologique. Les communautés où la méthodologie est la plus mûre sont celles de la reconnaissance automatique des contenus multimédias (reconnaissance de la parole, traitement du langage, traduction automatique, reconnaissance de l'écriture, de documents numérisés, d'images, de vidéos, ...). Les premières campagnes sont en effet apparues dès le milieu des années 1980 dans le cadre d'un programme américain de la DARPA¹ en reconnaissance automatique de la parole, grâce à quelques pionniers mais aussi dans un contexte particulier marqué par des critiques sur le manque de validité scientifique des travaux antérieurs dans le domaine. Elles se sont ensuite progressivement propagées aux domaines connexes.

La situation dépend aussi beaucoup du pays dans lequel on se trouve. Elle est sans conteste la plus avancée aux États-Unis, où le NIST emploie plus d'une cinquantaine de personnes organisant des campagnes d'expérimentation, principalement au profit de programmes de la DARPA et de l'ARPA², et où le nombre de programmes concernés se chiffre en dizaines. En Europe, l'organisation de campagnes repose avant tout sur la motivation individuelle de quelques chercheurs, excepté en France, où le LNE a une équipe d'une demi-douzaine de personnes, qui travaille notamment au profit d'études amonts DGA et au sein de l'institut de recherche technologique SystemX du Programme d'investissements d'avenir (PIA). Dans le reste du monde, seul le Japon dispose aussi d'une équipe dédiée, au National Institute of Informatics (NII).

1) Defense Advanced Research Projects Agency
2) Intelligence Advanced Research Projects Agency

LA ROBOTIQUE DÉVELOPPEMENTALE S'INSPIRE DES ENFANTS POUR RENDRE LES ROBOTS ADAPTABLES

La robotique développementale s'inspire de travaux en biologie et en psychologie du développement humain pour jeter les bases de nos futurs robots. Destinés à des tâches complexes, ils devront être capables de percevoir et d'interpréter une immense variété de situations et d'apprendre au contact direct des humains sans passer par l'intervention de spécialistes.

Les capacités des robots de service commercialisés restent encore limitées, et ils sont donc cantonnés à des tâches simples telles que le nettoyage des sols. Cependant, des robots plus complexes tels que *Pepper*, d'Aldebaran Robotics, arrivent sur le marché. Ces modèles ont un rôle social et présentent un intérêt essentiellement dans le cadre des interactions qu'ils pourront engager avec leurs utilisateurs. L'un des défis importants concernant ces robots est donc de fournir des interactions riches et renouvelées afin d'intéresser leur propriétaire. A moyen terme, des versions plus évoluées de ces robots devraient pouvoir améliorer la qualité de vie de personnes âgées ou dépendantes. Ils permettront à ces personnes de rester autonomes quelques années de plus en assurant une forme de surveillance et d'assistance pour des gestes simples du quotidien.



par **David Filliat**, ICA

■ **PROFESSEUR À L'ENSTA PARISTECH**

David Filliat (X94) est docteur en robotique. Après 4 ans comme expert en robotique et microdrones à la DGA, il est désormais Professeur à l'ENSTA ParisTech, responsable de l'équipe de Robotique et Vision.

L'enjeu des interactions sociales en robotique

Pour ces robots domestiques, mais aussi pour les futurs robots industriels, l'aspect social, c'est-à-dire la capacité d'interaction avec les humains, est primordial. Ceci se traduit d'un point de vue mécanique par une autonomie de déplacement, la capacité de saisir, de manipuler des objets tout en garantissant la sécurité des utilisateurs. Mais cela pose surtout des problèmes logiciels car ils devront intégrer des capacités de perception et d'interprétation des situations largement supérieures à ce qui existe aujourd'hui. Ils devront par exemple pouvoir détecter des objets, des visages, interpréter les expressions et les gestes des hommes. D'une manière générale, ils seront contraints de « comprendre » les situations complexes caractéristiques de l'environnement quotidien des humains. De plus ces capacités devront être évolutives : il leur faudra apprendre à reconnaître de nouveaux objets, de nouvelles personnes, réaliser de nouvelles tâches. Tout cela devra se faire de manière simple et intuitive pour le possesseur du robot, sans demander l'intervention d'un spécialiste à chaque nouveau besoin.

Les clés de l'apprentissage

Pour permettre une telle adaptation, le robot devra posséder une capacité d'apprentissage à la fois souple et performante. C'est ce que se propose d'étudier la robotique développementale. Son principal objectif est de concevoir des robots qui sont capables d'apprendre, pendant toute leur existence, de nouveaux savoirs et de nouvelles compétences dans le cadre de leurs interactions avec des utilisateurs non spécialisés. Cette dernière précision est im-

portante car il s'agit non pas de permettre à des personnes de programmer de nouveaux comportements, mais d'enseigner des choses au robot, comme on le fait pour un enfant.

La robotique développementale propose précisément de s'inspirer pour cela de l'enfant. Les travaux concernant le développement et l'apprentissage chez l'homme remontent à des précurseurs comme Jean Piaget, et il en existe une immense variété, allant des études du comportement jusqu'à l'analyse des structures du cerveau. De nombreuses études montrent en particulier que le processus de développement et de maturation psychomotrice est crucial pour permettre à l'enfant d'apprendre des comportements de plus en plus complexes, partant de l'apprentissage de tâches simples.

Robotique, apprentissage et intelligence artificielle

L'idée de concevoir des robots capables d'apprendre n'est pas nouvelle. Ainsi Alan Turing, dès 1950, proposait de tenter de concevoir des robots capables d'apprendre comme des enfants, avec l'espoir qu'il serait plus simple de concevoir ces mécanismes d'apprentissage que de reproduire directement l'intelligence de l'humain adulte. De nombreux travaux d'intelligence artificielle se sont ensuite appliqués à la robotique. Des chercheurs, comme Rodney Brooks dans les années 90, ont insisté sur l'importance de l'incarnation, de l'interaction avec l'environnement et de l'apprentissage pour développer des robots efficaces.

De très nombreuses recherches ont également été menées sur différentes méthodes d'apprentissage appliquées à la robotique. Cependant, dans la plupart des cas, l'apprentissage demande la création de bases de données



Robot humanoïde de l'ENSTA ParisTech au cours d'une expérience d'apprentissage d'objets par manipulation.

d'exemples, ou la préparation de conditions très particulières ; faire apprendre une tâche à un robot demande souvent autant, voire plus de travail au concepteur que la programmation directe. Les méthodes permettant à un robot d'apprendre plusieurs tâches différentes sans une reconfiguration profonde du système, ou en interaction directe, sont rares.

Interpréter progressivement un environnement

La capacité à interpréter son environnement et à en reconnaître les différents éléments

est un exemple de sujet traité en robotique développementale, sur lequel nous travaillons dans notre équipe à l'ENSTA ParisTech. Il existe aujourd'hui de très nombreux algorithmes de traitement d'image, utilisant de plus en plus souvent l'apprentissage, qui permettent de reconnaître des objets, des visages, ou des lieux dans une ville. Cependant, ces algorithmes sont tous développés spécifiquement pour réaliser une tâche et lorsque qu'ils utilisent l'apprentissage, ils requièrent des bases de données adaptées. A l'inverse, l'homme semble disposer d'une capacité générique pour reconnaître sans efforts tous ces éléments de son environnement. Nous développons donc des approches qui permettent de caractériser l'apparence de très nombreux éléments de l'environnement puis de les identifier en utilisant les capacités du robot à agir, notamment à manipuler les objets. Cette manipulation permet, comme pour l'enfant, d'améliorer les modèles de l'objet et d'obtenir des informations multi-modales telles que sa dureté ou le bruit qu'il fait en mouvement. Nous tirons aussi parti de l'in-

teraction avec l'humain et du langage afin d'améliorer progressivement les capacités de reconnaissances d'objets.

Une problématique système

Ainsi, les défis de la robotique développementale demandent de créer de nouveaux algorithmes d'apprentissage qui soient par exemple incrémentaux et stables dans le temps, mais qui se placent aussi et surtout au niveau système. Elle s'intéresse, par exemple, au développement des représentations efficaces et évolutives qui soutiendront l'apprentissage. Elle développe aussi des méthodes d'exploration pour l'acquisition des informations nécessaires à l'apprentissage ou des méthodes d'interaction avec l'humain qui permettent au robot d'apprendre mieux et plus rapidement. Loin de tirer un trait sur toutes les avancées obtenues en robotique et en informatique, la robotique développementale propose donc une reformulation de certains objectifs et une approche système et pluridisciplinaire de la robotique. ☞

Le développement cognitif de l'enfant au stade pré-verbal, selon Jean Piaget (1896-1980).

C'est parallèlement à ses études sur l'adaptation de mollusques, à une époque marquée par des débats intenses sur l'évolution animale, que Jean Piaget développe ses thèses sur l'intelligence.

Dans « *La naissance de l'intelligence chez l'enfant* » (1936), Piaget soutient que *l'intelligence de l'humain constitue un cas particulier de l'adaptation biologique* : « *tout comme l'organisme s'adapte en construisant matériellement des formes nouvelles (...), l'intelligence prolonge une telle création en construisant mentalement des structures susceptibles de s'appliquer à celles du milieu* ».

Jean Piaget décrit comment, « *au cours de premiers dix-huit mois, il se produit une véritable révolution copernicienne : le corps de l'enfant n'est désormais plus le centre du monde, mais un objet parmi d'autres qui sont maintenant en relation entre eux, soit par des liens de causalité, soit par des rapports spatiaux, le tout dans un espace cohérent qui les englobe* » (Piaget, Mes idées, 1977). Il modélise ce travail intense de maturation de l'intelligence au stade pré-verbal, en 6 étapes successives :

- **premier mois** : le réflexe inné, destiné à remplir une fonction spécifique (alimentation par exemple : l'enfant suce indifféremment tout ce qu'on met dans sa bouche) ;
- **1 à 4 mois** : le réflexe se modifie pour remplir d'autres fonctions, l'enfant répète de manière intentionnée un premier résultat obtenu pour la première fois par hasard, et qui a été source de plaisir (par exemple la succion devient moyen d'appréhender les objets) ;
- **4 à 8-9 mois** : une différenciation entre le sujet et l'objet s'opère, le lien de causalité apparaît ;
- **8-9 à 11-12 mois** : l'enfant choisit des moyens appropriés pour parvenir à l'objectif qu'il s'est fixé ;
- **11-12 à 18 mois** : l'enfant découvre des moyens d'action nouveaux, non plus par hasard, mais par expérimentation active (par exemple, il gradue les mouvements dans le but d'en étudier la nature) ;
- **18 mois à 2 ans** : étape de transition, qui voit apparaître chez l'enfant la capacité à conférer aux objets des significations s'appuyant sur ses expériences.

Parce qu'elle se fait à travers ses sens, son action et ses déplacements, Piaget nomme cette phase fondamentale du développement de l'intelligence humaine, la **période sensori-motrice**.

APPRENDRE POUR ÊTRE ENCORE PLUS HUMANOÏDE

POUR DEVENIR UN PARFAIT COMPAGNON DE NOTRE QUOTIDIEN, LE ROBOT DEVRA PASSER SA « VIE » À APPRENDRE

Pour sortir des laboratoires où ils sont aujourd'hui cantonnés et venir s'installer chez nous, les robots humanoïdes vont devoir apprendre à nous connaître pour nous proposer les bons services au bon moment et s'adapter à nos habitudes de vie. Cette capacité d'apprentissage, qui couvre un spectre très large de sujets qui seront évoqués ici, est une composante essentielle pour l'acceptabilité de ces nouveaux objets technologiques.

Aldebaran développe des robots humanoïdes dont la vocation est de devenir des robots compagnons de notre quotidien. Depuis 2008, la société créée en 2005 par Bruno Maisonnier dans les locaux de l'incubateur de l'ENSTA, commercialise le robot Nao pour le marché académique : cette plate-forme humanoïde est fournie avec un environnement de développement qui permet aux chercheurs et aux enseignants de mettre en œuvre leurs recherches ou de développer des outils pédagogiques adaptés à tous les niveaux. Mais le grand marché de la robotique de service, celui de la robotique personnelle,

est à venir. Le robot humanoïde y a une place particulière à jouer : son apparence en fera naturellement le point d'entrée incontournable de la communication des membres du foyer avec tout le monde numérique (Internet, objets connectés, domotique...). En juin 2014, Aldebaran a présenté, avec son partenaire Softbank, le robot Pepper, un robot d'accueil du grand public dans les boutiques de Softbank. Engendrant 50 % d'augmentation du trafic dans les boutiques équipées du robot, cette expérience conforte l'idée que les consommateurs sont prêts à faire une place à de tels robots dans leur environnement quotidien. Mais pour bien profiter de cette place, les robots doivent s'adapter aux attentes de leurs utilisateurs et pour cela, savoir apprendre ce que l'on attend d'eux.

Apprendre à connaître son utilisateur

Pour que notre robot domestique n'ait pas un comportement stéréotypé, il va devoir s'adapter à son utilisateur et la première chose qu'on attend de lui, c'est qu'il nous reconnaisse. Grâce à des techniques classiques d'apprentissage basées sur des corpus d'images annotés, les robots sont aujourd'hui capables de reconnaître, en utilisant leur caméra, si la personne en face d'elle est un homme, une femme, un enfant et même d'estimer son âge. Ils peuvent même reconnaître une personne qu'ils ont déjà rencontrée et stocker au fur et à mesure de leurs rencontres les informations la concernant (son nom, ses goûts, ses habitudes...). Toutes ces connaissances permettront au robot de

créer un lien plus intime avec son utilisateur et de lui proposer des services pertinents au bon moment (rappel de rendez-vous, proposition d'écoute d'une musique préférée, information sur des événements à venir...).

Mais la connaissance que les robots devront avoir de nous ira plus loin. Les logiciels de traitement d'images, exploitant des corpus de visage exprimant différentes émotions, permettent de détecter si la personne sourit, semble triste, fatiguée... Des travaux de recherche en cours portent également sur la détection de ces émotions dans la voix de la personne qui parle au robot. En recoupant ces informations, le robot sera capable d'estimer l'état émotionnel de son utilisateur. Et pour avoir la bonne attitude, il devra avoir une représentation de son profil psychologique : comment réagir quand une personne semble en colère ? Le robot doit-il prendre un profil bas pour attendre que la tempête se calme ou doit-il simuler une hyper réactivité pour partager la colère de « son » humain ? Pour avoir la bonne réaction, le robot devra donc apprendre à connaître son interlocuteur et, par des techniques d'apprentissage par renforcement, trouver, petit à petit la bonne attitude à adopter.

Apprendre des tâches

Une fois que notre robot nous connaîtra bien et saura nous apporter une assistance cognitive adaptée à la situation, il pourra aussi nous assister dans nos tâches quotidiennes comme ranger des objets ou même faire la cuisine. La programmation de telles tâches via des langages informatiques est possible mais ne sera



Les robots d'Aldebaran : Nao humanoïde de 58 cm de haut vendu à plus de 7 000 exemplaires dans les instituts de recherche et d'enseignement tout autour du monde ; Pepper, 1,20 m, disponible auprès du public japonais avant l'été 2015 est prévu entre autres pour l'accueil de visiteurs dans les magasins ; Romeo 1,40 m, plate-forme de recherche sur les technologies et les usages.

pas à la portée du plus grand nombre. Si l'utilisateur ne trouve pas, dans le catalogue des applications robotiques disponibles pour son robot, l'application dont il a besoin, il faudra qu'il puisse montrer au robot la tâche qu'il veut

lui confier et que le robot puisse la comprendre suffisamment pour pouvoir la refaire tout seul, à la façon dont on peut créer des macros Excel en faisant la tâche une fois. Dans le cadre du projet *RoboHow*, la société Aldebaran travaille

avec des laboratoires européens à doter un robot humanoïde de la capacité à apprendre à faire la cuisine. En allant chercher, et interpréter, des recettes sur Internet, le robot connaît les ingrédients et le processus nécessaire à la réalisation de *pancakes* mais les gestes techniques (battre les œufs, verser la pâte dans la poêle, retourner le *pancake*) doivent être enseignés au robot par l'exemple. Un cuisinier prend la main du robot et lui montre le bon geste et le robot retient non seulement le geste mais aussi le contexte de ce geste (il faut remuer le fouet dans le saladier où sont les ingrédients et verser la pâte au-dessus de la poêle). Ces techniques d'apprentissage vont révolutionner la façon dont nous programmons ces machines complexes que sont les robots et permettront au plus grand nombre de les utiliser de la façon la plus intuitive et la plus efficace possible.

Mais même si les robots apprendront de plus en plus de choses de façon autonome, nous aurons toujours la responsabilité de ce que nous leur enseignons. A la différence d'un enfant devenu grand qui fait ce qu'il veut de l'éducation qu'il a reçue de ses parents, le robot ne fera toujours ce que son utilisateur lui a appris à faire. 🐼



par Rodolphe Gelin

DIRECTEUR DE LA RECHERCHE CHEZ ALDEBARAN

Après une carrière de 20 ans au CEA, Rodolphe Gelin a rejoint la société Aldebaran Robotics fin 2008 pour s'occuper des projets de recherche collaborative et notamment du projet Romeo qui vise à développer un robot humanoïde d'assistance aux personnes âgées.

ROBOTICS DAYS

LE PLAN INDUSTRIE ILE-DE-FRANCE : ROBOTISER POUR NE PAS DÉLOCALISER

Les 3 et 4 juin 2015 prochains, le centre des congrès d'Orly accueillera une convention d'affaires baptisée « **ROBOTICS DAYS** ». Subventionnée dans le cadre du Plan Industries Ile de France, il s'agit de la deuxième édition d'une conférence B2B tournée vers l'automatisation, la robotisation industrielle et de service et vers l'usine du futur. Bien loin du phénomène de mode, cette initiative témoigne de l'importance que prend le sujet du niveau national jusqu'à l'échelon régional. Un marché estimé à 100 milliards d'euros en 2020 par la Commission Européenne, multiplié par 30 en 10 ans, il faut dire que c'est parlant.

Que ce soient aux niveaux européen, national ou régional, les initiatives pour soutenir la filière robotique se multiplient. Dans une

approche multi-filières et multi-marchés, les « *industries days* » regrouperont à vrai dire 6 conventions d'affaires les 3 et 4 juin : Robotics days, Electronics Days, Embedded Days, Mechanics Days, Mechanotrics Days, Materials Days. Dans ces 6 domaines qui ne sont d'ailleurs pas cloisonnés, la région Ile-de-France souhaite fertiliser ce qu'elle voit comme des leviers de croissance. L'organisation de cet événement professionnel est un outil parmi d'autres pour structurer la filière, soutenir les PMI de la région et développer l'export. Facteur clé de compétitivité et de maintien des sites industriels en France et en Europe, les Robotics Days ambitionnent de rassembler environ 800 participants. Organiser une convention d'affaires rassemblant les acteurs de la filière industrielle ro-

botique constitue un événement majeur qui remplit plusieurs objectifs :

- valoriser le tissu industriel, les capacités d'ingénierie et de production franciliennes, en complémentarité et en appui des projets d'innovation des pôles de compétitivité ;
- diffuser l'image de marque de l'industrie francilienne au plan national voire européen ;
- décloisonner les filières (automobile, aéronautique, etc...) en mobilisant des compétences transversales à l'ensemble des industries (électronique et systèmes embarqués, la mécanique, mécatronique, matériaux et robotique) ;
- associer les pôles de compétitivité de la Région. 🐼

DES ROBOTS QUI COOPÈRENT ENTRE-EUX !

par Magali Barbier, Martial Sanfourche, Yoko Watanabe, Charles Lesire, Philippe Bidaud, ONERA

La robotique est née à la fin des années 60 des travaux menés à l'université de Stanford visant à constituer des machines douées d'« intelligence artificielle » leur conférant ainsi des facultés d'adaptation face à des environnements dynamiques et des informations incomplètes ou incertaines. Ces capacités d'adaptation constituent une dimension essentielle des agents robotiques. Elles doivent leur permettre d'une manière générale de donner une réponse fonctionnelle conforme et adéquate dans la situation observée, ceci par des ajustements physiques et/ou comportementaux.

Le tout premier robot capable d'adaptation fut *Shakey* qui pouvait effectuer des tâches nécessitant une planification de déplacements élémentaires dans un environnement simple. *Shakey* était équipé d'un ordinateur SDS-940 de 64 Ko de mémoire et était programmé en LISP. Aujourd'hui, des véhicules routiers complètement robotisés, capables de s'adapter à la complexité du trafic routier, sont à la porte du marché des transports individuels.

Les clés de l'autonomie fonctionnelle

Les facultés d'adaptation dont peut bénéficier aujourd'hui un robot peuvent conduire à une autonomie fonctionnelle relativement élevée. Celle-ci se traduit par une adaptation à l'environnement des fonctions de commande motrice à partir d'informations fournies par des moyens de perception (on parle alors de commande référencée capteur). Pour réaliser une tâche, les actions motrices sont structurées sous la forme d'un enchaînement de fonctions élémentaires par des algorithmes de génération de plans (planificateurs). La commande motrice intègre non seulement les propriétés dynamiques du système moteur mais aussi les tâches à réaliser sous la forme de buts (de consignes). Les fonctions sensori-motrices ainsi construites présentent une certaine réactivité aux perturbations. Elles s'appuient pour cela sur un niveau intégratif qui gère et planifie les activités motrices sur la base de certaines représentations du monde extérieur. C'est par

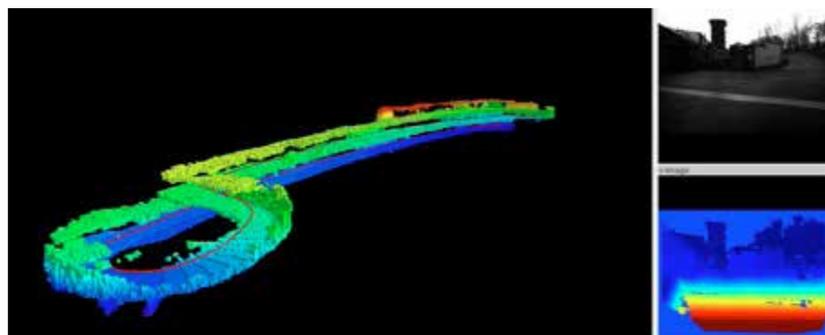


Fig. 1 : Reconstruction 3D d'un parking par le logiciel 3DSCAN de l'ONERA. Un algorithme de SLAM stéréo est combiné avec un algorithme de reconstruction stéréo dense (en bas à droite) et un modèle 3D global à base de voxels.

l'articulation de ce niveau de planification sur ces représentations des fonctions sensori-motrices que le système acquiert le pouvoir d'agir et non pas simplement de réagir. Il considère pour cela de manière prédictive, par projection et extrapolation sur des horizons différents, les effets des actions, et ainsi devient capable d'élaborer des projets d'action et de planifier leur exécution.

Par planification on comprend donc : proposer une organisation hiérarchisée des actions susceptibles de guider l'activité de l'agent vers un but (un mode opératoire pour résoudre un problème) mais également la mise en oeuvre de ce plan et son ajustement.

La synthèse d'activités motrices pour un robot, orientées par les tâches, est conditionnée par des contraintes intrinsèques au système et par celles de l'environnement. Elle peut être réalisée sous une forme générique en s'appuyant sur différentes techniques de commande, comme la commande prédictive. Ces

fonctions motrices s'appuient, comme nous venons de l'évoquer, sur diverses formes de perception embarquée. Aussi, un système robotique intègre-t-il un ensemble de capteurs dont les données capturées sont traitées à bord par des calculateurs embarqués pour élaborer une représentation de son état et de l'environnement. Ces informations sont ensuite utilisées par des algorithmes de commande référencée capteur ou par des boucles de niveau supérieur pour évaluer l'avancement dans la tâche et calculer les actions à réaliser pour progresser dans cette mission. On parle de boucle perception - action. Dans ce cadre, pour des évolutions en milieu extérieur, la localisation absolue par fusion INS (*Inertial Navigation System*)/GPS est souvent utilisée. Elle est cependant sujette à des problèmes de robustesse dus au masquage et aux multi-trajets des signaux GPS rencontrés en milieux urbains. Dès lors que les données GPS ne sont pas utilisées, la localisation du robot

dans son environnement peut être réalisée alternativement en combinant des mesures de capteurs proprioceptifs (centrales inertielles, odométrie) et des indices visuels perçus par des capteurs actifs (Lidar, caméra RGBD) ou passifs (banc stéréo, caméra monoculaire). - Ces techniques sont regroupées sous l'acronyme de SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*). Un exemple de trajectoire estimée par traitement d'images stéréo – le fil rouge – est présenté en Figure 1. De tels algorithmes sont évalués en terme de dérive en translation et angulaire dans le cadre du projet interne Copernic de l'ONERA. Les meilleurs d'entre eux assurent une dérive inférieure à 1 % de la distance réellement parcourue et des dérives angulaires ne dépassant pas 0,002 ° par mètre parcouru.

Pour définir ses mouvements, le système construit par ailleurs une représentation de l'environnement dans lequel il évolue. Grâce à une estimation précise de la trajectoire de l'engin, il est possible d'agrèger dans un repère commun les informations recueillies sur l'environnement au cours du temps. Si l'information est le plus généralement de nature 3D (carte de profondeur stéréo ou RGBD camera ou des nuages de points Lidar), elle peut également contenir une information structurée par objets d'intérêt du type dynamique de l'objet ou classe d'objets (voiture, piéton, arbre...). La Figure 1 illustre le résultat d'une chaîne de modélisation 3D d'environnement en ligne pour engins autonomes développées dans le cadre du projet Copernic. Les relevés 3D instantanés (fournis par le banc stéréo équipant l'engin) sont combinés dans un modèle à base de voxels dont la couleur code la hauteur par rapport au sol.

Etant donné l'état estimé de l'engin et la représentation géométrique courante sur l'environnement, des algorithmes de contrôle - commande permettent de planifier et d'exécuter les trajectoires optimales au sens de l'objectif de mission suivi. Celui-ci peut être de rallier un point de passage ou d'explorer l'environnement tout en évitant les obstacles. Dans tous les cas, l'objectif est traduit en termes de fonction de coût à optimiser dans l'espace de commande. Ce mécanisme est évidemment dynamique et les trajectoires sûres sont mises à jour régulièrement en tenant compte du modèle d'environnement reconstruit et de l'estimation de la trajectoire effectuée. L'ensemble de ces méthodes de planification de

trajectoires pour des missions dans des environnements complexes fait l'objet du projet interne ONERA Azur.

Ces niveaux « sensori-moteur » sont à inscrire dans une structure qui organise l'activité du robot sous une forme autonome. Le système fondateur STRIPS (*Stanford Research Institute Problem Solver*) utilisé pour le contrôle du robot Shakey a posé les fondations sur lesquelles repose encore aujourd'hui l'essentiel des travaux en planification classique.

Des algorithmes de planification déterministes et probabilistes simulant le raisonnement humain ont connu un essor considérable ces dernières années pour prendre en compte des actions à effets incertains et des préférences sur les buts. Les processus décisionnels de Markov (une approche séquentielle de la décision dans l'incertain) ont en particulier servi de base sémantique à certaines des approches proposées pour la planification dans l'incertain.

La coopération d'agents robotiques autonomes

Les problèmes de coopération d'agents robotiques, auxquels des plans explicites leur permettant d'accomplir leurs buts individuels sont fournis, ressemblent pour beaucoup à ceux de petits groupes d'individus, qui doivent coordonner leur activité et sont parfois amenés à négocier entre eux pour résoudre leurs conflits. Alternativement, des approches plus réactives considérant les agents intelligents individuellement, mais sans intelligence collective, permettent d'obtenir un comportement global émergent. On montre en effet que des mécanismes de réaction aux événements, ne prenant en compte ni une explicitation des buts, ni des mécanismes de planification, peuvent alors résoudre des problèmes qualifiés de complexes par simple interaction. L'ONERA explore à travers le PEA « Action » plusieurs voies de coopération entre des agents robotiques autonomes hétérogènes (drones aériens, terrestres, maritimes, sous-marins) pilotés par l'homme ainsi que des capteurs disséminés ou portés par l'homme. Les méthodes de planification développées visent à produire divers modules qui sont imbriqués suivant la mission considérée :

- stratégies d'exploration de zones : coordination de plusieurs engins autonomes et partage spatial de l'environnement, afin de couvrir au maximum une zone à explorer



Fig. 2 : Une mission de navigation d'un robot terrestre assistée par une cartographie aérienne : un exemple de scénario de coopération entre des drones de nature hétérogène.

en vue d'y détecter une ou plusieurs cibles. Ceci inclut la génération de stratégies d'exploration de sous-zones pour un seul engin autonome ;

- stratégies de communication : stratégies d'échange entre engins autonomes de leur connaissance propre de l'environnement et des actions qu'ils envisagent de réaliser. La communication entre deux engins n'étant pas assurée en permanence, les stratégies de communication impliquent la prise en compte de stratégies de déplacement relatif entre engins autonomes ;

- stratégies de suivi de cible : coordination de plusieurs engins autonomes afin de suivre une cible en mouvement. Ces stratégies multi-agents reposent sur les stratégies de déplacement de chaque engin autonome pour suivre la cible ;

- stratégies d'actions globales : actions devant être entreprises au plus haut niveau afin de réaliser une mission donnée. Ces stratégies utilisent tout ou partie des stratégies précédentes.

Les algorithmes de planification développés interviennent à deux niveaux dans le déroulement d'une mission :

- préparation de mission : les stratégies d'actions des engins autonomes sont pré-optimisées hors-ligne avant l'exécution de la mission, sur la base des connaissances sur l'environnement à ce moment-là ;

- replanification en cours de mission : les stratégies d'actions initialement pré-optimisées sont raffinées au fur et à mesure que les connaissances sur l'environnement évoluent ou lorsque des aléas surviennent en cours de mission.

Ces développements ont suscité des travaux plus amont réalisés dans le cadre d'un projet interne à l'ONERA, R2D2, dont le but est de développer des méthodes et des outils pour gérer le déploiement d'une équipe de robots hétérogènes pour des missions d'intervention (surveil-

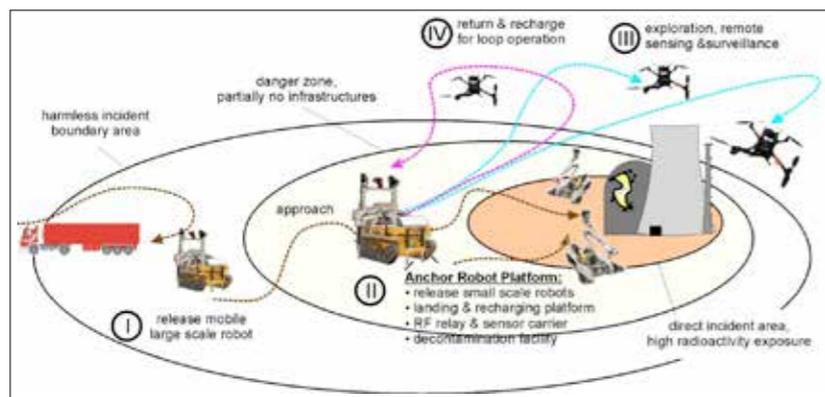


Fig. 3 : Exemple de scénario considéré dans le cadre du projet ANR ANCHORS mettant en œuvre un réseau de capteurs mobiles (embarqués sur des robots ou sur des drones) communiquant les mesures.

lance, cartographie, recherche et sauvetage), dans des milieux dynamiques et incertains, tout en apportant des garanties sur la performance et la sûreté du système global. Le projet considère en particulier le développement :

- des algorithmes pour la coopération de robots autonomes hétérogènes : ces outils permettent de synthétiser des plans flexibles,

conférant une robustesse à l'exécution et sont également utilisés pour réparer le plan en ligne lorsque des perturbations importantes empêchent son exécution ; la synthèse de ces plans ainsi que leurs réparations se font en respectant des contraintes, temporelles et spatiales, sur l'environnement, le système robotique, la mission à réaliser, et

- les performances à garantir pour le système ;
- des méthodes et des outils pour la définition et la mise en œuvre d'architectures logicielles embarquées modulaires et reconfigurables qui intègrent des mécanismes de gestion et d'adaptation du plan au niveau de chaque robot ;
- des outils pour analyser et garantir des performances sur l'exécution et la reconfiguration de ces architectures.

Une partie du middleware issu du projet R2D2 a été mis en œuvre dans le cadre du projet ANR ANCHORS. Ce projet vise à développer des moyens de déploiement de systèmes de gestion de crises exploitant des agents robotiques. Le cœur de ce système s'articule autour d'un réseau de communication regroupant des capteurs sans fil et des mobiles multimédia qui sont appuyés par une flotte de drones volants et communicants et une flotte de robots adaptés aux milieux hostiles (radioactivité, émanations chimiques ...).




SOFIRED est désormais une filiale à 100% du groupe Bpifrance

Le ministère de la Défense et Bpifrance ont créé par convention le Prêt SOFIRED-PME Défense

Ce prêt participatif finance le développement des PME de Défense

Votre contact :
Gaël Bleiecki
tél : 01 44 11 75 88
portable : 06 85 07 66 91
mail : gael.bleiecki@sofire.fr

@sofiredfr

Epifrance offre depuis le 1er janvier 2014 un financement bancaire sous forme de prêt participatif particulièrement adapté aux PME de plus de trois ans et financement saines dont l'activité est liée à la Défense, directement ou indirectement, pour financer en partenariat (cofinancement) :

- des projets de croissance (développement, acquisition) ou de transmission, porteurs d'emplois durables ;
- et en particulier des investissements matériels et immatériels, le besoin en fonds de roulement, des achats d'office, des acquisitions de titres et des remboursements de comptes courants (en cas de reprise).

Ce prêt participatif de 100 K€ à 1 M€ à taux fixe sur une durée de 7 ans, avec 2 ans de délai d'amortissement du capital, apporte les avantages suivants :

- des capitaux propres renforcés, un meilleur effet de levier ;
- non diluit, l'entrepreneur préserve son indépendance ;
- aucune garantie personnelle ni sûreté exigée ;
- cumulable avec toute autre intervention en financement ou en garantie de Bpifrance.

Le prêt SOFIRED-PME Défense est disponible sur un mini site internet dédié :
<http://sofired.bpifrance.fr>




ENVIE D'UNE
FORMATION
INNOVANTE ET
QUALIFIANTE ?

VENEZ VOUS FORMER EN
ROBONUMÉRIQUE À
SAINT-QUENTIN, CAPITALE
DE LA HAUTE-PICARDIE.

WWW.ROBONUMERIQUE.FR



**SAINT-QUENTIN, TERRITOIRE D'EXCELLENCE
DE LA ROBONUMÉRIQUE**







QUELLE POLITIQUE INDUSTRIELLE POUR LA ROBOTIQUE ?

LA ROBOTIQUE FACTEUR DE COMPÉTITIVITÉ DE L'INDUSTRIE ET DES SERVICES

Portée par un marché estimé à 100 milliards d'euros à l'horizon 2020, la robotique est au cœur de la compétitivité de l'industrie et des services et un élément déterminant de la réponse à de nombreux défis sociaux. Le plan robotique mis en place par le gouvernement en 2013 et piloté par M Bruno Bonnell, vise à structurer cette filière, à développer l'offre dans le domaine de la robotique et à favoriser l'équipement des PME en robots.

La robotique représente une opportunité majeure pour l'amélioration de la compétitivité de nos entreprises, mais aussi pour répondre aux enjeux de société dans des domaines tels que l'éducation, la mobilité, la sécurité, la santé ou le vieillissement de la population. Le marché mondial de la robotique est estimé à 100 milliards d'euros à l'horizon 2020. Cette révolution robotique, ou « robotisation », est une composante essentielle de l'industrie et des services du futur.



par Benjamin Gallezot, ICA

ADJOINT AU DIRECTEUR GÉNÉRAL DES ENTREPRISES MINISTÈRE DE L'ÉCONOMIE, DE L'INDUSTRIE ET DU NUMÉRIQUE

Après 10 ans à la DGA, Benjamin Gallezot a été notamment conseiller pour les affaires industrielles au cabinet du ministre de la Défense (2009) et conseiller pour l'industrie et l'énergie à la Présidence de la République, avant d'intégrer le Ministère de l'économie en mai 2012.



Remise du prix de l'innovation à David Heriban, PDG de la société PERCIPIO ROBOTICS par Karine Gosse directrice du CEA-List et Benjamin Gallezot

Pour faire de la France l'un des pays leader dans les technologies et l'usage de la robotique, le Ministère du redressement productif a lancé en mars 2013 le plan France Robots Initiatives. Ce plan, piloté par Bruno Bonnell, Président de la société Robopolis et du SYROBO, avec l'appui de la Direction générale des entreprises, est l'un des 34 plans de la nouvelle France industrielle. Il comporte trois axes principaux : structurer la filière robotique, développer l'offre et les technologies liées à la robotique et favoriser l'équipement des PME en robots.

Une filière robotique réunifiée et dynamisée

La filière robotique était traditionnellement sé-

parée en deux secteurs distincts : la robotique industrielle, incarnée par le SYMOP (syndicat de la machine-outil professionnelle) et la robotique de service, incarnée par le SYROBO (syndicat de la robotique de service professionnel et personnel). Ces deux secteurs partagent cependant un très large tronc commun technologique et leurs marchés tendent à converger, les fonctions de production et de service étant de plus en plus intégrées.

Le plan robotique a l'ambition de réunifier la filière robotique et de la dynamiser. D'ores et déjà entamée lors des premiers Etats généraux de la robotique, dans le contexte du Salon Innorobo à Lyon en mars 2014, la convergence est maintenant une réalité avec la création du comité robotique « filière de demain » associant

l'ensemble des acteurs étatiques et industriels du domaine, ainsi que le rapprochement des deux syndicats professionnels, qui devrait être effectif au cours des prochains mois.

La création en mars 2014, à l'initiative de Bruno Bonnell, du fonds d'investissement Revolution Capital doté de 80 M€ par des investisseurs privés et publics, permet à la filière de disposer d'un outil dédié d'investissement en fonds propres, pour financer les start-up du secteur.

Développer l'offre et les technologies

En matière d'innovations et de R&D, le fonds unique interministériel des pôles de compétitivité et le programme d'investissements d'avenir ont investi fortement dans le domaine de la robotique (à hauteur d'environ 40 M€). L'Etat a ainsi soutenu plusieurs projets tels que le robot humanoïde Roméo (Aldebaran Robotics). Pour favoriser les mutualisations et les lieux de rencontres, la feuille de route du plan industriel Robotique a prévu deux actions phares :

- la mise en place d'une plateforme technologique de robotique industrielle : ce projet en cours d'élaboration se concrétisera en 2015 ; piloté par le CEA-List, il a pour objectif principal de structurer et rapprocher les acteurs français de l'offre technologique robotique (PME, laboratoires et quelques grands groupes) et les entreprises utilisatrices, qui font évoluer leur outil industriel vers les concepts d'« Usine du Futur ». Cette plateforme sera un lieu ouvert de mutualisation d'équipements robotiques, de personnels hautement qualifiés et pourrait proposer une offre de service complète aussi bien aux grands groupes qu'aux PME ;
- la création d'un concours de robotique industrielle ; la première édition de ce concours, dédiée à la cobotique, a eu lieu le 5 février 2015 (voir encadré).

Rattraper le retard dans l'équipement des PME en robots

L'industrie française accuse un retard dans l'équipement en robots de ses lignes de production par rapport à l'Allemagne (4 fois plus de robots installés) et l'Italie (2 fois plus de robots installés). L'âge vieillissant du parc de machines dans nos usines, évalué en moyenne à 19 ans, constitue également un frein pour notre industrie.

Le plan industriel robotique propose plusieurs mesures de nature à accélérer la robotisation des usines et plus généralement la modernisation de l'outil de production.

L'opération ROBOT Start PME, action transfiliale portée par le SYMOP, le CEA et le CETIM et soutenue par le programme des investissements d'avenir, a déjà permis de sensibiliser près de 4 000 PME-PMI, dont 400 ont été candidates au dispositif de soutien, en vue d'être accompagnées dans leurs projets d'investissements.

Les entreprises peuvent aussi bénéficier d'avantages fiscaux, tels que la déductibilité des intérêts d'emprunt ou l'amortissement accéléré des robots industriels pour les PME. Il

est ainsi prévu un amortissement exceptionnel d'une durée de 24 mois (au lieu d'un amortissement sur 10 ans) à compter de leur mise en service, pour les robots industriels acquis entre le 1^{er} octobre 2013 et le 31 décembre 2015.

Au-delà, le gouvernement a mis en place des outils de financement pour la modernisation de l'appareil productif des PME, dont la robotisation constitue l'une des dimensions principales. Les prêts numériques (300 M€) et prêts verts (300 M€) ont d'ores et déjà permis de soutenir des investissements de modernisation des PME.

Le tout nouveau dispositif de prêts bonifiés robotiques, doté de 300 M€, avec le soutien du programme des investissements d'avenir, permet depuis fin 2014, de financer non seulement l'achat du robot ou la modernisation de la chaîne de production, mais aussi les frais d'études, les prestations d'ingénierie, les essais, les services et la formation des opérateurs. Il renforce ainsi l'action du gouvernement en faveur de la modernisation de l'outil de production et de la compétitivité des entreprises. ☞

Organisé par le Ministère de l'économie, de l'industrie et du numérique, avec le support du CEA-List, le premier concours national de robotique industrielle s'est tenu le 5 février 2015 sur le site du centre Nano-Innov à Palaiseau. Doté de 185 000 €, ce concours avait pour thème la robotique collaborative (cobotique), i.e. le travail conjoint homme-robot. En décloisonnant l'espace et l'activité entre hommes et robots, la cobotique élargit le champ d'application de la robotique à de nouveaux domaines (ateliers industriels, agriculture, médecine, bâtiment, logistique). Elle permet en particulier d'améliorer l'efficacité et de diminuer la pénibilité de certaines tâches. Ce concours a attiré 23 candidatures et plus de 300 visiteurs professionnels lors des journées de démonstration du 5 février. 4 projets ont été récompensés : PSA Peugeot-Citroën pour une cellule d'assistance à l'ébavurage des carters avec cobot d'assistance (prix vidéo), la société PERCIPIO ROBOTICS pour Chronogrip, un cobot de micro-assemblage compact (prix innovation), les sociétés HAPTION, ENDOCONTROL, l'UPMC et l'Institut Mutualiste Montsouris pour un cobot de chirurgie laparoscopique (prix d'intégration), et la société NAI0 TECHNOLOGIES pour OZ un robot d'assistance et de désherbage pour l'agriculture (prix spécial du jury).

ÉVOLUTION DU CADRE LÉGISLATIF

En avril dernier, la Commission européenne annonçait dans une communication souhaiter établir un cadre législatif pour les drones (EUROPE 11056). Une consultation publique a été clôturée en novembre dernier à cet égard (EUROPE 11136), mais aucune proposition législative ne pointerait à l'horizon, évoque une source proche du dossier. La commissaire européenne aux Transports, Violeta Bulc, récemment fait le point à ce sujet lors de la conférence à haut niveau sur les systèmes aériens pilotés à distance, organisée par la Présidence lettone à Riga, les 5 et 6 mars 2015. Les discussions ont porté sur l'intégration des drones dans l'espace aérien et ont soulevé les questions sociétales relatives à la sécurité, la sûreté, la protection des données et la vie privée. L'objectif est aussi de renforcer la responsabilisation des opérateurs de drones.

ETHIQUE DES ROBOTS : SANS LIMITES

La frontière entre l'acceptable et l'inacceptable est souvent dépendante des modes et des époques : ainsi en va-t-il des robots. Et parce qu'il est également illusoire de croire que les considérations éthiques fonctionnent par seuil, il se pourrait bien que nous finissions par atteindre demain, par petits pas, ce qui était inenvisageable hier. Voici un petit pot-pourri des enjeux.

Questions de seuil

Alors que j'étais en charge des technologies communes à la DGA, j'avais observé qu'il existait un frein déontologique aux développements technologiques et à leurs applications que j'appelais le « mur de l'éthique » qui prohibait, entre autres, l'automatisation extrême. Mais les murs sont parfois mobiles. Il suffit pour s'en convaincre d'imaginer une situation inacceptable pour se rendre compte que le chemin qui y mène depuis l'acceptable peut être parfaitement continu et sans ruptures. Est-il acceptable de créer des clones de combattants qui seront particulièrement exposés pour disposer de pièces de rechange ? Non. Et si ce sont des clones sans cerveau ? Aujourd'hui non. Est-il acceptable de cultiver un organe de rechange ? Probablement oui. De la peau de rechange ? Oui. Puisque certains coureurs du tour de France se dopent pour gagner, les soldats peuvent-ils se doper pour ga-

agner la guerre ? Hier oui, aujourd'hui en France probablement non. Peut-on faire un tri génétique des soldats pour optimiser leurs chances de survie dans un environnement particulier ? Hier non, demain peut-être. Peut-on ne pas affecter dans le désert des blonds à la peau fragile ? Les médecins de mon service avaient tous des avis différents...

Ça commence plutôt bien : les 4D

Créés essentiellement pour épargner aux humains des risques inutiles, les robots sont particulièrement adaptés aux missions dites « 4D » : *Dull, Dirty* (terme ambigu...), *Distant* et *Dangerous*. Moyennant quelques contraintes techniques, les robots sont utiles et appréciés. Dans cette configuration idéale, la limite est toute trouvée : tout ce qui nécessite une décision relève de l'humain. Même les ONG anti-robots s'en satisfont. Toute la question est de savoir quelles décisions il faut absolument remettre au jugement humain. Celle de frapper ? Les obus et munitions à identification autonome s'en affranchissent déjà. Celle consistant à autoriser le tir ? Nous utilisons depuis plus de 40 ans des systèmes d'autodéfense qui, sans la moindre intervention humaine, détectent, caractérisent et désignent leur cible, choisissent les armes à mettre en œuvre, puis tirent, détruisent et rendent compte du résultat. Depuis plus de 30 ans nous nous servons de systèmes dotés de logiciels fonctionnant non pas suivant une logique déterministe et maîtrisée, mais d'après une liste de règles d'intelligence artificielle. Depuis plus de 20 ans les automates boursicoteurs échangent, dans le res-



pect de règles plus ou moins strictes, d'énormes sommes d'argent sur les places financières, et tiennent parfois de facto, dans des mains qu'ils n'ont pas, le sort de populations entières.

Premiers dérapages

Noyé sous un flot croissant d'informations, l'homme est assisté dans sa recherche de données par des robots toujours plus puissants, et la possibilité qu'un « super-cerveau » omniscient à la Google puisse être implanté dans le corps humain sous forme de puce relève chaque jour un peu moins de la chimère... Tel sera peut-être l'homme du futur que nous décrivent avec enthousiasme les tenants du transhumanisme, être hybride mi-humain/mi-machine, artificiellement « augmenté » pour soutenir le rythme fou que lui impose une technologie devenue non maîtrisable. Sans aller jusqu'à une telle extrémité, plaçons nous dans l'hypothèse où l'homme futur sera accompagné de robots faisant corps avec lui. La privatisation croissante du génome humain pose dès à présent la question du sta-

tut juridique du gène : invention de laboratoire ou patrimoine de l'humanité ? Nous répondons aujourd'hui patrimoine commun, mais qu'en sera-t-il lorsque les gènes auront été transformés par l'intervention humaine ? Il se pourrait bien que l'homme finisse par ne plus pouvoir disposer de lui-même.

D'autres risques ...

L'utilisation de robots à des fins militaires est une autre réalité qui s'impose à nous avec une ampleur nouvelle depuis déjà plusieurs années. Mais alors que le monde militaire opérationnel pourrait se saisir à bras le corps de cette question cruciale, force est de constater que les doctrines actuelles se contentent de rappeler l'importante mais monotone fameuse « place de l'homme dans la boucle », sans portée prospective aucune. A cette situation s'ajoute la dévaluation morale dont pâtit l'opérateur de drone (qui ne bénéficie pas de l'aura des « vrais » pilotes), dévaluation dont les effets sur la qualité du recrutement pourraient s'avérer catastrophiques, alors même que l'importance croissante des robots exigerait au contraire de leurs utilisateurs des qualités humaines irréprochables. Enfin, l'interconnexion croissante de robots dont on ne pourra probablement jamais garantir la totale fiabilité des logiciels, constitue une menace réelle.

Qui est coupable ?

Autre question redoutable : quid de la responsabilité en cas de dégâts causés par un robot du fait d'une défaillance technique ? Qui est coupable, si l'utilisateur du robot l'a laissé sciemment évoluer dans un environnement propice aux comportements illégaux ? Les juristes diront que la culpabilité de l'exploitant, du propriétaire ou du réalisateur – termes ambigus – dépend des lois en cours, lois qui avaient été conçues sans imaginer de tels cas de figure... Une fois encore, le droit pourrait être en retard sur la technique.

Le chemin continu menant à la symbiose (si l'on peut dire) des robots et des humains est tracé d'avance, et les verrous éthiques qui le jalonnent sont parfaitement connus : d'abord utilisée à des fins thérapeutiques, l'association homme-robot servira ensuite à augmenter les capacités humaines, d'abord sous parfait contrôle, puis selon des logiques de moins en moins compréhensibles dans le détail, puis pour des raisons hors de la portée de chacun, et enfin au titre d'une obligation dont l'enjeu serait la survie même, d'abord des individus, puis de l'espèce humaine dans son ensemble. Le lecteur d'aujourd'hui peut souhaiter que cette séquence s'interrompe un jour. Mais imaginait-on il y a cent ans que la greffe de cœur, autre-

fois impossible techniquement, mais surtout humainement, devienne un jour une opération banale ? Les robots susceptibles de franchir le mur de l'éthique sont déjà parmi nous, ils s'appellent « systèmes complexes ».

Prendre le temps de la réflexion, mais vite !

La question de l'utilisation que nous souhaitons faire des robots rejoint très étroitement celle du choix de la civilisation dans laquelle nous voulons vivre et des moyens que nous souhaitons y consacrer. Ne nous laissons pas déborder par les progrès de la technologie, mais encadrons-la par une réflexion éthique dynamique et humaniste sur la signification morale de la fusion homme-machine, de l'intrusion de la machine dans le corps humain ou de l'utilisation à l'inverse de neurones humains dans les « cerveaux » cybernétiques. Acceptons de voir en face le caractère déroutant de certaines recherches, et posons-nous la question de ce que nous voulons devenir. Et cessons de nous demander à chaque minute si nous sommes en train de franchir un seuil (il n'y en a pas), mais regardons plutôt dans quelle direction nous allons (car il y a, pour le coup, de mauvaises directions). Et ne tardons pas trop à le faire, car tout va très vite... 🦾



par Denis Plane, IGA

Après des postes de direction à la DGA, Denis Plane a occupé pendant 6 ans un emploi de contrôleur général des armées en mission extraordinaire. Il est membre de la commission de déontologie des militaires et participe à des missions ponctuelles pour le ministère de la défense.

La réflexion doctrinale de l'état-major des armées sur la ROBOTISATION DE LA TROISIEME DIMENSION (JUILLET 2009)

Orientations (extraits) : examiner les possibilités offertes par les drones armés ; maintenir l'homme dans la boucle pour le contrôle (décision, notamment en cas d'emploi de la force armée) et adopter une démarche prudente et mesurée pour développer l'autonomie d'action des robots.

Autonomie et intelligence artificielle

(...) les algorithmes actuels restent très en deçà des performances d'un cerveau humain.

Si une situation imprévue apparaît, la réflexion débouchant sur la créativité, apanage du cerveau humain, reste une aptitude essentielle.

Conformément à l'éthique occidentale, un système

cybernétique pourrait difficilement se voir confier en propre des responsabilités, en particulier liées à l'usage de la force. Le problème de la responsabilité pénale serait alors particulièrement important, surtout en cas d'erreur. Ainsi les décisions de haut niveau, en particulier celles susceptibles de porter préjudice aux individus, devront toujours être du ressort d'opérateurs humains (cette exigence s'inscrit dans la continuité des engagements pris lors de la signature de la convention d'Ottawa interdisant les mines anti-personnel).

Si la guerre est une confrontation des volontés et la population l'enjeu essentiel pour obtenir une résolution durable des conflits, il est possible qu'une robotisation asymétrique des engagements nuise à la bonne perception de ces volontés par les populations visées. Les conflits récents (Irak,

Afghanistan) ont montré les effets pernicieux d'un recours au « tout technologique » qui isole les forces combattantes du tissu social sur lequel elles doivent agir. L'emploi de robots ira certainement à l'opposé des efforts consentis pour gagner la « bataille du cœur et de l'esprit » offrant à la propagande adverse de nouvelles opportunités : dénonciation d'une « guerre des lâches », etc.

L'implication de l'opérateur humain doit donc rester importante lors de la mise en œuvre des robots aériens, en particulier armés, même si le niveau d'assistance automatique peut être accru afin de faciliter la tâche des opérateurs. C'est la dimension morale qui doit décider de la place laissée à l'homme, en particulier dans l'expression et le contrôle de la violence d'Etat.

Saint Augustin, 430 après J.-C. :

A force de tout voir on finit par « tout supporter »
 A force de tout supporter on finit par « tout tolérer »
 A force de tout tolérer on finit par « tout accepter »
 A force de tout accepter on finit par « tout approuver »

CONCEPTION DES ARMES ET VOLONTÉ SOCIALE

POUR UNE APPROCHE HUMANISTE DE L'EFFICACITÉ GLOBALE DES ARMEMENTS

De plus en plus, l'emploi des armements se décide et s'inscrit dans des situations où combats matériels et affrontements médiatiques sont étroitement liés. Il importe d'adapter la conduite et l'accompagnement des programmes à ces conditions nouvelles.

Tirer les leçons de l'histoire

L'histoire nous livre de nombreux exemples d'armes intrinsèquement efficaces qui ont vu leur réalisation ou leur déploiement retardé, limité ou empêché pour des raisons d'origine philosophique ou médiatique. Par exemple, au Moyen Âge l'arbalète a d'abord été rejetée comme un instrument diabolique. De nos jours, l'interdiction partielle des armes à sous-munition par la convention d'Oslo conduit les armées françaises à abandonner différents matériels : obus à grenade Ogre, bombe aéroportée Belouga, lance-roquettes multiple ...

Le paradoxe est que de telles restrictions, qui dégradent incontestablement le rapport de la puissance au coût de nos forces, ne sont pas nécessairement les mesures les plus adaptées pour atteindre des objectifs humanitaires universellement partagés. Ainsi, dans telle crise du vingtième siècle, de simples machettes ont été les outils de massacres massifs que des interventions appropriées utilisant des armes intrinsèquement plus meurtrières auraient probablement permis d'éviter.

Or ce risque de dévoiement est particulièrement élevé à notre époque pour un pays comme la France et ce pour deux raisons bien précises. D'une part, ce sont les nations les plus démocratiques qui sont les plus vulnérables à un affaiblissement de leurs capacités militaires sous l'effet de mouvements d'opinion qui leur interdiraient l'utilisation de certaines armes alors même qu'elles ont la volonté de contribuer par ces capacités militaires au maintien de la paix et de la sécurité dans le monde. D'autre part, l'extension des moyens d'information et de communication, la prolifération des organisations non gouvernementales permettent l'ouverture d'un débat planétaire susceptible d'atteindre et d'influencer dirigeants politiques et chefs militaires beaucoup plus rapidement et directement qu'aux siècles passés.

Il importe donc de concevoir des systèmes d'armes qui soient efficaces dans les combats matériels tout en offrant le moins de vulnérabilité possible sur le champ de bataille de l'opinion qui se développe dans le cyberspace. L'interdépendance de ces deux terrains d'affrontement est illustrée par l'exemple des conflits asymétriques, où le terrorisme et la contestation philosophique sont deux voies complémentaires largement utilisées.

L'opinion publique et les règles juridiques qui la traduisent ne sont pas toujours réductibles à la logique

La destruction d'une batterie de missiles par un missile air-sol classique est admise. Si, en revanche, on venait à employer un drone capable de détecter la présence de personnes autour de ladite batterie et de prendre sélectivement la décision d'engager sa cible ou de s'en abstenir selon qu'il identifie ces personnes à des servants du système ou à des civils, alors il serait qualifié de robot tueur par certains.

Il peut être considéré comme illicite d'endormir des adversaires par un gaz soporifique (arme chimique) plutôt que de les anéantir par des bombes traditionnelles.

C'est dans ce contexte que le Conseil général de l'armement a soutenu une réflexion, en lien avec les Ingénieurs et Scientifiques de France, en vue d'améliorer la cohérence entre les moyens disponibles et l'ensemble des exigences politiques et sociales associées à leur utilisation.

Anticiper les débats futurs

Une première idée qui en est ressortie est que dans les années à venir plusieurs domaines de l'armement feront probablement, ou continueront de faire l'objet de polémiques susceptibles d'aboutir à des contraintes juridiques ou de fait. Citons la dissuasion nucléaire, les armes à létalité réduite, les robots et autres dispositifs de plus en plus automatisés ou encore les technologies de l'homme augmenté.

Une deuxième observation porte sur l'importance du facteur temps. D'une part, compte tenu de la durée de réalisation et de maintien en service des armements, c'est l'état des mentalités supposé plusieurs dizaines d'années à l'avance qui doit être considéré à l'étape de définition. D'autre part, au stade de l'emploi, les fluctuations de l'opinion sont rapides, il importe d'être réactif et le moment de la communication doit être choisi avec soin. Dans tous les cas, une phase de renseignement s'impose et l'anticipation est primordiale.

Enfin, il est banal de constater que la réaction, à un moment donné, d'une communauté particulière à l'emploi d'un type d'armement est la résultante de facteurs nombreux et complexes qui ne sont pas tous réductibles à la logique. Il y a des facteurs culturels plus ou moins profonds, tels que la distinction entre ruse et perfidie ou le degré d'acceptation d'une modification du corps humain. L'appréciation de la légitimité d'une opération militaire influe sur celle des armements employés et l'exigence éthique est certainement plus forte pour des populations qui ne se sentent pas directement menacées dans leur vie ou leur intégrité. L'histoire d'une nation laisse des traces qui peuvent être recouvertes, puis resurgir.

S'organiser pour associer toutes les compétences

En conclusion, plusieurs propositions peuvent être formulées. L'une serait de compléter le processus actuel de conduite des programmes d'armement par l'analyse à certaines étapes des aspects éthiques, sociaux et médiatiques de leur utilisation. Ces analyses seraient prises en compte, à côté des arguments opérationnels, techniques et financiers, dans les décisions d'orientation et de poursuite des programmes. La principale recommandation est de mettre en place un comité d'analyse sociale des armements

chargé d'apporter au ministre de la Défense une vision globale et pluridisciplinaire à l'appui des décisions stratégiques prises ou proposées à son niveau. Ce comité comprendrait un petit nombre de personnalités diverses reconnues notamment dans les domaines de l'éthique, de l'histoire, du droit et de la sociologie, et s'appuierait sur un réseau de correspondants. En dehors des avis au ministre, il serait chargé d'intervenir en son nom propre dans les grands débats organisés sur la scène publique, en particulier par les organisations non gouvernementales. ☞

Le Comité international pour le contrôle des armes robotisées (ICRAC)

L'ICRAC se définit comme une organisation non gouvernementale, composée d'experts en technologies robotiques, questions éthiques, relations et sécurité internationales, droit humanitaire... qui affiche en mars 2015 sur internet une liste nominative d'un peu moins de trente membres dont plus de vingt ressortissants des pays anglo-saxons (principalement Etats-Unis et Royaume Uni), trois allemands, aucun français. Créé en 2009, ce groupe organise dès 2010 une première conférence à Berlin. Il appelle en 2014 la communauté internationale à un traité d'interdiction du développement, des essais, de la production et de l'utilisation en toutes circonstances d'armes autonomes, l'idée de base étant que des machines ne devraient pas se voir déléguer la décision de tuer ou d'utiliser la force violente.



par Jacques Bongrand, IGA

CONSEILLER DU PRÉSIDENT DE LA RÉGION LORRAINE POUR LA STRATÉGIE ÉCONOMIQUE

Jacques Bongrand a été conseiller du ministre de la Défense, directeur du service de la recherche à la DGA, président de l'organisation de la recherche et de la technologie de l'OTAN, président du directoire de l'Agence de l'innovation industrielle, secrétaire général du Conseil général de l'armement.

- Découpe/Usinage Jet d'Eau 3D
- Perçage
- Décapage
- Décochage & Dénoyautage
- Ebavurage
- Autofrettage

AQUARESE

HIGH PRESSURE PROCESSES

Spécialiste des Procédés Haute-Pression










Aéronautique

Défense

Energie

Automobile

Nucléaire

- ⊗ R&D Procédés
- ⊗ Atelier de Sous-Traitance 24/7
- ⊗ Constructeur de Machines
- ⊗ Services

Aquarese Industries S.A. - Tél : +33.3.21.74.91.00 - commercial@aquarese.fr

PERMIS DE TUER ? PEUT-ON FAIRE CONFIANCE À UN ROBOT ?

Au cours de ses différentes affectations, l'auteur a appris à maîtriser la langue de bois tout en cultivant le soupçon d'impertinence nécessaire pour savoir prendre du recul par rapport à un contexte très évolutif et pas toujours entièrement maîtrisé, et asseoir ainsi son autorité, toujours au service de l'institution. Il nous explique ici pourquoi, au-delà de la question fatidique du droit de tuer pour un robot, se pose avant tout la question de la confiance que l'on peut lui accorder : tant pour analyser et interpréter la situation, que pour appliquer les règles d'engagement qui lui auront été fixées.

En effet, au même titre que pour l'ensemble des armements, l'emploi des robots s'inscrit dans le cadre de l'article 36 du Protocole additionnel I aux Conventions de Genève du 12 août 1949, en date du 8 juin 1977, qui oblige à vérifier que lesdits systèmes d'armes ne sont pas contraires aux règles du droit international humanitaire. Tuer, oui, mais sans infliger des souffrances pouvant être considérées comme « excessivement nocives » ou « frappant sans discrimination ». Seront considérées comme effectuées sans discrimination « les attaques dont on peut attendre qu'elles causent incidemment des pertes en vies humaines dans la population civile, des blessures aux

personnes civiles, des dommages aux biens de caractère civil, ou une combinaison de ces pertes et dommages, qui seraient excessifs par rapport à l'avantage militaire concret et direct attendu » (cf. articles 51 §5 b et 57 §2 a iii) du Protocole cité).

D'où la nécessité pour un robot de capacités d'appréciation casuistique de la situation

Sur le plan scientifique, c'est là que résident les principaux défis actuels – vieux de plusieurs décennies en fait ! Il n'est que de se replonger dans certaines histoires de robots d'Asimov pour prendre conscience de l'ambiguïté des attendus ... Ceci dit, aurions-nous (je m'adresse ici aux seuls confrères humains parmi nos lecteurs, au risque de me faire reprocher une ségrégation volontaire) fait différemment ou mieux en tant qu'humain dans certaines de ces histoires ? Mais là n'est pas la question, puisque le droit suppose que l'humain soit a priori capable de discrimination intelligente (au sens étymologique de « compréhension ») dans le processus de décision de ses actions.

L'intelligence artificielle (la fameuse IA – rien à voir avec nos camarades !) apporte de nombreuses réponses partielles, tant pour la modélisation des contextes ou du droit applicable (les logiques modales aléthiques, déontiques, épistémiques, doxastiques, etc. permettent d'appréhender toutes les subtilités de nécessité/possibilité, obligation/permission, connaissance/plausibilité, croyance/compatibilité avec les croyances d'une non-essence), que pour l'analyse de situation et le choix

d'une action. Mais force est de constater qu'il n'existe pas de réponse globale aujourd'hui à l'ensemble de ces problématiques, qui satisfasse les critères minimaux de « confiance », permettant de « confier » à une machine (l'emploi polysémique est ici volontaire et souligne une ambiguïté sémantique, en partie à la base de la problématique), ce que l'on confie finalement à quasiment n'importe quel ***, pardon !, humain ... il n'est que de voir les informations relatées par la presse sur certaines exactions aux barrages de contrôle dans la partie orientale de l'Ukraine, ou ailleurs au Proche et Moyen-Orient.

Entre l'enfant soldat et le robot, qui est *in fine* le plus apte, ou le moins inapte, à évaluer la légalité d'un ordre de tuer et à prendre l'action la plus conforme au droit humanitaire international ?

L'emploi de robots avec armes létales dans des opérations pour cibler et attaquer des objectifs pose la question de la responsabilité en cas d'accident ou de dommage collatéral, question d'autant plus délicate quand les cibles sont sélectionnées et attaquées sans implication d'homme dans la boucle (opérateur, superviseur, ou décideur humain).

Les aspects d'autorité et de responsabilité sont fondamentalement liés aux questions organisationnelles sous un angle managérial et juridique. Rappelons que l'autorité est le pouvoir accordé à une entité pour pouvoir organiser des ressources identifiées dans un but donné, et pour contrôler l'opération et l'utilisation de ces ressources. Elle peut être déléguée à des entités (personnes, systèmes) rattachées, ou alors transférée complètement

à une autre organisation. De cette notion d'autorité dérive la notion d'autonomie, qui implique le droit et l'autorité de prendre des décisions indépendantes. En regard de ces deux notions, on a la notion de responsabilité, qui est le fait d'être tenu comme redevable, auprès d'une entité, de l'exercice de l'autorité ; c'est une caractéristique que ne peuvent a priori posséder que des personnes ou des organisations définies, du fait de considérations légales.

« Qui porte en effet cette responsabilité »

Qui porte en effet cette responsabilité – question ô combien clé en cas de bogue informatique, dont on connaît statistiquement l'inéluctable apparition – : l'autorité qui a donné l'ordre de ciblage, celle qui a ordonné la mission, l'autorité d'emploi du robot, le maître d'ouvrage en charge de son acquisition, le fabricant, l'architecte du produit, l'investisseur, l'auteur du concept d'emploi de systèmes d'armes létal autonome ? Au-delà de la responsabilité se pose le pro-

blème de la conscience de tuer, qui est vue comme un garant éthique du « droit de tuer », dans la mesure où en découlent compassion, empathie, répugnance à voir un proche éliminé, jouant un rôle clé en particulier dans l'analyse de la légalité d'un ordre de tuer.

En conséquence, certaines ONG militent pour un moratoire sur les robots autonomes létaux. Ainsi, le 28 octobre 2014, le coordinateur de la campagne « *Stop killer robots* » a délivré une déclaration au Comité sur le désarmement et la sécurité internationale de l'Assemblée Générale des Nations Unies, pour continuer les réflexions entamées du 13 au 16 mai 2014 sur les systèmes d'armes autonomes létaux dans le cadre des groupes experts de la convention sur les armes conventionnelles. Les ONG impliquées dans cette démarche sont *Article 36* (Royaume-Uni), *Association for Aid and Relief* (Japon), *IKV Pax Christi* (Pays-Bas), *International Committee for Robots Arms Control*, *Mine Action Canada*, *Nobel Women's Initiative*, *Pugwash Conferences on Science and World Affairs*, *Women's International League for Peace and Freedom*.

Au-delà de ces ONG, le Parlement Européen a adopté le 27 février 2014 une résolution sur

l'utilisation des drones armés – 2014/2567 (RSP) – et se dit gravement préoccupé par l'utilisation de drones armés en dehors du cadre juridique international et demande une information sur les projets de recherche et de développement, ainsi que la mise en place d'un contrôle de la légalité des frappes de drones avec un droit de recours auprès de l'Union Européenne pour les victimes de frappes illégales.

On voit donc que la question du droit de tuer pour les robots autonomes se pose en termes d'éthique, de confiance, mais rejoint finalement le droit international au même titre que le droit de tuer pour des humains. La problématique relève d'une assimilation progressive entre l'humain et le robot autonome : finalement, est-ce vraiment surprenant quand on voit que des pays comme la Corée du Sud travaillent depuis plusieurs années sur l'idée d'une loi accordant des droits aux robots et des responsabilités à leurs utilisateurs et propriétaires. *In fine*, la différence entre humain et robot autonome tend à se gommer sur le plan juridique : la science sera-t-elle finalement en retard sur les évolutions sociétales ?



par **Dominique Luzeaux**, IGA
DIRECTEUR ADJOINT PLANS DE LA DIRISI, EMA
 Auteur d'une dizaine d'ouvrages techniques en français et en anglais, Dominique Luzeaux a reçu en 2006 le Prix Chanson pour ses travaux sur la robotique militaire.

Glossaire non conventionnel de la rédaction

tuer : les drones américains tuent, alors que les Français traitent les cibles, neutralisent, mettent hors de combat

mort : unité de compte: mot employé seulement pour dire «tant de morts» **éviter** les morts indues : ah bon, parce qu'il y a des morts dues?

violier : seulement au sens figuré : violer un accord, une convention, un cessez-le-feu. Sinon, on parle d'exactions

crime : les crimes contre l'humanité sont seulement commis par les vaincus

chirurgical : se dit d'un acte sans faute de frappe, c'est à dire sans victime innocente avérée

paix (dans l'expression maintien de la paix) : situation de tension extrême qu'il faut maintenir, sinon ce serait pire

collatéral : peut qualifier un effet ou une victime (c'est le point de vue du drone ; qu'en est il de la victime ?)

engager une cible : tout de même plus noble que tirer ou faire feu sur cette cible

traiter un objectif : générique, trop...

sécuriser : réussir à se maintenir dans un quartier de la ville, après les frappes des drones (on pourrait préciser: réussir à se maintenir dans un quartier de la ville sans se faire taper dessus) une fois le travail des robots terminé, « l'opération est entrée dans une phase de contrôle de zone pour stabiliser la ville : la présence de la force au cœur de la ville a permis un retour à une situation sécuritaire plus stable.»

il est juste dommage que les drones ne puissent pas être félicités:
 « Les opérations menées aux prises avec les rebelles, ou encore face aux foules manipulées par quelques extrémistes des deux bords, ont toujours été menées avec brio. »

Nota : "The trouble with machines is people" (Edward R. Murrow)
 Formule à prendre dans le sens qu'on voudra ...

« ROBOTS TUEURS » : QUEL ENCADREMENT JURIDIQUE ?

L'UTILISATION DE SYSTÈMES D'ARMES LÉTAUX AUTONOMES (SALA) POSE DE NOMBREUX PROBLÈMES D'ORDRE ÉTHIQUE ET JURIDIQUE

L'organisation non-gouvernementale (ONG) Human Rights Watch a lancé au printemps 2013 une campagne de mobilisation anti-« robots tueurs » destinée à prohiber toute recherche en matière de Systèmes d'armes létaux autonomes. Jean-Baptiste Jeangène Vilmer nous parle des enjeux juridiques et éthiques que soulève actuellement la perspective d'emploi des SALA. Il s'exprime ici en son nom propre.

La CAIA : Qu'est-ce qu'un SALA au sens juridique du terme ?

Jean-Baptiste Jeangène Vilmer : Il y a une définition plus ou moins consensuelle, qui fait du SALA un système d'arme qui, une fois activé, permet de sélectionner et de traiter des cibles sans intervention d'un opérateur humain, mais elle n'est pas « juridique ». Les juristes tentent toujours de cerner ce qu'est exactement un SALA, et s'appuient donc sur les experts techniques et opérationnels du domaine : militaires et ingénieurs essentiellement. Leurs éclairages sont ensuite débattus dans des enceintes de discussion comme la Convention sur Certaines Armes Conventionnelles (CCAC, ou CCW en anglais) qui se réunit annuellement à

Genève, et où se retrouvent, en plus des experts cités ci-dessus, des représentants d'ONG ainsi que des philosophes ayant pris position sur la question comme Peter Asaro par exemple. Les deux points d'achoppement majeurs qui empêchent l'émergence d'une position commune à l'heure actuelle sont les notions d'autonomie d'une part, et de létalité d'autre part. La notion d'autonomie pose problème car on se rend compte que celle-ci est autrement plus complexe que le triptyque classique *human in/on/out of the loop*¹ utilisé aujourd'hui pour caractériser le degré d'autonomie d'un système. On pourrait même presque dire qu'il existe autant de définitions et d'échelles d'autonomie que de spécialistes du domaine. Quant à la létalité, celle-ci fait débat car le caractère légal d'une arme dépend du contexte dans lequel elle est employée : un stylo peut être légal ! D'où le souhait de certains d'ôter ce terme et de ne parler que de système d'armes autonomes. A cette difficulté sémantique s'ajoute l'absence de base empirique consistante permettant d'illustrer les effets concrets des SALA. Contrairement aux mines antipersonnel, dont les ravages étaient connus bien avant la Convention d'Ottawa de 1997 (qui prohibe leur utilisation et leur fabrication), il est impossible de trouver des exemples de « bavures » concrètes commises par des SALA et susceptibles de frapper les esprits. D'où la porte ouverte aux fantasmes de type « Terminator », qui rend les conditions d'un débat rationnel et apaisé difficiles à réunir. Et les ONG jouent là-dessus.

La CAIA : Comment les SALA, tels qu'ils sont envisagés aujourd'hui, se positionnent-ils par rapport au droit international et humanitaire (DIH) ?

JB JV : Le DIH prohibe a priori deux types d'armes : les armes causant des maux superflus (comme les balles explosives, ou dum dum bullets, qui furent interdites à la fin du XIX^{ème} siècle), et les armes non-discriminantes : celles dont l'usage ne permet pas la distinction entre combattants et non-combattants, comme les armes de destruction massive. Les ONG s'appuient sur la difficulté pour les SALA de distinguer entre un combattant et un non-combattant pour défendre leur interdiction. Il est vrai que cette distinction est déjà difficile à effectuer par un soldat humain. Mais selon moi le débat sur la discrimination est un faux débat car le respect ou non du DIH dépend avant tout du contexte d'emploi de l'arme. Si l'on n'autorise les SALA que dans des contextes où ils n'auront pas à distinguer un civil d'un combattant, soit parce que toute intrusion est suspecte (comme dans la zone démilitarisée à la frontière entre les deux Corées par exemple), soit parce qu'ils sont utilisés dans des milieux où la probabilité de rencontrer des civils est faible, voire nulle (milieu sous-marin ou spatial par exemple), l'incapacité supposée de distinguer entre un civil et un combattant n'est pas problématique.

La CAIA : Quels sont les arguments des anti-SALA ?

JB JV : La plupart des arguments opposés au développement des SALA appartiennent à ce que

l'on appelle, en éthique normative, le déontologisme. Cette mouvance, que l'on peut rapprocher de l'éthique de conviction de Max Weber ou de la morale kantienne, considère qu'une action est morale si et seulement si celle-ci obéit à une règle universalisable. Les opposants aux SALA invoquent ainsi comme principe intangible le « droit à ne pas être tué par une machine », et ce même si leur usage permet de limiter les risques de violation du DIH, s'il était prouvé par exemple qu'une machine, qui n'est pas soumise aux émotions humaines et est dénuée d'instinct de conservation, serait incapable de tuer par peur, esprit de vengeance ou stress. Le rapporteur de l'ONU sur les exécutions extrajudiciaires, sommaires et arbitraires Christopher Heyns, considère ainsi que « quand bien même un SALA pourrait sauver des vies, laisser une machine décider de tuer un homme est intrinsèquement mauvais ». Ce type d'argument est souvent avancé par les ONG et les autorités spirituelles comme l'Eglise catholique. D'autres arguments, qui sont plutôt cette fois le fait d'Etats, sont eux de type conséquentialistes, c'est-à-dire qu'ils évaluent le caractère bon ou mauvais des SALA au vu des effets probables que

leur utilisation entraînerait. Parmi ces effets indésirables figurent ainsi la possibilité qu'un robot, qui est dénué de sens moral, soit incapable de désobéir s'il recevait un ordre immoral ou illégal par exemple, ou qu'il puisse être retourné par l'adversaire contre ses utilisateurs. Mais ce type d'argument est à double tranchant, car rien ne prouve qu'à terme un SALA ne pourrait pas respecter le DIH mieux qu'un être humain.

La CAIA : Comment l'encadrement juridique des SALA est-il envisagé aujourd'hui ?

JB JV : Plusieurs pistes sont envisagées. Les anti-SALA réclament la mise en place d'un régime d'interdiction préventive, c'est-à-dire la prohibition non seulement de toute utilisation, mais également de toute recherche ou développement dans le domaine. Cette conception n'est selon moi pas bonne. A l'interdiction préventive, trop radicale et qui pourrait nous priver de développements utiles, je préfère la mise en place de filets de sécurité. L'objectif pourrait être d'obtenir un code de bonne conduite sur le modèle du document de Montreux (qui encadre l'usage des sociétés militaires privées). Ce document

ne serait pas juridiquement contraignant, mais il récapitulerait le droit applicable et contiendrait un certain nombre de garde-fous pouvant guider l'usage potentiel des SALA. Premier garde-fou : ne déployer des SALA que là où ils n'auront pas à discriminer leurs cibles, comme je l'ai dit plus haut. Deuxième garde-fou : programmer les SALA pour qu'ils ne traitent que certaines catégories de cibles matérielles, à savoir celles que le DIH désigne comme militaires par nature (un dépôt de munitions par exemple), et non par usage (même un hôpital ou une ambulance peuvent le devenir à certaines conditions, et l'interprétation est alors délicate). Troisième garde-fou : programmer le bénéfice du doute, de façon à ce que le SALA consulte sa hiérarchie en cas de situation ambiguë.

Cette position est développée dans l'article « Terminator Ethic : faut-il interdire les 'robots tueurs' ? », Politique étrangère, 4:2014, p. 151-167.

Propos recueillis par Flavien Dupuis

INGÉNIERIE DE L'INFORMATION & ROBOTIQUE

UN DOMAINE SCIENTIFIQUE À LA DGA

Le domaine

Transverse, il recouvre les méthodes et techniques qui contribuent à la transformation progressive « du signal à l'information » pour l'acquisition de connaissances. Au cœur des Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC), vecteur de la révolution numérique, il repose sur 3 grands piliers :

- les communications et la sécurité ;
- le traitement de l'information ;
- la commande des systèmes complexes et des robots.

Pour la défense et la sécurité, l'enjeu est de tirer avantage de l'éventail de ce potentiel en garantissant les performances nécessaires aux systèmes de défense, compte tenu des contraintes d'emploi et d'usage de ces techniques en milieu opérationnel. Le numérique impacte ainsi un large spectre depuis l'équipement des forces jusqu'aux grands systèmes d'infrastructure de C4ISR. Par nature, ces systèmes sont destinés à être exploités dans un contexte de complexité

accru, non coopératif, partiellement connu. L'ensemble des contraintes induit donc l'absolue nécessité de garantir les performances techniques de bout en bout, des moyens d'acquisition et de transmission, des outils d'analyse et d'exploitation de l'information, jusqu'au contrôle et la supervision.

Thématiques prioritaires en 2014

- **Le traitement de l'information complexe**
Analyse de données multi-sources et multi-capteurs (texte, multimédia, vidéo, imagerie (EO IR, hyperspectral, Lidar, SAR ...), fusion d'information, fouille de données, perception de l'environnement, méthodes de détection, reconnaissance et d'identification et d'alerte, techniques de localisation et navigation, méthodes de classification non supervisée et d'apprentissage ...
- **Les systèmes sûrs, fiables et robustes**
Sécurité informatique, intégrité et authentification des données et des échanges, réseaux ad hoc, radio cognitive, supervision des réseaux,

vérification et validation des systèmes logiciels, sûreté de fonctionnement des systèmes hybrides et embarqués ...

- **Vers une intelligence embarquée, distribuée, ambiante**

Au sein de systèmes interconnectés (socio-techniques et cyberphysiques), assistance au contrôle, autonomie ajustable, aides à la décision, co-design « capteurs-traitements », systèmes multi-agents ou multi-robots, simulations comportementales, jeux sérieux, pour la formation et la mise en situation ...

L'émergence des « Big Data » conduit à porter une attention particulière sur la conception, l'architecture, l'ingénierie, le traitement et l'analyse de grands corpus structurés ou non, la représentation des connaissances extraites, leur visualisation à des fins d'aide à la navigation ou d'aide à la compréhension et au raisonnement. L'interaction avec l'homme, les usages, sont traités par le domaine Homme & Systèmes.



par Jean-Baptiste Jeangène Vilmer

Jean-Baptiste Jeangène Vilmer, est docteur en science politique et en philosophie, juriste, et chargé de mission « Affaires transversales et sécurité » au Centre d'analyse, de prévision et de stratégie (CAPS) du Ministère des affaires étrangères.

¹ In the loop: l'humain décide et la machine exécute, On the loop: la machine propose et l'humain peut opposer son veto, out of the loop: la machine est totalement indépendante

GENTILS ROBOTS, MÉCHANTS ROBOTS ?

Le 21^{ème} siècle sera-t-il le siècle des robots ? De nombreux auteurs de science-fiction l'ont annoncé depuis 50 ans. Le concept de robot suscite la crainte que les humains soient remplacés par leurs propres créations.

« L'intelligence artificielle pourrait mettre fin à la race humaine ». Stephen Hawking, a tenu des propos alarmistes le 2 décembre 2014 sur ce que pourrait devenir le pouvoir des robots. « Réussir à créer une intelligence artificielle serait le plus grand événement dans l'histoire de l'homme ». Mais ce pourrait aussi être le dernier. L'impact à court terme de l'intelligence artificielle dépend de qui la contrôle. Et, à long terme, de savoir si elle peut être tout simplement contrôlée.

Nous allons essayer de découvrir ensemble les espoirs et les risques de la robotique, dans, et aussi hors de l'armement.

Fondés sur l'intégration de modules mécaniques, électroniques et informatiques, les systèmes de robot doivent essentiellement exécuter des tâches généralement inappropriées pour des humains, selon la règle de 4 D :

- **Dull** (activité répétitive, ou de longue durée) ;
- **Dangerous** (emploi dans un environnement potentiellement agressif et hostile) ;

- **Dirty** (emploi en zone contaminée, par des polluants par exemple) ;
- **Distant** (envoi du robot à très longue distance inaccessible à un être humain).

Les origines des robots et de la robotique

Le terme robot, formé à partir du radical r-robot, signifiant dans les langues slaves travail, corvée, fut initialement utilisé par l'écrivain tchécoslovaque Karel Capek en 1920. C'est en 1942 que dans son livre *Runaround*, (1942) Isaac Asimov introduit le terme robotique.

Le concept d'êtres autonomes créés par l'homme remonte à l'époque antique, le mythe de Pygmalion raconte déjà comment celui-ci donne la vie à la statue Galatée, celle-ci s'affranchissant de son créateur afin de partir à la conquête du monde des hommes. Puis, dès le

Moyen-Age, la légende du Golem a inspiré de nombreux auteurs. Si certaines œuvres font clairement référence à la créature juive, la plupart d'entre elles utilisent le mot golem pour désigner n'importe quelle créature humanoïde créée à partir de matière inerte par un magicien. Néanmoins, on reconnaît toujours la notion de serviteur créé par l'homme, qui se révolte à un moment donné contre son créateur, ce qui renvoie à la légende originelle.

Le premier exemple d'un robot de forme humaine fut donné par Léonard de Vinci en 1495, dont des croquis montrent un cavalier muni d'une armure qui aurait la possibilité de se lever, bouger ses membres tels que sa tête, ses pieds et ses mains.

Un automate très évolué, jouant d'un instrument de musique, fut présenté par Jacques de Vaucanson en 1738.



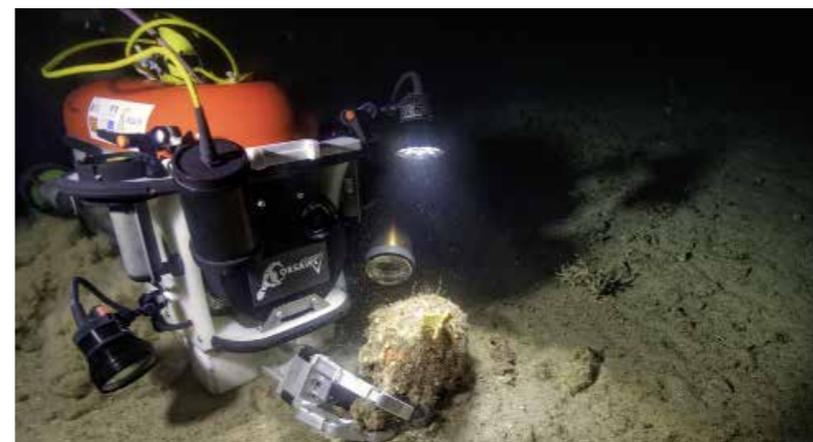
Mini-drone DVF 2000 VT (Survey Copter)



par **Patrick Michon**

EXPERT-CONSULTANT SENIOR EN SYSTÈMES DE SOUVERAINETÉ

Ingénieur Télécom Paris (1971), Patrick Michon a été responsable d'équipements majeurs pour tous types de véhicules blindés pendant 40 ans, à la DGA et dans des entreprises. Il est désormais conseiller d'une PME, leader en Europe, spécialisée dans les drones aériens d'infanterie.



Robot CORSAIRE pour l'archéologie sous-marine, ici dans une inspection de l'épave de La Lune en date du 5 novembre 2014.

Les usages principaux des robots en 2015

• La robotique militaire :

Les diverses armées poussent au développement des robots militaires, car en opération, ceux-ci présenteront de nombreux avantages par rapport à l'être humain : un comportement bien plus reproductible (dont une précision de tir constante), une meilleure résistance (nuit, pluie, froid et chaleur extrêmes, agents NBC, accélérations trop fortes pour un pilote humain...), l'absence de fatigue physique et psychique.

Néanmoins, ils ne peuvent pas complètement remplacer un soldat, dans la mesure où il n'est ni possible, ni surtout souhaitable de laisser à une machine prendre de façon autonome la décision du tir. Les robots resteront encore pendant de nombreuses décennies incapables d'improviser des manœuvres complexes. Une autre limitation concerne la gestion de l'énergie nécessaire aux robots.

Si un avantage crucial des robots est la suppression des problèmes provoqués par les pertes humaines, la gestion de l'évacuation des blessés et le risque que nos soldats soient fait prisonniers, la capture d'un robot par l'ennemi présente le risque d'un piratage de sa technologie. De plus un robot reprogrammé peut facilement changer de camp (il est plus difficile de reprogrammer des prisonniers !).

L'équivalent robotisé d'un engin piloté (avion, char...) ne requiert pas de poste de pilotage, et donc pas de blindage pour protéger le pilote, pas de pressurisation, pas de siège, etc.

Les missions qui leur sont actuellement confiées sont essentiellement le recueil de renseignement, la surveillance et la reconnaissance (ISR). La robotisation de ces fonctions est

à l'origine du concept de drone, au commencement appliqué à des vecteurs aériens, puis terrestres, marins et sous-marins. Les missions des robots s'élargissent progressivement hors du cadre ISR : cf. FCAS-DP en couplage avec un Rafale, SLAMF dans la destruction de certaines mines, les robots « tueurs » de l'US Army, ...

• La robotique spatiale

Rosetta et Philae sont un double exemple des capacités des robots spatiaux à effectuer des missions d'exploration à des distances « astronomiques », après des voyages ayant duré plus d'une dizaine d'années, donc totalement inenvisageables pour des équipages humains. L'autonomie d'un robot d'exploration spatiale est obligatoire, et doit être d'autant plus grande qu'il est éloigné de la Terre, du fait du temps qui s'écoule entre l'envoi d'une commande depuis la Terre, et la réception de cette commande par le robot. Celui-ci doit donc être capable de réagir tout seul aux événements qui peuvent surgir dans cet intervalle de temps.

• La robotique médicale

Le premier robot chirurgical au monde a été l'*Arthrobot*, développé et utilisé pour la première fois en 1983 lors d'une opération de chirurgie orthopédique au Canada.

Les robots ont toute leur importance dans des soins où les chirurgiens ont à faire face soit à des exigences d'extrême précision, ou pour se protéger d'un environnement dangereux lors de l'emploi de radiations curatives, ou en dernier lieu pour se prémunir de contamination virale comme vient de le montrer l'épidémie d'Ebola en Afrique occidentale.

Il semble que le pionnier des robots médicaux a été développé par la société canadienne Computer Motion (AESOP, ZEUS).

Une société française, MedTech est emblématique de la robotique médicale. Son fondateur est M. Bertin Nahum, qui créé cette entreprise en 2002, à Montpellier, avec l'idée de mettre au point un robot pour l'orthopédie. Baptisé Brigit, ce premier robot automatise la préparation des os du genou pour la pose des prothèses. Puis MedTech met au point Rosa, un robot qui se destine à la chirurgie du cerveau, un secteur de la chirurgie où la précision du robot est bien supérieure à celle de la main du chirurgien même le plus talentueux. On pourrait aussi citer ici la « télé-opération » qui permet à un chirurgien chevronné d'opérer un patient à distance.

• La robotique industrielle

Les domaines d'utilisation des robots industriels sont l'intervention dans les milieux à risques (nucléaire...), le maniement d'objets lourds et le petit assemblage de précision sur des petites séries. Les premières applications industrielles des robots ont d'ailleurs été dès les années 1970 d'assurer certaines tâches comme la peinture des carrosseries automobiles, sous vapeurs toxiques. Depuis, l'évolution de l'électronique et de l'informatique permet aux robots de réaliser des tâches de plus en plus complexes, avec de plus en plus d'autonomie, et de plus en plus rapidement.

Un robot industriel est généralement un système poly-articulé à l'image d'un bras humain, souvent composé de 6 degrés de liberté, 3 axes destinés au positionnement et 3 axes à l'orientation permettant de déplacer et d'orienter un outil (organe effecteur) dans un espace de travail.

Les estimations sur le nombre total de robots industriels dans le monde porte sur 1,6 million de ces matériels en 2016. La production annuelle en 2015 devrait être de plus de 200 000 robots, pour un chiffre d'affaire supérieur à 35 Milliards de US\$, en y incluant les logiciels, les périphériques et l'ingénierie système associée.

En agriculture, les essais de traite automatisée ont été entrepris dès les années 1980, notamment en France par le CEMAGREF. La difficulté principale concerne le repérage des pis de la vache, qui présentent une grande variabilité, d'une vache à l'autre, mais aussi pour la même vache en fonction de la période.

En conclusion, ni amie, ni ennemie des hommes, la robotique sera de plus en plus présente pour le bien (par ex. la greffe de membres à des amputés) et pour le mal (par ex. au service de la surveillance généralisée). L'humanité sera-t-elle assez sage pour privilégier le premier terme de cette alternative ?

SPIN-OFF DU LRBA À L'ORIGINE DE LA NAVIGATION MAGNÉTO-INERTIELLE

En proposant des équipements de géolocalisation en environnement GPS-denied pour un coût 50 fois inférieur à une centrale de navigation classique à performances équivalentes et embarquables sur des applications légères, Sysnav a imposé en 5 ans sa technologie comme la référence de la navigation et du positionnement de précision sans GPS à base de capteurs bas coût. Depuis 2014, la jeune PME de haute technologie commercialise en propre ses solutions pour la navigation en conditions extrêmes des véhicules et des piétons avec un plan de croissance ambitieux.

La diffusion des récepteurs GPS a ouvert un domaine dont le GPS seul n'arrive plus à satisfaire les exigences



par **David Vissière, IA**
PRÉSIDENT DE SYSSNAV

X99 Armement, David Vissière mène en parallèle de son poste d'expert navigation à la DGA un doctorat en Mathématiques aux Mines de Paris pour lequel il obtient le prix de la meilleure thèse ParisTech 2009. En 2010, il est élu « Ingénieur de l'année » par le magazine L'Usine Nouvelle et Industries et Technologies. En 2014, la revue technologique du MIT l'a élu parmi les 10 innovateurs français les plus impactants pour les 10 prochaines années.

L'introduction large du GPS auprès des consommateurs à partir des années 2000 a profondément modifié les habitudes des usagers mais aussi de l'industrie. La donnée de localisation dont la connaissance s'inscrit dans une logique plus large d'accès à l'information est devenue stratégique dans de nombreux domaines, en particulier pour la Défense. Pourtant, le GPS civil ou militaire présente de nombreuses limitations.

Si le secteur de la défense les a très rapidement prises en compte dans la conception de ses systèmes critiques les plus coûteux avec l'emploi systématique de centrales inertielles de haute performance, notamment pour la dissuasion, de nombreuses applications civiles ou militaires sont encore aujourd'hui dépendantes de solutions de localisation dont la disponibilité et l'intégrité font défaut.

Le GPS s'avère en effet très vulnérable aux pertes de signaux qui apparaissent en zone couverte ou obstruée, notamment en intérieur, et l'une de ses caractéristiques est sans doute sa très grande fragilité au brouillage et au leurrage, intrinsèquement due à son principe de fonctionnement avec des satellites émettant un signal de très faible puissance à des distances très importantes.

Alors qu'hier l'acquisition d'un brouilleur de GPS était difficilement accessible, aujourd'hui il suffit d'utiliser les mots clés « brouillage



» ou « leurrage » pour se voir proposer en libre accès sur les sites internet marchands nombre de modèles de brouilleurs de GPS ou de systèmes de leurrage entre dix euros pour les plus simples destinés à se brancher sur un allume-cigare et plusieurs milliers d'euros pour les plus évolués qui sont d'ailleurs issus de l'industrie militaire. Si leur usage est interdit dans la plupart des pays, leur acquisition est particulièrement aisée et leur usage assez largement répandu, notamment chez les criminels, dans plusieurs zones géographiques. Le GPS a répondu à un besoin mais en a créé un autre lié à l'utilisation de systèmes de localisation robustes, dont la disponibilité et l'intégrité peuvent être assurés. Il a instauré l'idée que la localisation était une donnée clé pour de nombreuses applications, mais il n'a pas permis d'aller au bout de cette logique dans de nombreux environnements où il est inopérant ou peu résilient. La principale faiblesse des récepteurs GPS à ce titre est sans doute

l'impossibilité de s'appuyer sur un indice de précision fiable : il arrive couramment notamment en ville que le récepteur associe à une position donnée un intervalle de confiance de quelques mètres alors qu'en réalité la localisation fournie est distante de plusieurs dizaines de mètres du point réel.

Les besoins ne cessent ainsi pas de grandir pour des systèmes professionnels fiables: localisation précise hors zone de couverture satellitaire, dans des milieux contraints ou brouillés comme la gestion de flotte pour des applications critiques (aéroports, milieu minier), le pilotage automatique des robots dans les usines ou les ports et tout le champ de la navigation ultra-précise dans des zones restreintes d'espace, notamment pour les applications médicales.

La navigation inertielle, une histoire de gyroscopes

La navigation inertielle de haute précision telle que nous la connaissons repose sur une chaîne complexe mais aujourd'hui maîtrisée par les grands industriels français du domaine. Elle s'appuie sur l'utilisation dans des algorithmes connus de capteurs de très haute performance, coûteux, dont l'utilisation s'apparente autant à de la métrologie qu'à de l'électronique. Le principe en est schématiquement assez simple, il s'agit à partir d'une position de départ parfaitement connue, après une phase d'initialisation permettant de connaître l'attitude initiale (direction de la



verticale locale et du nord géographique), de maintenir grâce aux gyroscopes virtuellement ou physiquement la connaissance de la direction verticale de manière à intégrer deux fois selon l'axe perpendiculaire les données des accéléromètres.

Ce mécanisme conduit très schématiquement à nouveau à avoir une erreur sur la position en cube du temps par rapport au biais du gyroscope et en carré du temps par rapport au biais des accéléromètres. On comprend dès lors l'enjeu lié à la performance des capteurs, aujourd'hui environ 1 milliard de fois plus précis que les capteurs inertiels utilisés dans nos smartphones.

On divise ainsi les capteurs inertiels en trois catégories focalisées sur la performance du gyromètre qui est le composant critique, ceux qui permettent de faire de la navigation au sens où il est possible de calculer avec une précision acceptable sur plusieurs heures une vitesse puis une position dont le coût dépasse la centaine de milliers d'euros (capteurs de navigation), ceux qui permettent uniquement de trouver le nord grâce à la mesure précise de la rotation terrestre (capteurs gyro-compasants) dont le coût est plus proche de quelques dizaines de milliers d'euros et enfin ceux qui ne peuvent permettre que de maintenir une direction connue à l'avance dont le prix varie de quelques centimes à quelques milliers d'euros.

Ceci conduit à conclure qu'il est impossible de naviguer avec des capteurs inertiels qui n'appartiennent pas à la catégorie la plus chère, ce qui est parfaitement exact.

La navigation magnéto-inertielle, principe et applications

La navigation magnéto-inertielle a été inventée au LRBA en 2007 dans le cadre de travaux de recherche en lien avec MINES-ParisTech. Les travaux que l'auteur a menés avec Alain Martin, expert navigation à MI, et qui ont suivi cette découverte ont été il y a plus de 6 ans maintenant à l'origine de la création de Sysnav.

Le principe sous-jacent à cette technologie consiste à exploiter d'une manière totalement nouvelle les variations locales du champ magnétique mesurées au niveau de l'équipement

pour en déduire une information de vitesse. De manière assez visuelle, si l'on considère un ensemble de trois petites boussoles espacées de quelques centimètres au creux de sa main, ces trois petites boussoles vont indiquer dans un bâtiment trois directions différentes de nord. Cette différence de mesure, qui a longtemps été considérée comme une perturbation qu'il fallait rejeter pour accéder à l'information de nord magnétique, traduit l'existence de variations spatiales du champ dues à l'infrastructure métallique des bâtiments.

Au lieu d'essayer de réduire cette perturbation, les experts de Sysnav se sont attachés à la mesurer le plus précisément possible. Ceci pour accéder à un objet mathématique qui caractérise les pentes de la déformation



locale du champ. Grâce à cette mesure locale des pentes du champ et à la mesure de sa variation globale, considérée comme la valeur mesurée au centre du dispositif, il est possible de calculer une vitesse en 3D dans le repère du dispositif de mesure.

Une nouvelle chaîne de mesure apparaît ainsi dans laquelle l'information de vitesse magnétique acquise dans le repère du dispositif peut être utilisée pour connaître l'accélération spécifique du boîtier et améliorer notablement la précision de son orientation, ce qui permettra au final de positionner la vitesse obtenue en 3D dans la bonne direction par rapport au repère terrestre classiquement utilisé.

Cette méthode nécessite une mise en œuvre particulière et une calibration très fine des magnétomètres qui permet aujourd'hui de mesurer en absolu 1/10.000 du champ terrestre (ce qui représente à titre de comparaison 0,1 mrad d'erreur en cap en champ libre) au sein d'un dispositif aujourd'hui plan grâce à l'exploitation des équations de Maxwell de l'électromagnétisme qui a permis de réduire la dimension de l'espace des paramètres à mesurer. Cette méthode intervient en rupture par rapport à l'utilisation traditionnelle des capteurs inertiels et magnétiques. Grâce au principe

présenté, il devient possible à partir de capteurs magnétiques et inertiels de la même technologie que ceux qui sont présents dans nos smartphones de naviguer pour un piéton en intérieur par exemple, comme il pourrait le faire avec beaucoup de difficultés en portant une centrale inertielle de navigation à 300€ de 30kg pour 40cm de côté sans son alimentation et en acceptant un temps non négligeable d'initialisation à point fixe immobile.

Les applications sont multiples et concernent la plupart des besoins pour lesquels le prix est une donnée d'entrée significative. Aujourd'hui la technologie a été développée dans deux directions principales, celle d'une utilisation sur des véhicules à roue d'une part et pour des piétons d'autre part.

La technologie véhicule destinée à une utilisation gouvernementale est notamment mise en œuvre dans des systèmes de Red Force Tracking au profit des agences de sécurité nationales, seule alternative connue à l'utilisation en forte croissance de système bas coût de brouillage. Elle a été à ce titre commercialisée aujourd'hui dans une dizaine de pays. Une version militarisée d'un équipement de Blue Force Tracking embarquant la technologie permet pour quelques milliers d'euros, un coût très inférieur aux solutions classiques du marché couplant odomètre de roue et capteurs inertiels de la gamme tactique, de localiser un véhicule avec une précision équivalente.

Dans sa version civile, elle est aujourd'hui en expérimentation dans les domaines du ferroviaire, du métro, du portuaire, de l'aéroportuaire, du transport de valeur ou encore de la logistique et du minier. L'automatisation des véhicules dans ces différents domaines (les AGV pour Automated Ground Vehicle), encore émergente aujourd'hui avec un marché en train de se structurer constitue une direction prometteuse pour l'avenir.

La technologie piéton, fonctionnant sans infrastructure et donc sans déploiement préalable, a été conçue pour permettre une utilisation aisée par les forces d'intervention. Dans ce cadre, elle se présente comme une solution sans équivalent pour les forces spéciales mais aussi pour la localisation dans le futur du fantassin, des forces du Ministère de l'Intérieur ou des pompiers.



Dans sa version civile, elle est aujourd'hui mise en œuvre dans le cadre d'expérimentation autour des questions de maintenance ou de sécurité dans les du nucléaire, du ferroviaire, du transport, dans des usines notamment chimiques et dans différents environnements industriels. Elle représente une clé pour le développement d'applications de réalité augmentée pour lesquelles elle permet de s'affranchir des limitations liées à l'utilisation de caméras d'intensité ou de profondeur. Pour autant sa première application industrielle est médicale avec un partenariat structurant depuis 2010 avec le département d'études cliniques de l'Hopital la Pitié Salpêtrière. Elle permet en effet d'estimer très précisément les mouvements d'un membre et donc de calculer avec une précision inégalée différentes variables caractéristiques de l'état d'un patient, permettant ainsi de réduire significativement le coût des études de phase trois relative à l'efficacité d'un traitement.

L'émergence et le développement de la technologie magnéto-inertielle

Synnav, à l'origine de cette technologie dont elle est propriétaire a acquis une avance technique et un savoir faire considérable reconnus dans le monde entier protégés par un portefeuille d'une quinzaine de brevets sur le sujet. Les premiers équipements et systèmes ont été commercialisés en propre par Synnav en 2014, ces premiers systèmes fonctionnaient

sur le principe de boîtes noires de type avion dont les données étaient exploitées en temps réel de ces systèmes avec les interfaces utilisateur adaptées. On peut remercier la DGA pour avoir accompagné une première fois le développement de cette technologie au travers d'un RAPID qui a permis d'établir en amont une preuve de concept de son application pour le piéton.

Dans un autre domaine, Synnav a réalisé pour Parrot le système de navigation de l'ARdrone, premier drone capable de vols automatiques hors couverture GPS.

Elle a aussi une reconnaissance d'intérêt de la part du domaine médical, particulièrement exigeant s'il en est, et prépare une certification ISO13485 en 2015.

Elle continue d'investir lourdement sur les deux volets de cette technologie, à savoir une chaîne de mesure particulière immatérielle (le « magnétique ») et des algorithmes de calcul de haute précision, pour conserver durablement cette avance.

Pour Synnav qui a vu sa technologie naître au sein du centre d'expertise de la défense spécialisé dans le domaine de la navigation et qui prépare en 2015 une certification EN9100 militaire, quelle plus belle reconnaissance que celle de voir un jour ses équipements embarqués pour servir la Défense française en équipant tous les véhicules ou les piétons là où avant on faisait du 1 sur 4? 🐼

Mr Amilcar MARQUES

situé à Chennevières-sur-Maine, est un **COACH DE VIE, COACH PROFESSIONNEL ET PERSONNEL**

Il vous accompagne pour vous redonner confiance en vous, pour faire face et pour trouver des solutions aux difficultés que vous traversez.

Coaching

Accompagnement - Coaching d'équipe - Coaching de vie - Coaching professionnel - Accompagnement vers un objectif

Étapes du coaching

- Preise en main - Recueil de la demande - Établir l'état présent
- Se projeter vers un état désiré - Détermination d'un objectif
- Reconnaitre les points de blocage et déterminer les options
- Déterminer les stratégies - Construire un plan d'action

Services+

Dans le cadre de votre entreprise, M. Marques vous propose des séances de coaching qui peuvent être considérées comme des séances de formation.

<http://www.amilcarcoaching.fr>
 Tél. : 06 20 91 43 68 Mail : amilcar.marques@free.fr
 27 av. Maurice Ravel 94430 Chennevières-sur-Maine

TDA ARMEMENTS SAS

Un siècle au service de nos forces !

1915

Edgar BRANDT invente, sur le front, un obusier pneumatique de tranchée de 60 mm offrant aux fantassins l'appui dont ils ont besoin au contact.

Héritière d'un siècle d'innovations et d'expérience et présente sur tous les théâtres d'opérations où nos forces sont engagées, TDA forge, aujourd'hui encore, les armes dont nos soldats ont besoin.

TDA produit (entre autres) des mortiers de 81 mm et de 120 mm (et leurs munitions) et des systèmes de roquettes activées par induction (SRAI)...

TDA ARMEMENTS SAS - BOULEVARD YARDON - F-45240 LA FERTE-SAINTE-AUBINE
 Tél. : 03 23 21 04 90 - contact@tda-armements.com - www.tda-armements.com



Le Neuron, un drone hautement robotisé.

FCAS VERS L'ÈRE DES DRONES DE COMBAT ?

Notifiée le 30 octobre dernier, la phase de faisabilité du projet FCAS (*Future Combat Air System*) représente une étape cruciale dans le développement des drones de combat. Annoncés comme les *game changers* de l'aviation de combat, ces futurs systèmes promettent non seulement d'être porteurs de ruptures capacitaires et d'innovations technologiques mais également d'être un moyen de structurer l'industrie européenne du domaine.



par **Philippe Koffi**, ICA

DIRECTEUR DU SEGMENT DE MANAGEMENT « DRONES DE COMBAT » À LA DGA

X94 Supaéro, Philippe Koffi a été en charge entre 2005 et 2011, en tant qu'architecte concepteur d'ensemble puis manager, du programme Neuron pour lequel il vient de recevoir la médaille vermeil de l'Académie de l'Air et de l'Espace.

Le drone de combat, une option crédible pour le FCAS

L'horizon 2030-2035 correspond pour la France à une perte de capacités causée par le retrait simultané des derniers Mirage 2000 et des premiers avions Rafale et donc au besoin d'une mise en service d'un Système de Combat Aérien Futur (SCAF). Pour y répondre, depuis plusieurs années les études et réflexions conduites par la DGA sur les drones de combat ou UCAS (*Unmanned Combat Air System*) ouvrent de nouvelles perspectives en matière de systèmes aériens de combat.

Les études de concept engagées semblent en effet montrer qu'une force mixte, composée d'avions pilotés (avions Rafale de nouvelle génération) et d'UCAS, pourrait constituer le meilleur compromis en termes de capacité opérationnelle, de maîtrise du coût global et

de maîtrise des risques technologiques. Tout d'abord les UCAS, profitant des avantages du cockpit déporté, donnent accès à un haut niveau de furtivité à coût raisonnable ainsi qu'à un accroissement de la persistance et/ou du rayon d'action. Ces avantages, combinés à l'absence de risque de perte ou de capture de l'équipage, augmenteront la liberté d'action politique et militaire et permettront, dans un environnement de haute intensité tel qu'envisagé à l'horizon 2030-2040, de continuer à garder la capacité à entrer en premier et à frapper dans la profondeur, voire de mener des missions hors de portée de la flotte actuellement en service (suppression des défenses sol-air, persistance sur de vastes zones non permises pour l'acquisition du renseignement et pour le traitement des cibles d'opportunité). Par ailleurs, les principes de contrôle

à distance de ce type d'aéronef permettant d'augmenter fortement le ratio « simulation / vol réel » pour l'entraînement des opérateurs, les drones de combat représentent une rupture par rapport aux systèmes actuels en termes de concepts d'utilisation en temps de paix et en termes de coûts de possession. Ainsi la forte complémentarité entre l'UCAS et le couple avion piloté / missile de croisière est de plus en plus vue comme un moyen de maintenir la France dans le cercle restreint des nations ayant une capacité de combat aérien de premier plan.

Un projet FCAS fédérateur

Dans cette logique et afin de préparer le lancement en réalisation d'un éventuel programme SCAF lors de la première moitié de la prochaine décennie, le projet FCAS a été initié en coopération franco-britannique dans le cadre du traité de Lancaster House de novembre 2010.

L'un des enjeux majeurs de ce projet porté par la DGA sera de développer les technologies de 6^{ème} génération qui permettront d'augmenter la survivabilité et l'autonomie des futurs aéronefs, et de les rendre plus à même de tirer parti d'un fonctionnement en réseau et de modes d'action multi-plates-formes. Il s'agira également de permettre le développement de systèmes de combat plus ouverts et plus modulaires permettant de les faire évoluer rapidement et à moindre coût. L'accent est

donc mis sur les technologies de discrétion et de guerre électronique, sur les moteurs plus fiables et plus discrets et les systèmes-avion plus électriques, sur les nouvelles architectures avionique et les fonctions d'autonomie décisionnelle, sur les antennes multifonctions, l'imagerie SAR (*Synthetic Aperture Radar*) à très haute résolution et la fusion de données multicapteurs et sur des liaisons de données satellitaires ou tactiques à haut débit, robustes et discrètes. Les UCAS représentant le plus haut niveau de défi technique, ces développements technologiques sont donc orientés par les besoins des drones de combat, mais avec le souci d'un large spectre d'application des technologies, au bénéfice notamment des avions de combat pilotés. Cette recherche de synergies est en effet fondamentale en période budgétaire contrainte et elle permet de ne pas obérer les choix qui seront faits pour le SCAF à l'horizon 2020.

Par ailleurs, si le programme Neuron, qui entame la dernière phase de sa campagne d'essais en vol, était à but purement technologique, le projet FCAS doit permettre aux opérationnels de s'approprier au plus tôt ces systèmes de rupture pour préparer leurs futurs concepts d'emploi et identifier leurs contraintes d'utilisation. Dans un premier temps, cela passera par le développement d'une démarche d'ingénierie système dont la principale finalité sera de capturer progressivement l'expression du

besoin opérationnel pour un UCAS et qui reposera essentiellement sur la mise en place d'un environnement global d'évaluation, le FCAS *Simulation Laboratory*, au sein de l'UM ACE avec le soutien du CATOD (Centre d'Analyse Technico-Opérationnelle de Défense). Dans un second temps, le développement et la réalisation d'un démonstrateur d'UCAS devront permettre de mener des démonstrations en vol à caractère opérationnel.

Enfin, le projet FCAS, tout en maintenant les compétences industrielles clés, initie en Europe la nécessaire adaptation de la filière industrielle de l'aviation de combat, considérant que le programme opérationnel SCAF qui suivra au cours de la prochaine décennie ne sera raisonnablement abordable budgétairement qu'en coopération. Le Royaume-Uni étant le seul partenaire en Europe à avoir investi significativement dans le domaine ces dernières années et à avoir développé une vision de son système de combat aérien futur à l'horizon considéré, il s'agira, au travers de FCAS, de créer les conditions d'une réduction des duplications pour évoluer vers des dépendances mutuelles autour du couple franco-britannique, tout en préservant certains domaines de souveraineté nationale ainsi qu'une réversibilité adéquate.

Une phase de faisabilité décisive

La première phase du projet FCAS, la phase de faisabilité, vient donc d'être notifiée aux six industriels franco-britanniques majeurs (Dassault Aviation, BAE System, Thales, Selex, Snecma et Rolls-Royce) pour un montant de 250 M€ HT et une durée de 2 ans. Elle vise principalement à estimer la capacité du drone de combat à répondre aux enjeux opérationnels à l'horizon 2030 et évaluer sa faisabilité technique à coût abordable. Elle doit ainsi éclairer les décisions concernant la future phase de démonstration dont le lancement est prévu en 2017 pour une durée d'environ 8 ans.

Pour atteindre ces objectifs, l'épine dorsale de cette phase sera constituée d'études de concepts et d'architectures d'UCAS, qui permettront notamment de sélectionner la taille, la forme en plan et la motorisation de la plate-forme. Elle comprendra également une première phase de maturation des technologies clés, la conception des outils de simulation et l'élaboration de la meilleure stratégie de démonstration pour la phase ultérieure. 📌



L'homme est toujours présent !

SCAF ou Système de Combat Aérien Futur est la combinatoire d'une ou plusieurs composantes pilotées ou non qui sera mise en service en France à l'horizon 2030.

FCAS ou *Future Combat Air System* est le projet franco-britannique, constitué d'une phase préparatoire, d'une phase de faisabilité et d'une phase de démonstration qui vise à préparer le SCAF (pour la partie française).

LA GUERRE DES MINES NAVALES, MOTEUR DU DÉVELOPPEMENT DES DRONES MOUILLÉS



par **Alain Hetet**, IPETA

■ **ARCHITECTE ESSAIS, EXPERTISE, EVALUATION DU PROGRAMME SYSTÈME DE LUTTE ANTI-MINES FUTUR (A3E SLAMF)**

Alain Hetet, ingénieur ENSIETA et docteur de l'université Pierre et Marie Curie, a effectué une carrière essentiellement au service de la guerre des mines navales. Il a été l'architecte et le manager du programme SLAMF et des études amont associées.



par **Maud Amate**, IPA

■ **ARCHITECTE PROJET DU SYSTÈME DE COMBAT NAVAL (APJ SDCN) DU PROGRAMME SYSTÈME DE LUTTE ANTI-MINES FUTUR (SLAMF)**

Ingénieur ENSIETA, diplômée d'un MSc en traitement d'image et du signal (Cranfield University, UK), Maud Amate a débuté sa carrière à DGA/GESMA. Depuis janvier 2010, elle assume la fonction d'Architecte Système de Combat Naval du programme Système de Lutte Anti-Mines Futur.

Si, dans le domaine naval, les drones comprendront bien entendu des vecteurs aériens, une autre catégorie lui est bien plus propre. Il s'agit des drones « mouillés » de surface, ou sous-marins. Afin d'éloigner les équipages de la menace, le programme Système de Lutte Anti-Mines Futur (SLAMF) compte faire usage de cette dernière catégorie pour assurer les fonctions opérationnelles de lutte contre les mines navales. Le contrat ESPADON a posé les bases de leur utilisation. Des enseignements ont déjà été tirés. Si, pour un robot, la fonction classique à développer est la fonction « voir et éviter », plusieurs autres enjeux à résoudre sont propres aux drones sous-marins et de surface pour la Guerre des Mines.

Le Futur de la Guerre des Mines Navales

Aujourd'hui, la lutte contre les mines est conduite par des navires qui sont amenés à s'exposer et exposer leur équipage au danger en pénétrant dans la zone minée. En opérations extérieures, ces navires doivent aussi s'approcher des côtes adverses au risque d'être exposés à des menaces d'origine terrestre. La vision du programme Système de Lutte Anti-Mines Futur (SLAMF), premier programme naval français à vouloir intégrer des drones « mouillés », de surface ou sous-

marins, à grande échelle, est de construire une architecture qui maintient l'équipage en sécurité, d'obtenir un dimensionnement performant en termes de résultat opérationnel, de bâtir une capacité projetable, modulaire et efficace contre les nouvelles menaces.

La flottille de navires très spécialisés existante (en particulier les chasseurs de mines, porteurs de sonars de coque), pourrait ainsi être remplacée par des modules de détection et de neutralisation à distance des mines. Ces modules seraient déployés à partir de navires porteurs, plus simples et opérants à distance.



Vision de l'utilisation des drones mouillés dans le contexte du programme SLAMF

La France n'est pas la seule à vouloir accomplir cette transformation. Doter les forces d'une capacité robotisée de lutte contre les mines navales est un défi technique et opérationnel nécessitant un partage des risques au travers de la communauté internationale de défense. À cette fin, le programme est un enjeu de coopération. Aujourd'hui, la France et la Grande-Bretagne ont souhaité relever ce challenge ensemble en lançant l'étude, le développement et la qualification d'un système de drones via l'OCCAR.

De l'automate au robot et de la discussion autour du rôle des opérateurs

Les études préliminaires menées en France et au sein de l'Agence Européenne de Défense ont montré que les drones navals étaient attendus pour sécuriser les personnels en opération, exécuter des tâches fastidieuses ou à faible valeur ajoutée. Ils offrent potentiellement une économie de ressources humaines et une permanence en opération sur trois scénarios principaux : protection des approches maritimes des ports militaires et civils, passages de détroit et opérations de projection de type amphibie. L'automatisation des tâches de chasse aux mines implique une évolution des doctrines opérationnelles. La simulation et l'expérimentation technico-opérationnelle s'avèrent indispensables afin de préciser les concepts d'emploi avec leur levée de risques.

Les technologies prises individuellement semblent être matures. Il est possible de programmer les engins et de réaliser automatiquement des relevés de fonds puis de coordonner l'action d'un engin d'intervention. Après le développement des premiers automates maritimes, en intégrant de plus en plus d'intelligence, le domaine évolue progressivement vers des robots à part entière. De fait, suite à l'emploi de drones, à la transformation des concepts d'emploi, voire à la nécessaire évolution des compétences pour leur mise en



Drone sous-marin faisant surface

œuvre, certaines difficultés d'ordre psychologique apparaissent. D'autres complications découlent du vide juridique lié à la responsabilité d'emploi et par les contraintes réglementaires à venir concernant la sécurité maritime et l'autorisation de navigabilité de ces équipements. Au-delà du développement de la fonction « voir et éviter », caractéristique de tout robot, de surface, aérien ou naval, certains enjeux spécifiques aux drones sous-marins de lutte contre les mines restent à maîtriser.

D'abord, il est essentiel de situer les drones dans les systèmes dont ils relèvent et dans l'environnement dans lequel ils évoluent. À ce titre, la proportion entre la télé-opération, l'automatisation, l'autonomie décisionnelle complète, la coopération système habité / robot et la coopération multi-robots est d'une importance toute particulière. Dans cette optique la récupération automatique d'un engin par un autre nécessite une attention toute particulière.

Ensuite, les difficultés liées à l'établissement de communications robustes haut débit et discrètes à longue distance (notamment en sous-marin) militent pour une intelligence embarquée et une interprétation très automatisée des données recueillies. Cela étant, **l'intelligence artificielle a des limites et une stratégie hybride reste à établir et valider entre la nécessité de contrôle des données par un opérateur humain et la confiance que l'on peut apporter au système automatique lui-même.**

Enfin, le dernier point concerne les difficultés de positionnement sous-marin (pas de GPS sous-marin). Lors d'une recherche, l'objet est localisé avec une certaine précision. Il devra être relocalisé avant d'effectuer l'intervention. Ce processus de localisation devra être partagé intelligemment au travers d'une coopération multi-robots hétérogènes : un premier qui procède à la recherche, l'autre qui procède à l'intervention.

À ce jour, la stratégie retenue est de maintenir l'opérateur au cœur de l'action et de définir l'architecture hybride répondant le mieux aux exigences de la mission en terme de planification, prise de décision, supervision, contrôle d'exécution et suivi de situation.

ESPADON : Evaluation de Solutions Potentielles d'Automatisation du Déminage des Opérations Navales

Pour répondre au besoin exprimé par les opérateurs, une architecture fondée sur un sys-



Drone de surface Sterenn Du, pièce maîtresse du contrat ESPADON, tractant une drague à influence magnétique et acoustique lors des essais conduits à Brest, en 2013, dans le cadre d'une étude avec l'Agence Européenne de Défense (AED)

tème de drones mouillés a été proposée : un navire dédié à la lutte contre les mines reste à distance de sécurité de la menace et déploie, opère puis récupère des drones de surface conçus pour opérer dans le champ de mines et tracter des sonars latéraux ou déployer et opérer des robots sous-marins qui forment ainsi la troisième composante de cette architecture. Le contrat « ESPADON » a été passé à un consortium français, constitué des sociétés DCNS, TUS et ECA, pour étudier, réaliser et évaluer un démonstrateur technologique et « dé-risquer » ainsi le lancement du programme SLAMF, encore aujourd'hui au stade d'orientation. Ces travaux ont permis d'apprécier le niveau de maturité technologique des briques élémentaires constituant l'architecture. Par exemple, **des résultats remarquables ont été obtenus comme la récupération automatique par mer formée d'un drone sous-marin autonome par un drone de surface lui-même autonome**, l'ensemble étant supervisé depuis la terre à une distance de plusieurs nautiques. Au-delà de ces résultats, ces travaux ont aussi permis de prendre conscience de la complexité d'ensemble de ce système de systèmes et d'ouvrir la voie à la recherche de pistes d'améliorations et de simplification, nécessaires à l'obtention d'une solution robuste et opérationnelle. Cette optimisation est engagée à travers la spécification fonctionnelle établie pour la réalisation du prototype de système de drones franco-britannique. 🐼

CE QUE VEUT L'INTERNAUTE

UTILISATIONS ET CHALLENGES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS L'INTERNET MODERNE

Le web moderne a vu les applications à la robotique et à l'intelligence artificielle exploser. Soutenus par deux domaines d'application que sont la publicité ... et le crime, les robots ont envahi la toile, récoltant et organisant des quantités faramineuses d'informations, de plus en plus à l'insu des internautes.

Ceux d'entre nous qui ont l'honneur d'administrer un serveur web quel qu'il soit (site web d'entreprise, serveur mail, administration à distance, etc.) ont pu constater qu'une partie non négligeable du trafic qu'ils reçoivent ne correspond pas à de l'activité humaine, mais de robots, appelés web crawler ou web spider. Quoique la mesure soit difficile à réaliser précisément, il est bien clair que la barre des 50 % du trafic mondial a été dépassée, avec environ la moitié de celui-ci constitué de robots malveillants.



par **Nicolas Guillermin**,
IPA

Nicolas Guillermin (X - Telecom Paris) intègre en 2006 le CELAR puis DGA. MI dans le domaine de la sécurité des systèmes d'information. Il est aujourd'hui responsable technique du centre d'analyse pour la lutte informatique défensive (CALID¹).

¹ - Organiquement rattaché à la DIRISI, le CALID est le centre de cyberdéfense du ministère de la défense expert pour la lutte informatique défensive, au service direct de la cellule Cyber du centre de planification et de conduite des opérations (CPCO). Il assure la surveillance des réseaux du ministère de la défense et la réponse aux attaques informatiques.

Naturellement, le coût induit par une telle quantité de trafic et le développement de l'algorithme associée n'est pas négligeable, et nécessite donc un retour sur investissement, et à en croire les résultats financiers des moteurs de recherche (Google en premier), ou l'évolution du chiffre d'affaire de la cybercriminalité, on peut estimer que le défi a été relevé avec succès. Car il ne faut pas se méprendre sur les objectifs de cette activité, ils sont naturellement mercantiles : le « *business model* » est d'attirer le produit (nous bien sûr) vers le client, qui va du site de e-commerce pour les plus légitimes aux ventes en ligne de produits illicites (armes, drogues, médicaments) et à la recherche de serveurs vulnérables aux attaques pour celles qui le sont un peu moins. L'activité de ces robots crawler n'est donc que le commencement d'un long processus totalement automatisé de valorisation de l'information visant à comprendre ce dont l'utilisateur pourrait avoir besoin et serait disposé à acheter (ou à se faire escroquer).

Récolter ...

L'idée simpliste d'une navigation aléatoire sur les sites en suivant les liens se complique fortement avec la structure du web actuel. Des estimations réalisées en 2001 par des chercheurs de l'université de Berkeley indiquaient déjà que le *deep web* (la partie du web non at-

teinte par les robots d'indexation mais accessible publiquement) était 550 fois plus grande que la partie visible indexée. La multiplication des technologies comme les pages web dynamiques (générées à la volée lors de la visite des sites), l'utilisation massive de *javascript*, qui ne sont en général pas exécutées par les robots et d'autres technologies anti-robot comme les *captcha* rendent le travail de développement des algorithmes de parcours de plus en plus complexes, et l'on peut avoir la certitude que cette proportion a encore grandi.



Un autre danger qui guette cette récolte est la manipulation de l'information : puisque les robots d'indexation se présentent en général comme tels lors de leur visite (exemple du *googlebot* ou du moteur *bing* de Microsoft) l'administrateur d'un site (ou un hacker qui en a pris le contrôle) peut facilement en modifier le contenu et servir au robot un contenu totalement différent. Il pourra ainsi se servir d'un site à haute visibilité pour faire remonter son référencement, et son nombre de visites. La requête google suivante : « *viagra site:gouv.fr* » finira de vous convaincre que ça n'arrive pas qu'aux autres ! Du côté des *crawlers* malveillants, pas question de faire preuve d'autant de naïveté, mais plutôt de rechercher automatiquement ce qui pourrait servir leur vils desseins : recherche de services vulnérables sur internet (voir le

moteur *Shodan*, le « google des hackers » dont l'objectif est le référencement de l'ensemble des machines connectées et des services ouverts), de sites web présentant des failles bien connues (à ce titre, le nombre de sites internet défigurés lors de l'opération #OpFrance faisant suite aux attentats du 7 Janvier 2015 laisse présumer que le processus d'identification des sites et des attaques était fortement automatisé), ou des adresses mails valides, futures victimes des *spambots*.

... servir

Le deuxième défi dans ce domaine est bien sûr l'organisation de la donnée récoltée pour servir systématiquement la plus pertinente à l'utilisateur. Si dans le contexte des activités malveillantes c'est relativement aisé (tout est pertinent pour le criminel du moment qu'il peut gagner de l'argent avec), pour les moteurs de recherche le sujet est beaucoup plus complexe et certainement celui qui fait la différence : en effet le chiffre d'affaires d'un moteur de recherche est directement lié au nombre de requêtes réalisées, qui sont autant de chances de vendre de la publicité (voir partie suivante). Le cycle vertueux traditionnel de la satisfaction client se met donc en place malgré la gratuité : le moteur de recherche doit fournir le meilleur contenu possible pour fidéliser ses utilisateurs, et pouvoir leur servir plus de publicité. Dans ce domaine, le grand défi est de ne pas se faire manipuler par les fournisseurs de contenu, qui rechercheront de leur côté à s'assurer du meilleur référencement possible. Ce domaine est même devenu une industrie plus connue sous le nom de *Search Engine Optimization* (SEO). Parmi les techniques utilisées, l'usage massif de *buzzwords* dans des sites de faible qualité édito-

riale, ou l'abus du *netlinking* (référencement abusif par des sites externes complices) a été largement combattu par les moteurs de recherche. Les objectifs annoncés par Google des algorithmes *Panda* et *Penguin* décrits sur leur site et dont l'objectif est littéralement d'exclure les résultats de mauvaise qualité sont révélateurs de la complexité à laquelle ont eu à faire face les ingénieurs de *Mountain View*. Pour cela, l'allié le plus naturel est l'utilisateur, qui reviendra systématiquement d'un mauvais lien pour passer au suivant, ce que n'aura pas manqué de noter votre moteur de recherche préféré (et c'est là que le traçage de l'utilisateur commence ...).

... et encaisser

Jusque dans les années 2010, le *business model* était simple : fournir en plus des résultats d'analyse, bien placés dans la page de résultat, les liens de ses clients, et se faire rémunérer au clic. Ces résultats « artificiels », moins pertinents risquant de faire perdre l'intérêt des résultats et d'agacer l'utilisateur, une tarification à la pertinence a été adoptée : plus le lien commercial est pertinent, moins il est cher à intégrer, et plus vous avez de chances que l'internaute clique dessus.

Bien sûr, pour que ces processus automatiques de fixation des prix (n'oublions pas qu'ils sont déterminés en quelques millisecondes) soient efficaces, il faut que les probabilités de réussite (que l'utilisateur clique) soient bien mesurées, donc il faut beaucoup d'utilisateurs.

Les années 2010 ont vu le développement du *real time bidding* ou RTB avec cette idée simple : offrir les encarts publicitaires proposés à chaque visite d'un internaute sur

Le Real time Bidding

Le RTB est un mécanisme consistant à mettre aux enchères un encart publicitaire au moment même où l'utilisateur consulte le site qui le vend. Concrètement lors d'une visite sur un site web, c'est l'utilisateur qui appelle (sans s'en apercevoir) le serveur publicitaire ou *ad server*, en lui fournissant l'ensemble de ses cookies, révélateurs de ses connexions passées et donc de ses centres d'intérêt. Ce serveur met donc aux enchères vis-à-vis des annonceurs l'encart, qui se verra emporter alors par le plus offrant, plus précisément à la valeur du deuxième plus offrant + 1 centime. Ce processus complet ne devant pas gêner l'internaute, il se réalisera en quelques millisecondes, sans aucune intervention humaine.

Les captchas



Un *captcha* ou « *Completely Automated Public Turing test to tell Computers and Humans Apart* » se présente en général comme une image automatiquement générée représentant un texte qu'un humain doit réécrire dans un formulaire, tâche sensée être difficile pour un robot car nécessitant des techniques avancées de traitement de l'image. Si des outils de lecture de captchas existent et sont en pleine expansion, la méthode la plus utilisée pour les contourner est la soumission croisée sur un site complice (des sites à haute visibilité comme les sites pornographiques par exemple), permettant aux robots d'obtenir la réponse sans effort d'ingénierie. Notez que cette technique est aussi utilisée par les grands du web (Google, Microsoft) pour déchiffrer les passages délicats lors des numérisations de documents papier.

un site à l'annonceur qui sera prêt à payer le plus pour lui exposer sa bannière de publicité. Pour cela il n'est plus suffisant de présenter le site, mais il faut aussi amener un maximum d'informations sur l'utilisateur à qui on va présenter la publicité. On peut compter sur les mécanismes de traçage disponibles et notamment le mécanisme de cookie des navigateurs : leur mise en place est réalisée par d'autres robots que l'on trouve sur internet appelés *Data Management Platform* (DMP), que nous rencontrons régulièrement pendant notre navigation et qui y incluent des comportements, des indications de lieu, des centres d'intérêt, etc ... avec la désagréable impression que l'ensemble du net épie notre vie privée quand nous naviguons. Reste à espérer (naïvement ?) que cette immense quantité de données collectées ne sert réellement qu'à nous vendre de la publicité ...

Interview de **Arnaud Ramey**, IA

■ EXPERT ROBOTIQUE À LA DGA TT

EXPERTISE ROBOTIQUE TERRESTRE

Depuis début janvier, nous sommes 14 IA (X 2010) à suivre notre formation administrative et militaire (FAMIA) qui précède notre prise de poste en septembre prochain. Quatre de nos camarades suivent par ailleurs le cursus recherche. Après deux semaines de tronc commun, nous avons entamé un cycle de semaines à thème où nous alternons conférences et visites de sites ou d'entreprises. Après avoir découvert les domaines naval et aéronautique nous finissons actuellement la semaine dédiée à l'armement terrestre, ponctuée par les visites de SAGEM, THALES AIR SYSTEMS, NEXTER et DGA/TT. Nous y avons rencontré Arnaud (X 2006) en poste au département Robotique et Mini-Drones à Bourges.



La FAMIA 2015 en visite à Bourges ; Derrière : Benoît QUESSON Maico, LE PAPE Thomas FLAMME, Stéphane PICHON (DGA TT), DGA TT, Sébastien CHAPRON (DGA TT), Matthias BRY, Gabriel AULARD DORCHE, Benoît DARRASSE / Devant : Richard CASTAING, Raphaël BOUGANNE, Michael de MERIC de BELLEFON, Françoise PRIVAT (CGARM), Emma LE RALLEC, Bertrand RONDEPIERRE, Henri RUGGIERO, Camille VIALON (DGA TT), Sandra CAMPO (CGARM)

La CAIA : D'où vient ta passion pour la robotique ?

Arnaud Ramey : J'ai réellement découvert la robotique lors de ma scolarité à Polytechnique. J'avais une passion depuis longtemps dans des domaines tels que l'intelligence artificielle ou le traitement de l'information mais ces connaissances se révélaient difficilement applicables au monde réel. En deuxième année d'études j'ai pu suivre un module expérimental en robotique dans les laboratoires de l'X. Nous avons étudié des algorithmes d'intelligence artificielle sur de petits robots, les *Khepera*, ressemblant aux petits robots aspirateurs. C'était la première fois que nous appliquions des connaissances théoriques et où nous avions l'occasion d'en visualiser les effets, j'y ai trouvé un véritable intérêt ! J'ai donc orienté la suite de ma formation dans cette optique et ai suivi l'année suivante un programme

d'approfondissement sur le traitement d'images appliqué à la robotique. Par la suite j'ai intégré la DGA et ai convenu avec elle de prolonger mes études dans ce domaine en quatrième année à Stockholm, à l'*Institut royal de technologie* (KTH - <https://www.kth.se/en>) puis en thèse en Espagne dans le laboratoire *RoboticsLab* de l'université *Carlos III de Madrid* (<http://roboticslab.uc3m.es/roboticslab/>).



Le DROGEN

La CAIA : Par la suite tu as donc réussi à prendre un premier poste lié à tes études ?

AR : Oui, j'ai eu la chance d'être parrainé pendant ma thèse par Aurélien GODIN, à l'époque chef du département robotique à DGA/TT. Je suis resté en contact avec lui tout au long de ma thèse et il a proposé une fiche de poste dont les compétences correspondaient aux miennes. C'était l'opportunité rêvée de mettre en pratique les connaissances accumulées durant mon parcours et de jouer un véritable rôle d'expertise en robotique !

La CAIA : Aujourd'hui quelles sont tes activités ? Sur quels systèmes travailles-tu ?

AR : Mon département traite également de robotique et mini-drones (moins de 25 kg). Il travaille en « équipe intégrée » : opérateurs, responsables d'essais et experts travaillent ensemble. Cette véritable synergie permet une



Evaluation du Mini ROGEN

cohérence d'ensemble sur notre évaluation des systèmes.

Je suis chargé d'expertise (ce qui correspond souvent au premier poste en centre des jeunes IA) en robotique terrestre, et travaille exclusivement sur ces systèmes. J'interviens à trois reprises lors du cycle de vie des systèmes équipant les forces. Premièrement, lorsqu'un client, souvent les forces, exprime le besoin d'un système, je transcris ce besoin « opérationnel » en termes techniques et contractuels. Deuxièmement, une fois que les industriels remettent des propositions suite à ce besoin, j'évalue la pertinence de leur offre face au besoin. Enfin, j'assure le suivi d'un système utilisé dans les forces, le Mini ROGEN (Robot du Génie) déployé dans le 13^e Régiment du Génie.

La CAIA : Nous venons d'assister à une présentation de mini-drones (Card CH, Orbiter 2B, NX 110) et d'un petit robot (le Mini ROGEN). A ton avis quels peuvent être leurs apports dans les différentes armées et plus spécifiquement dans le combat de l'infanterie ?

Plusieurs systèmes sont déployés dans les forces, comme le système DROGEN (Drone du Génie), ou le DRAC (Drone de Renseignement au Contact). Ils ne sont pas utilisés pour engager le contact, mais afin d'obtenir du renseignement sans se mettre en danger : ils jouent le rôle d'œil déporté du soldat, lui permettant de voir sans être vu.

Ces initiatives sont prometteuses : dans le cadre du programme Scorpion, le grand programme de renouvellement et de modernisation des moyens de l'armée de terre, la robotique et les mini-drones ont été identifiés comme pouvant jouer un rôle important.

La CAIA : Comment pourra-t-on les intégrer à la démarche de numérisation de l'espace de bataille tout en respectant les contraintes SSI ?

AR : Effectivement, des données telles que la position des forces alliées (*Blue Force Tracking*) sont sensibles : des méthodes de protection des données sont essentielles pour empêcher toute compromission. Des efforts particuliers sont faits concernant les moyens de télécommunication du futur, cf. par exemple le système SICS (Système d'Information et de Combat de Scorpion) et la radio Contact, qui s'intégreront dans Scorpion. Il est trop tôt cependant pour prédire comment les robots et mini-drones s'interfaceront avec ces moyens.

La CAIA : Vous avez accueilli récemment des entreprises pour un concours de robotique ? Quels étaient les objectifs de ce concours et quels étaient vos moyens d'évaluation ?

AR : Pour réaliser sa mission, un robot a besoin d'une analyse cohérente du monde qui l'entoure.

Malheureusement, de nombreuses raisons rendent difficile la navigation des robots dans un environnement indoor, comme la complexité de l'architecture ou les conditions difficiles pour les capteurs (mauvaise lumière, surfaces réfléchissant les télémètres laser, etc.).

Le défi Carotte (Cartographie par Robot d'un Territoire) a eu lieu sur 3 années successives, entre 2010 et 2012. En partenariat avec l'Agence Nationale pour la Recherche, ce projet a réuni 5 équipes, certaines industrielles, d'autres académiques. Dans cette compétition, chaque équipe a développé sa plateforme robotique. Celle-ci utilise des algorithmes développés en interne devant cartographier un environnement indoor inconnu et reconnaître des objets en un temps limité, le tout de manière complètement autonome.

Pour les équipes, ce fut une formidable occasion de développer leurs compétences dans le domaine de la cartographie d'environnements indoor.

Pour la DGA, ceci nous a permis de développer nos méthodes d'évaluation à la robotique autonome. Nous nous sommes également équipés de moyens d'essais ambitieux, notamment d'un complexe d'évaluation modulaire et reconfigurable adapté à la mini-robotique, et qui nous permet aujourd'hui de pouvoir évaluer de manière représentative des systèmes robotiques complexes.

Propos recueillis par Henri Ruggiero, IA



Une équipe du Défi CAROTTE

SANS LA ROBOTIQUE, PAS DE SPATIAL

LE SPATIAL N'EXISTERAIT PAS SANS LA ROBOTIQUE

Les lanceurs, les satellites ou les sondes interplanétaires possèdent tous des senseurs, des actuateurs et un ou des calculateurs. La robotique est une nécessité pour réaliser des missions spatiales. Cependant son développement est freiné par les spécificités du milieu spatial : réparation impossible, environnement agressif, réactivité contrainte par le temps de latence des communications.

Mais le futur innovant et ambitieux ainsi que les contraintes financières ne pourront continuer à contenir la robotique dans des tâches limitées et à faible autonomie.

L'histoire du spatial est étroitement liée à la robotique. Les objets spatiaux évoluent dans un environnement hostile (rayonnement, vide ...) pour l'homme. Sans une intelligence à bord, sans calculateur, les lanceurs et les satellites ne pourraient remplir leurs missions : pas de voyage interplanétaire, pas d'observation de la Terre, pas de télécommunication spatiale ...

Le calculateur est le cœur névralgique d'un véhicule spatial. Il assure la gestion de la

plate-forme (orientation du véhicule, contrôle thermique, gestion de la puissance, liaison bord/sol ...) et des instruments.

La robotique au cœur des missions spatiales

Le rendez-vous avec la comète Churyumov Gerasimenko est l'étape finale d'un périple qui aura duré 10 ans et qui aura été permis grâce à l'utilisation de l'effet de fronde des planètes au voisinage desquelles la sonde est passée. Selon les ordres reçus du sol, elle a effectué les poussées qui lui ont permis, avec une faible quantité d'énergie, de modifier sa trajectoire naturelle, fixée par les lois de Kepler. Si chaque manœuvre (dates et durées des pous-

sées) a été définie au sol, c'est le calculateur, avec les viseurs stellaires et les actuateurs bord, qui repéra la position du véhicule, qui effectua les corrections d'attitude nécessaires, et déclencha le système de propulsion selon les consignes.

Pour un satellite d'imagerie optique comme Pléiades, un plan de travail est élaboré quotidiennement. Il indique les images à acquérir. Le centre de mission est responsable de sa construction (les instants de prises de vue, leurs durées, le ou les instruments à utiliser, la loi de guidage pour chacune d'elles), le satellite est en charge de sa mise en œuvre en utilisant les viseurs stellaires et les gyromètres pour se repérer, des actuateurs gyroscopiques

pour se conformer aux lois de guidage qu'il a reçues, et en activant les instruments de prise de vue. A une vitesse de 7 km/s, la précision de pointage permet de viser un point au sol avec une précision 100 m et le pilotage garantit l'absence de vibrations qui donneraient des images floues. En outre, compte tenu du volume gigantesque de données produites, des traitements à bord réalisent les opérations de compression pour réduire ce volume sans altérer l'information contenue.

Pour le véhicule automatique européen (ATV) de desserte de la station spatiale internationale, l'arrimage suit une séquence complexe sous les directives du centre de contrôle. Les phases d'approche successives sont réalisées avec un pilotage du sol, la phase finale est complètement automatique avec 2 points d'attente à 3,5 km puis 250 m où le sol doit autoriser la poursuite du rendez-vous. Le véhicule agit seul ; il détermine sa position et sa vitesse relatives par rapport à la station, calcule et exécute les manœuvres. Les arrimages des 5 ATV ont été remarquables de précision (centimétrique), chaque ATV de 20 tonnes et se déplaçant à 28 000 km/h s'est arrimé, sans toucher au cône de guidage de la station, avec une précision meilleure que 10 cm.

Enfin dans le cadre de mission de planétologie, lorsqu'un robot a été déposé sur le sol, son déplacement est une aventure périlleuse et méticuleuse. Il faut s'assurer que l'atterrissage s'est bien passé, être capable de se repérer, et apprendre à connaître l'environnement (nature du sol, les obstacles ...) avant de se déplacer. Les instruments à bord permettent de faire un panorama, l'exploitation au sol des données de dresser une carte précise du lieu, et seulement après, de commencer les actions de mobilité. On désigne le point à rejoindre, le véhicule établit le trajet puis entame son déplacement.

Le contexte spatial freine l'usage de la robotique

Ces opérations, qui peuvent paraître simples sur Terre, sont délicates dans l'espace et demandent une grande prudence. Plusieurs facteurs viennent freiner le développement de la robotique : le droit à l'erreur n'est pas acceptable, l'environnement spatial est agressif, la latence des communications peut atteindre plusieurs minutes.



Philae

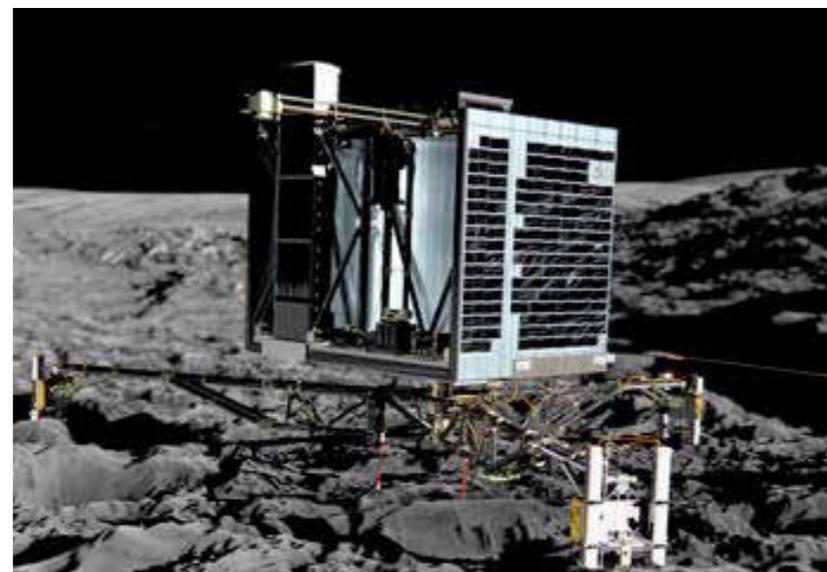
Les véhicules spatiaux ne sont pas réparables. La panne ou l'erreur est souvent fatale car elle peut entraîner la perte d'équipements, rendre impossible les communications avec le sol, mettre fin à la production d'énergie électrique (panneau solaire non orienté vers le soleil) ... L'opération de réparation du satellite Hubble fut exceptionnelle. Elle n'est pas à la portée de tous et restera l'exception. C'est pourquoi la prédictibilité et la reproductibilité des processus et des fonctionnements sont souvent exigées. Des logiques asynchrones ou aléatoires, plus innovantes et plus performantes sont encore peu utilisées. La validation exhaustive des logiques et des arbres de décision est la règle. L'environnement spatial est sévère et agressif pour les composants électroniques, en particulier pour les microprocesseurs, les mémoires, les composants intégrés (ASIC, FPGA ...). Les radiations auxquelles ils sont exposés, les particules énergétiques et les ions lourds qui les bombardent, les températures et les variations thermiques qu'ils subissent, les environnements mécaniques et acoustiques (lors du lancement) qu'ils rencontrent demandent des composants particulièrement robustes au risque de les perturber, les endommager ou les détruire et donc de remettre en cause la mission spatiale. Les composants grand public et même les composants militaires n'offrent pas un niveau de robustesse et de qualification suffisant. Les dernières technologies ne sont pas retenues et la prudence des acteurs du spatial conduit à sélectionner des composants d'anciennes générations. Ces contraintes et cette prudence limitent les capacités de calcul à bord.

Les distances sont aussi un frein à l'autonomie du véhicule spatial. Pour une mission comme Rosetta le temps de latence qui sépare l'émission d'une information de sa réception est d'environ 30 minutes. Lors de l'atterrissage du rover Curiosity sur la planète Mars en 2012, la réussite a été connue avec un retard de 17 minutes. Le temps réel n'existe pas et justifie d'une part une démarche pas à pas et d'autre part la lenteur des opérations de mobilité. Il n'est pas possible de réagir en temps réel si une difficulté survient.

Un futur qui presse le spatial à davantage de robotique

Quelles perspectives pour le futur ? Le progrès spatial est en marche mais à son rythme. Les missions sont toujours plus ambitieuses. La pression sur les coûts ne cesse de se renforcer. Cela conduit à envisager davantage d'autonomie pour les véhicules spatiaux, le recours croissant aux composants commerciaux moins onéreux, plus performants et sans cesse plus robustes.

A quand un satellite intelligent triant la donnée pour ne conserver que celle utile, un satellite qui effectue en toute autonomie son maintien sur orbite, un véhicule capable de capturer des objets non coopératifs en orbite, des satellites qui coopèrent pour réaliser ensemble une mission (le vol en formation), des lanceurs réutilisables, des missions d'exploration robotique de longue durée sur Mars ou la Lune ... Les ingénieurs préparent ce futur. 🚀



Sonde Rosetta



par **Thierry Duquesne**,
IGA

■ DIRECTEUR AU CNES

Après un début de carrière au CNES, Thierry Duquesne a rejoint en 1996 la DGA dans le domaine du renseignement spatial et terrestre, avant d'être architecte du système de forces « contrôle et maîtrise de l'information », et en 2005 directeur de DGA/MI (ex CELAR). Depuis 2009, il est directeur de la stratégie, des programmes et des relations internationales au CNES.



Le bassin de traction de 600 mètres en fonction



Plate-forme (représentant la station internationale) en phase de simulation d'approche finale du Robot (représentant l'ATV)



Vue du robot et de la tente propre



par **Hervé Grandjean**, IPA

X-ENSTA, docteur en mécanique des fluides, Hervé Grandjean a commencé sa carrière au Service de Soutien de la Flotte à Brest, puis a été adjoint du directeur scientifique de l'ENSTA Bretagne, et sous-directeur affaires de DGA Techniques hydrodynamiques. Il est depuis début 2015 le rapporteur de la mission Attali sur l'avenir de l'Ecole polytechnique.

LE NAVAL AU SERVICE DU SPATIAL

Le Véhicule de Transfert Automatique (ATV) développé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), est conçu pour rallier et accoster automatiquement la station spatiale internationale (ISS) à partir d'Ariane 5.

La phase finale d'accostage de l'ATV (à partir de 300 m) met en œuvre une instrumentation variée (laser, vidéomètre, télégoniomètre,...) ainsi qu'un système central d'acquisition, de traitement et de correction de la cinématique et de la trajectoire qui nécessitent que le fonctionnement approprié de l'ensemble de ce système soit vérifié en vraie grandeur avant le vol.

Recherchant dans un premier temps un espace couvert de plus de 300 m, équipé ou pouvant être équipé d'un rail, l'ESA, par un concours de circonstances fortuites, s'est adressée à DGA Techniques hydrodynamiques (Bassin d'essais des carènes à l'époque) en 2003. Assez rapidement, et après quelques réunions, discussions et visites du moyen d'essais, il est apparu que le B600

pouvait être la réponse au besoin de l'ESA. Le scénario envisagé par l'ESA s'est orienté vers une simulation inverse des mouvements par rapport à la situation au réel, c'est-à-dire, utiliser d'une part, la plate-forme du B600, sur laquelle serait montée une cible motorisée et orientable, comme représentative de la station spatiale internationale et d'autre part installer au bout du bassin en zone Nord, derrière le

batteur à houle, un robot équipé d'un bras articulé représentant le module ATV, ses différents senseurs et, bien sûr, pouvant matérialiser sa cinématique.

Des investigations complémentaires furent ainsi déclenchées, en particulier sur les capacités de la plate-forme (profils de vitesse possibles, précision sur la vitesse, accélérations et décélérations, temps de réponse ...) et son système de contrôle-commande pour aboutir

finalement à la réalisation d'une campagne de faisabilité de mesure par télégoniomètre, menée par EADS, principal sous-traitant de l'ESA pour ce projet, afin de statuer sur la réelle capacité à pouvoir simuler cette approche au B600.

Les résultats de cette pré-campagne furent globalement satisfaisants. Ils permirent entre autres de tester la plate-forme dans des plages et modes de fonctionnement non ha-

bituels (par exemple, petite vitesse jusqu'à 5 cm/s) mais ils mirent également en évidence certaines difficultés restant à résoudre ou des améliorations à envisager (position du robot pour avoir une approche au plus près, sécurités à mettre en place, problèmes de réflexion sur la surface de l'eau du bassin, par exemple). L'ESA confirma alors clairement son intention d'utiliser définitivement le B600, et de passer à la véritable phase de spécification pour l'adaptation du moyen B600 aux exigences de la simulation envisagée : commande de la plate-forme depuis l'extérieur, position et fixation du robot, installation de la cible sur la plate-forme, respect des conditions environnementales compatibles du matériel vol ...

Cette phase de préparation du système complet de simulation (plate-forme, cible, robot, système de commande) s'est achevée au début 2004 et a été marquée par la visite des responsables du programme ATV de l'ESA, mais également de 2 astronautes, l'un américain de la NASA, l'autre français du CNES, J.F. Clervoy, rattaché au projet ATV.

Les premiers essais de simulation ont commencé en 2004. L'ultime campagne a eu lieu en janvier 2014. En 10 ans, ce sont plus de 15 semaines d'essais qui ont été réalisées à Val-de-Reuil, pour optimiser le fonctionnement de ce remarquable engin spatial. 🐼



Arrimage ATV à ISS



Le bassin de traction de 600 mètres, schéma du générateur de vagues

L'ATV-5 GEORGES LEMAÎTRE

5^E ET DERNIER VAISSEAU EUROPÉEN POUR L'ISS

Le cinquième Véhicule de Transfert automatique européen (ATV – *Automated Transfer Vehicle*), baptisé Georges Lemaître du nom du physicien belge à l'origine de la théorie du *Big Bang* a rejoint la Station spatiale internationale (ISS) au cours de l'été 2014.

Cinq ATV ont été fournis par l'ESA dans le cadre de sa contribution aux coûts d'exploitation de la Station spatiale internationale. L'ATV-1 Jules Verne a été lancé le 9 mars 2008 ; l'ATV-2 Johannes Kepler le 15 février 2011 ; l'ATV-3 Edoardo Amaldi le 23 mars 2012 ; enfin, l'ATV-4 Albert Einstein le 5 juin 2013.

Comme les précédents ATV, ce vaisseau ATV-5 a pour mission de ravitailler la Station en nourriture, eau et oxygène, mais aussi en ergols, pièces de rechange et équipements scientifiques. L'ATV-5 doit rester dans l'espace 6 mois au cours desquels il relèvera l'orbite de l'ISS, opération régulière et indispensable pour corriger la diminution d'altitude de la trajectoire de la Station freinée par la traînée générée par l'atmosphère résiduelle. Ses moteurs peuvent servir également à éviter des débris en orbite, ou faciliter l'amarrage d'autres véhicules visiteurs.

L'ATV, de taille exceptionnelle et d'une masse de 20 235 kg (la plus importante des cinq missions ATV), est un des véhicules les plus complexes développés par l'ESA. Sa mission de rendez-vous avec l'ISS est entièrement automatisée et sa conception doit respecter les contraintes de sécurité drastiques propres au vol habité.

La conduite des opérations et la coordination des opérations de contrôle de la mission de l'ATV ont été confiées au CNES. Le Centre de Contrôle ATV-CC (*ATV Control Center*) est installé à Toulouse et gère l'ensemble des moyens nécessaires aux opérations de l'ATV en liaison avec les centres de contrôle de Moscou et de Houston. Pour cet ultime rendez-vous, les ingénieurs de l'ATV-CC ont pour mission de tester de nouveaux équipements radars conçus pour joindre une cible non coopérative comme, par exemple, un débris ou un astéroïde. A leur programme figure également, l'étude des conditions de retour particulières en fin de mission pour préparer la future



Vue générale de l'ATV et de son instrumentation

désorbite de la Station spatiale internationale. L'ATV-5 emporte 2 647 kg de marchandises sèches (nourriture, vêtements, outils...), 848 kg d'eau provenant d'une source riche en minéraux située près de Milan, 33 kg d'air, 67 kg d'oxygène et près de 3 tonnes de carburant (860 kg transférés vers la Station pour assurer son propre contrôle d'altitude et 2 218 kg pour les propres manœuvres de l'ATV, ainsi que pour rehausser l'orbite et corriger l'attitude de l'ISS une fois amarré).

La mission comporte six phases :

- La mission débute par le lancement du module à bord d'une Ariane 5 ES depuis Kourou qui est mise sur orbite circulaire à 260 km d'altitude. L'ATV est alors séparé du lanceur qui retombe dans les eaux du Pacifique. Les panneaux solaires sont déployés et les premières communications avec le Centre de contrôle peuvent être assurées.
- Le rendez-vous de l'ATV avec la Station ISS nécessite un phasage spécifique et précis de la mission ATV, car la Station étant en mouvement, il s'agit de positionner l'ATV à faible distance de la Station avant d'engager la phase finale de rendez-vous.
- Les derniers mètres qui séparent Station et ATV sont parcourus sous la surveillance permanente du centre de contrôle et celle de l'équipage de la Station grâce à une locali-

sation GPS dans un premier temps, puis par deux systèmes de mesure de haute précision (vidéomètres et télégoniomètres).

- Une fois amarré (liaisons mécaniques, informatiques, électriques et hydrauliques), l'ATV devient un module à part entière de la Station.
 - Au cours de la mission, l'ATV est régulièrement utilisé pour rehausser l'orbite de la Station, et peut être mis à contribution pour les manœuvres d'évitement de débris ou pour les corrections d'attitude.
 - A la fin de la mission, l'ATV est guidé par le centre de contrôle vers une zone inhabitée du Pacifique sud au dessus de laquelle il se désintègre dans l'atmosphère. La rentrée s'effectue moins de 48 heures après le désarrimage selon un angle très prononcé afin de limiter la dispersion des débris qui ne seraient pas consommés dans l'atmosphère.
- L'opération de rentrée de l'ATV permettra d'étudier les conditions de rentrée d'un objet volumineux qui préfigurera la rentrée de l'ISS programmée pour 2024. A cette fin, l'ATV emporte trois instruments de haute précision qui permettront d'analyser la position, la vitesse et la pression sur le véhicule au moment de la destruction. ☞

Daniel Jouan

ROSETTA & PHILAE, DEUX CONCEPTIONS TRÈS DIFFÉRENTES

UN ATERRISSAGE FOU, FOU, FOU !

A plus de un milliard d'euros, le véhicule Rosetta de plus de 3 tonnes est le fruit d'une technologie très sophistiquée. Philae, résultant d'une coopération de plus de 10 acteurs européens, est un petit engin à l'intelligence réduite mais optimisée pour atterrir sur une comète. L'un et l'autre possèdent une dizaine d'instruments scientifiques destinée à découvrir l'origine de notre Système solaire.

Le 12 novembre dernier eut lieu un événement spatial dont le retentissement mondial a rappelé pour certains commentateurs celui du 21 juillet 1969. Même si la dramaturgie de l'atterrissage d'un homme sur la Lune n'est en rien comparable à celle d'un modeste engin de 100 kg, le fait d'atterrir sur une comète, un corps planétaire mystérieux et hostile, a suscité une curiosité similaire au premier

pas de l'homme sur la Lune. Cet exploit, car c'en est un, est dû à la combinaison de deux acteurs : le véhicule porteur, Rosetta, et le petit atterrisseur Philae.

Rosetta, un bijou de l'industrie spatiale européenne

L'orbiteur a une masse de 3 tonnes et a été conçu par Airbus Defence & Space sous la maîtrise d'ouvrage de l'ESA. Sa mission : aller à la rencontre d'une comète dont l'environnement est variable et peu connu. Son voyage devait durer une décennie et ses capacités de navigation devaient être d'une grande fiabilité afin de s'adapter à des perturbations dues aux gaz émis par la comète ainsi qu'aux chocs par des grains ou des graviers. Mais il devait aussi être robuste face à des perturbations venant de ses immenses

panneaux solaires (32 m) qui représentent une « voile » induisant des forces sur l'attitude et la position de l'engin. Cette navigation dans un environnement inconnu nécessite une grande autonomie et de pouvoir s'adapter à des situations non nominales. Tout véhicule spatial a la capacité de garantir sa survie en se mettant dans un mode sécurisé, ou safe mode, qui lui assure d'être alimenté en énergie et en mesure de communiquer avec la Terre. C'est l'état de l'art mais ce n'est pas toujours bien maîtrisé. On pourrait citer nombres de sondes qui ont été perdues faute d'un mode de sécurité suffisamment robuste.

Une navigation innovante

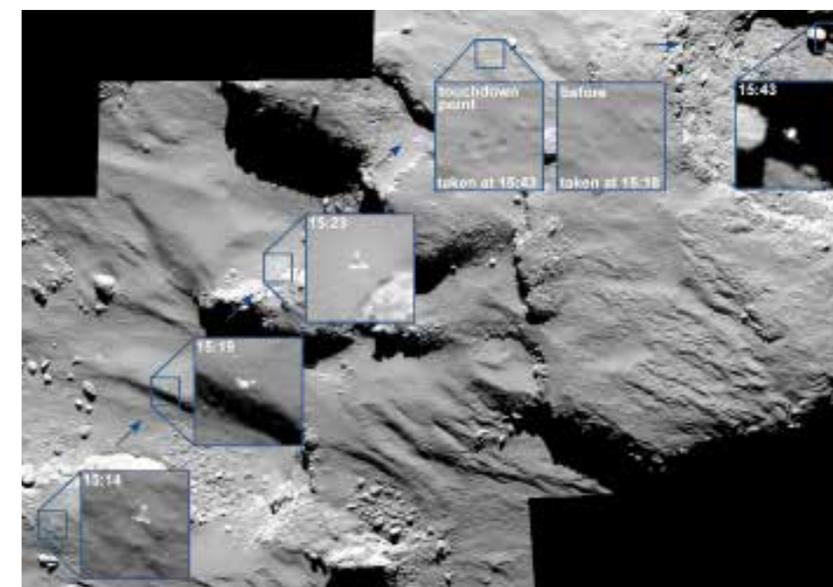
La navigation de Rosetta est très singulière, car elle combine une somme de difficultés inégalées : très longue croisière, multiples assistances gra-



par Francis Rocard

RESPONSABLE DES PROGRAMMES D'EXPLORATION DU SYSTÈME SOLAIRE

Francis Rocard, né le 23 mai 1957 à Paris, est astrophysicien, spécialisé en planétologie. Il débute sa carrière comme planétologue au CNRS et a participé aux missions VEGA de survol de la comète de Halley en 1986 et PHOBOS-88 d'étude minéralogique de la surface de Mars. En 1989, il entre au Centre national d'études spatiales où il est responsable des Programmes d'exploration du Système solaire.



Le panorama de la comète vu par Philae. Le petit atterrisseur est calé entre deux rochers dont les dimensions sont inconnues. Les antennes du radar de CONSERT sont visibles sur les images. © ESA/Rosetta/Philae/CIVA

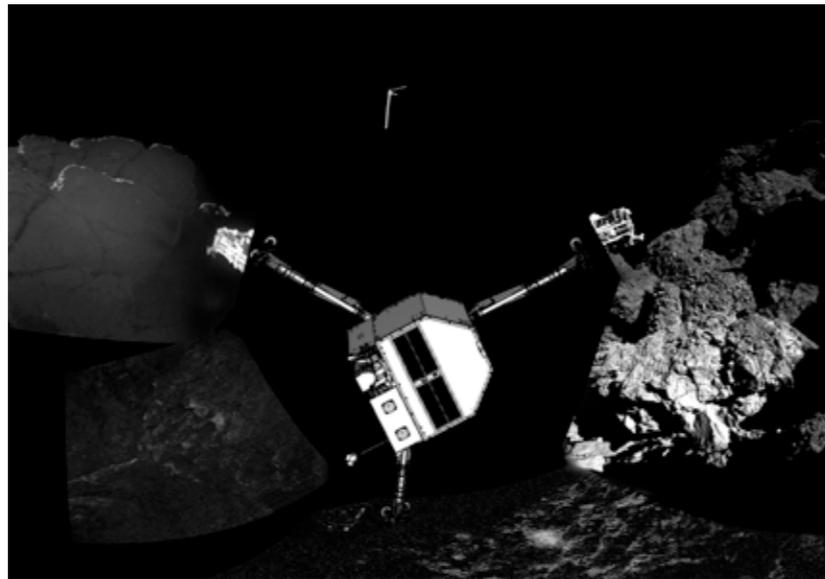
vitationnelles, mode d'hibernation, et, *last but not least*, approche et navigation au voisinage d'un petits corps actif. L'activité d'une comète modifie sa trajectoire par rapport aux lois de la gravitation du fait des forces de réaction sur le noyau des jets de gaz qui s'en échappent. Sa position dans l'espace est en définitive mal connue, de surcroît le noyau est généralement invisible masqué par un halo de poussières. Rosetta utilise pour naviguer des caméras dédiées qui permettent de piloter la sonde à vue ! La position du noyau est précisément établie à l'aide des images mais également sa vitesse relative à la sonde. Lors de l'arrivée à la comète début août, Rosetta a ainsi effectué des spirales triangulaires pendant la phase ultime d'approche. A l'extrémité de chaque côté du triangle, elle activait ses propulseurs pour parcourir de façon inertielle le côté suivant. Cette procédure innovante permettait d'observer le noyau, d'en déterminer précisément la position et les dérives temporelles mais aussi d'en mesurer la masse par l'analyse précise de la déflexion de l'arc du triangle par rapport à une droite.

« Go » pour Philae

Pour le largage de Philae le 12 novembre, les opérateurs de la sonde ont dû exceller afin de rendre cette manœuvre la plus précise possible. En effet, pour des raisons à la fois de vitesse maximale à l'atterrissage (limitée à 1 m/sec) et de sécurité pour l'orbiteur, il était prévu de larguer Philae depuis une trajectoire « rase cailloux » à une altitude de 20 km. Dès le largage, Rosetta a effectué une manœuvre d'évitement afin de s'éloigner de la comète et de se positionner à grande distance afin d'optimiser le recueil des données du petit robot. Toutes ces manœuvres devaient être téléchargées à bord et effectuées de façon autonome. En effet, à 30 minutes-lumières de la Terre, il n'est pas possible de téléopérer la manœuvre. La position de Rosetta par rapport à la comète mais aussi sa vitesse et son orientation devaient être les plus précises possibles dans un environnement composé de jets de gaz et de grains pouvant perturber la trajectoire. L'ellipse d'erreur (99 % de chance d'atterrir dans l'ellipse) était d'environ 1 kilomètre dans sa plus grande dimension. Le mécanisme de largage de Philae devait lui aussi être très précis. Pour des raisons que je ne détaillerai pas ici, le choix s'est porté sur une vitesse de largage de 19 cm/sec.

Tomber comme une pierre pendant 7 heures

Avant son largage, Philae avait mis en route sa



La descente de Philae suivie par la caméra de Rosetta avant et après le 1^{er} rebond. Jusque-là tout allait bien !
© ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

roue à inertie qui lui permettait de maintenir fixe dans l'espace l'orientation du plan du train d'atterrissage. Philae pouvait néanmoins tourner autour de la verticale de ce plan ce qui s'est effectivement produit. L'atterrisseur n'avait aucun système actif de contrôle d'attitude qui aurait été trop lourd à embarquer. Philae s'est donc laissé tomber comme une pierre pendant les 7 heures de la descente. Peu après le largage, des photos de Rosetta prises par Philae et de Philae prises par Rosetta ont confirmé que le début de la descente était nominal et que Philae était stable pendant la descente.

Atterrissage mouvementé

L'impact eu lieu à la minute près et à 120 mètres du point visé, ce qui montre que les navigateurs planétaires de l'ESA et du CNES (pour la trajectoire de descente) ont fait un superbe travail parfaitement coordonné. Malheureusement 2 des 4 (+ 1) systèmes prévus pour éviter le rebond n'ont pas fonctionné. Oublions tout de suite les vis aux extrémités des pieds, celles-ci sont plus destinées à empêcher la rotation de Philae à l'atterrissage qu'à éviter le rebond. Le propulseur à gaz froid qui devait plaquer Philae au sol à l'impact était HS car la vanne du réservoir de gaz est restée fermée pour une raison encore mal comprise. De même les deux harpons chargés de nous ancrer dans le sol de la comète ne se sont pas déclenchés. Par contre, le vérin amortisseur situé au centre de Philae a parfaitement joué son rôle, amortissant l'impact en s'enfonçant de 4 cm. Cette valeur, plus faible que prévue, révèle que le

sol de la comète (le 5^{ème} système amortisseur !) est couvert d'une couche molle et amortissante de 20 cm d'épaisseur sous laquelle se trouve une couche de glace très dure. Telle une peau de tambour, cette dernière a propulsé Philae dans les airs dans une parabole mouvementée qui a duré 2 heures. La trajectoire précise a été déterminée et une collision sur un haut relief a même été établie. Après 2 rebonds, Philae est venu se caler entre 2 rochers où il a continué miraculeusement à dérouler sa séquence scientifique qui avait été téléchargée.

Dans la nuit suivante, les opérateurs ont téléchargé une nouvelle séquence afin de prendre en compte la réalité de la situation. La logique retenue a été d'activer tous les 10 instruments du bord, ce qui a été fait. Mais tous n'ont pas pu collecter les informations scientifiques attendues.

Hibernation & Réveil

Après 57 heures d'activités intenses, Philae est tombé dans un profond sommeil avec l'épuisement de sa pile. Il devrait résister aux très basses températures qui règnent sur le « côté obscur » de la comète, dans l'ombre. Le temps joue en sa faveur. D'une part au passage au périhélie (point le plus proche du Soleil) le 13 août 2015, l'énergie reçue sera 6 fois plus importante que le 12 novembre. D'autre part, le Soleil devrait être au plus haut dans le ciel de Philae (c'est-à-dire l'été) au tout début septembre.

Nul doute que Philae devrait se réveiller au printemps et compléter ses mesures durant l'été. ☘

LE TRANSPORT EN 2050 : UN ESSAIM DE ROBOTS ?

Que sera le transport en 2050 ? La voiture, si chère (dans tous les sens du terme) à bon nombre d'entre nous, a-t-elle un avenir sur des routes de plus en plus encombrées dans des cités de plus en plus polluées ? Le transport collectif constitue-t-il la seule option à terme, signant peu à peu la fin de notre liberté en matière de mobilité individuelle ?

Il est toujours un peu osé de tenter de prédire ce que la plupart des lecteurs vivront dans quelques décennies mais il n'est certainement pas interdit de rêver ...

Un matin de mai 2054 ...

Je viens de finir mon café. L'esprit encore un peu embrumé par une nuit un peu courte, j'appelle ma Regeot 2057 et me dirige vers le garage. Deux minutes plus tard, elle arrive, rutilante ... Elle est encore allée se faire laver comme le trahissent les quelques gouttes qui frémissent sur son capot ! Elle prend finalement beaucoup soin d'elle vu qu'elle sort d'une révision générale du mois dernier. Peu m'importe, tout ceci est inclus dans le forfait mensuel de l'opérateur de transport dont j'ai récemment changé (avec portabilité du véhicule, bien sûr) !

La porte s'ouvre et je m'installe confortablement dans l'intérieur qui a été personnalisé à mon goût : grand écran pour internet, télévision, media center et vidéoconférence ... Il fait

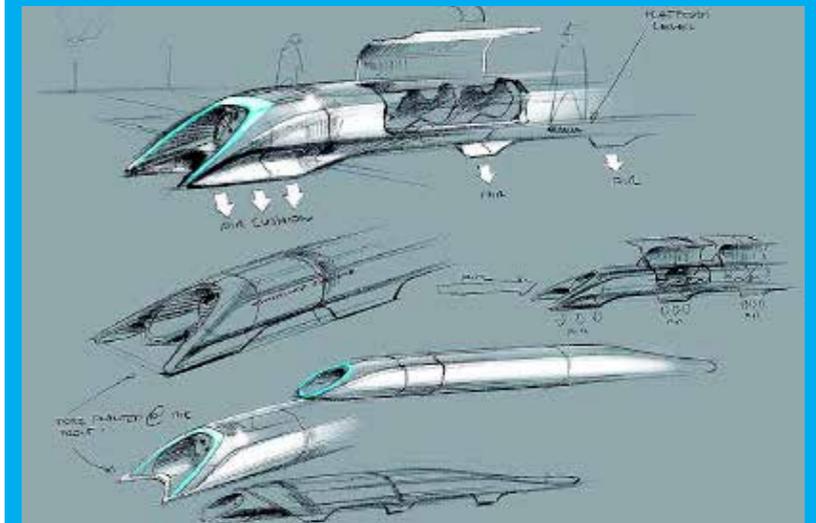
encore un peu frais de bon matin, l'habitacle est déjà chauffé, tant mieux !

Question fatidique, la voix suave de ma Regeot me demande où aller : « *au boulot, comme d'habitude !* » lui dis-je d'un ton distrait. Elle se lance alors dans un calcul en liaison avec le serveur central qui connaît non seulement la position exacte de tous les véhicules du réseau mais aussi leurs destinations. Elle me propose alors trois options : 22, 17 ou 12 mn pour

rejoindre le Balargone depuis Fontainebleau où je me suis installé. La première option est comprise dans mon forfait, donc gratuite ... J'opte pour la seconde à 5 euros car, comme toujours, je suis un peu en retard ! C'est parti ! Tel un électron sur un réseau informatique, ma Regeot s'arrache de mon garage et accélère progressivement pour rejoindre le rail rapide RR6 à partir du réseau capillaire de ma banlieue un peu éloignée.

« Hyperloop », le fantasme d'Elon Musk

Dans le domaine du transport en commun, on se doit de citer la vision du milliardaire sud africain Elon Musk présentée en juillet 2012: Un monorail propulsé à vitesse quasi supersonique dans un tube partiellement sous vide par des moteurs électromagnétiques linéaires. Elon Musk, qui n'en est pas à sa première entreprise réussie avec Paypal, SpaceX ou Tesla Motors, a pour ambition de relier Los Angeles à San Francisco en moins de 30 minutes. Il vient d'annoncer la construction d'un monorail d'essai long de 8 kilomètres, probablement au Texas qui permettra de tester les premiers prototypes prévus d'ici 3 à 4 ans.



Les premiers croquis d'hyperloop



par Eric Bujon, ICA

■ RESPONSABLE DU MÉTIER SIMULATION À LA DGA

Passionné par l'innovation, l'auteur œuvre depuis presque trente ans à la DGA : D'abord dans le domaine des systèmes de direction de combat navals puis pour les systèmes de systèmes et l'ingénierie associée.

Tout est automatique, je n'ai rien à faire si ce n'est de contempler le paysage de ce beau matin de printemps brumisé par la rosée. En bon ingénieur, je ne me lasse pas d'admirer la précision du système : tant au niveau des mécanismes d'aiguillage du monorail que du positionnement quasi parfait des véhicules qui circulent à moins d'un mètre les uns des autres malgré leur vitesse élevée. Le système s'améliore d'année en année, on peut désormais assurer un degré de sûreté de fonctionnement tel que l'insertion d'un nouveau véhicule dans le flux peut s'effectuer sur un « slot » d'une longueur supérieure de 2 m seulement à celle du véhicule. A la suite du grand carambolage de novembre 2014, le système a été totalement reconçu et malgré l'existence de centaines de systèmes analogues dans le monde, le concept d'accident de voiture est en voie de disparition.

J'aime beaucoup ma Regeot 2057 pour son silence et sa suspension : bien sûr, elle n'a plus de moteur comme toutes les autres voitures, puisque la propulsion électromagnétique est opérée par les rails, mais les bruits aérodynamiques y sont remarquablement bien filtrés.

Je profite des quelques minutes de transport pour faire mon vidéocourrier et contacter deux de mes collaborateurs, eux aussi en route, pour discuter d'un contrat délicat avec Thalbus.

Puis je repense à mon weekend à Toulon, c'était tout de même bien d'y retrouver mes parents et d'aller conduire un peu, comme au bon vieux temps, sur le circuit du Castellet. Au prix que ça coûte, j'aurais bien tort de m'en priver (j'ai 5 trajets « longue distance Europe » inclus dans mon forfait). Depuis que l'interconnexion VGV est faite, je peux profiter du confort de ma Regeot en porte à porte et je commence à avoir du mal à trouver des films suffisamment courts pour les visionner en entier pendant l'aller-retour !

Par contre, je trouve que le tube en plexiglas du monorail RR7VGV est de plus en plus sale ! Autant je comprends qu'il faille y créer un vide relatif pour permettre des vitesses supersoniques, autant je trouve un peu mesquin de ne

pas activer le robot nettoyeur externe au moins une fois par semaine ; ceci dit, il est vrai qu'à près de mach 2, on ne distingue pas grand-chose du paysage !

Au moins, en ville, on n'a pas ce problème de tube ! D'ailleurs, je viens d'arriver au-dessus du périphérique, devenu cyclable et piétonne. Les parisiens adorent le vélo électrique (quand il ne pleut pas ...). Tel un essaim de robots, des dizaines de voitures comme la mienne filent à grande vitesse sur le monorail, sans pollution sonore ou atmosphérique.

Mince, j'ai oublié de prévenir mon épouse de la livraison des courses : j'ai tout commandé en ligne (tout ou presque parce que je persiste à penser que choisir des fruits avec une webcam n'est pas optimal !) et la voiture livreuse se présentera (sans chauffeur, bien sûr !) dans notre garage à 14 h 05 : a priori, tout est automatique, mais il faut tout de même ranger le frais dans le réfrigérateur (pour combien de temps encore ?). Je la contacte en visio juste avant mon arrivée au Balargone et elle a tout juste le temps de m'informer du passage de la voiture robot jaune de La Poste et du véhicule automatique collectant les déchets.

Je sors ma carte CIMS pour l'introduire dans le lecteur de ma Regeot qui passe de ce fait les contrôles de sécurité sans même s'arrêter : me voilà arrivé, le contrat est rempli, 17 minutes exactement ! Je descends prestement, il ne faut pas encombrer la zone de dépose passagers trop longtemps. Ma Regeot repart seule (à condition, bien sûr que j'aie récupéré ma carte CIMS !). Je me suis toujours demandé où elle allait se garer (encore un mystère du forfait !!!).

L'ascenseur, arrivé à l'étage, émet son caractère « Ding » : je suis au bureau ...

« Ding », « Ding », je me réveille péniblement ... Où suis-je ? Dans le RER B, bloqué depuis plus d'une demi-heure à la station Laplace ... Je me suis endormi ! Il faut dire qu'il est 20 h passé et que je ne suis pas encore à destination : pour une raison que même notre conducteur semble ignorer ! Entre les grèves, les problèmes techniques, les suicides, la météo, ... les raisons d'un arrêt imprévu ne manquent pas ...

La « Google car »

En ce qui concerne la robotisation des véhicules individuels, la « google car » fait figure de pionnière : Depuis qu'ils ont gagné le grand prix annuel DARPA en 2005 (organisme chargé de l'innovation du département de la défense américain), les ingénieurs de Google ont peu à peu amélioré leur prototype. Dans une première phase, ils ont bardé quelques véhicules du commerce de capteurs, avec notamment un LIDAR qui permettent de reconstruire l'environnement 3D du véhicule en temps réel : en fusionnant ces données locales avec les cartes « Google Map », le véhicule peut circuler seul sur des routes encombrées sans intervention d'un conducteur. Plus d'un million de kilomètres ont ainsi pu être parcourus sans incident majeur. En 2015, une nouvelle phase commence. Le véhicule n'est désormais plus dérivé d'une voiture de série mais construit sur mesure : sans volant ni pédales ... Les législations des états de Californie, Nevada, Floride et Michigan ont été adaptées pour permettre la circulation de ce nouveau prototype sur leurs routes. Google espère une commercialisation entre les années 2017 et 2020 ...



Le nouveau prototype de la Google Car

Premier succès commercial pour le robot sous-marin A18

Le groupe ECA annonce la vente du premier robot autonome sous-marin de dernière génération A18 pour un montant de plusieurs millions d'euros. Le robot sera livré au client en 2016.

Après plusieurs succès en 2013 et 2014 avec l'A9¹, cette vente à l'export est la première pour le dernier-né des robots autonomes sous-marins (AUV) du groupe ECA.



Elle intervient très rapidement après le lancement de la commercialisation en octobre 2014 et avant même la fin du développement.

Ceci est la confirmation de l'intérêt grandissant des clients pour des AUV à grand rayon d'action mais plus compacts du fait de la miniaturisation des capteurs et des équipements embarqués.

Le robot vendu est la version A18D capable de plongées de plus de 24 heures jusqu'à 3000 mètres. Equipé de capteurs de dernière génération et des dernières évolutions logicielles en termes de missions, ce robot possède les meilleures capacités opérationnelles pour les levés hydrographiques, la recherche océanographique, l'exploitation des ressources naturelles des fonds marins ou encore la recherche d'objets et le sauvetage.

Rappel de la gamme des AUV du groupe ECA

Le groupe ECA possède une gamme complète d'AUV des plus compacts avec les A9 aux plus gros avec les A27² ou ALISTAR 3000.

Tous partagent une architecture informatique, des logiciels d'autonomie et une interface de supervision communs.

La gamme A9 est une gamme récente de petits AUV de 50 Kgs à 120 Kgs.

Disponibles depuis fin 2012, ils peuvent être mis en œuvre simplement par 2 personnes sans moyen particulier de mise à l'eau. La marine française est équipée d'AUV A9 depuis 2013. Trois autres pays l'ont acheté en 2014. Ils sont très bien adaptés pour les missions côtières ou portuaires. Le prix catalogue des A9 s'étend de 0,5 à 2 M€.

La nouvelle gamme A18 est composée de robots de 350 à 650 Kgs pouvant aller jusqu'à 3000 mètres de profondeur.

Is constituent le nouveau milieu de gamme AUV du groupe ECA. Les performances de l'A18 sont suffisantes pour les besoins des principaux clients. Ils peuvent être déployés à partir de plateforme navale légère à partir de 12m, au moyen de différents dispositifs de mise à l'eau

et récupération proposés également par ECA. Le prix catalogue des AUV de type A18 s'étend de 1,5 M€ à 5 M€.

Les A27 ou ALISTAR3000 sont à l'origine de la gamme AUV du groupe ECA.

Développés entre 2003 et 2013, ils ont une grande endurance (supérieure à 30 heures) et une grosse capacité d'emport de capteurs. Ils permettent de réaliser les missions les plus exigeantes. L'AUV A27 est utilisé par la marine française notamment pour l'hydrographie et les opérations de surveillance sous-marine à grand rayon d'action. Les prix catalogues de ces gros AUV s'étendent de 3 à 9 M€.

¹ anciennement Alister 9 - ² anciennement Alister 27

Le Groupe ECA reconnu pour son expertise dans la robotique, les systèmes automatisés, la simulation et les processus industriels, le Groupe ECA développe depuis 1936 des solutions technologiques innovantes et complètes pour les missions complexes dans des environnements hostiles ou contraints. Son offre s'adresse à une clientèle internationale exigeante en termes

de sécurité et d'efficacité, essentiellement dans les secteurs de la défense, du maritime, de l'aéronautique, de la simulation, de l'industrie et de l'énergie.

En 2014, le groupe a réalisé un chiffre d'affaires de 94 M€ sur ses trois pôles d'activité : Robotique & Systèmes intégrés, Aéronautique et Simulation.

Le site internet d'ECA Group : <http://www.ecagroup.com>

Le groupe ECA présente une solution innovante de surveillance et de contrôle pour la protection des côtes

Son expertise dans la robotique aérienne, terrestre et maritime permet au groupe ECA, société spécialisée dans le secteur de la défense et de la sécurité intérieure, d'offrir une solution innovante pour la protection des côtes. Cette nouvelle solution a pour principale caractéristique la surveillance et le contrôle en temps réel des larges espaces côtiers de plus de 7 km², grâce à des systèmes sans équipage et des capteurs embarqués.

Cette solution autonome intégrée dans un camion nécessite seulement deux opérateurs pour transporter et installer le système en moins de deux heures. Grâce à une unité de contrôle, de commande et de communication centralisés embarquée dans le camion, l'exploitation des différents sous-systèmes est optimisée :

- Véhicule de surface sans équipage (USV) INSPECTOR MK2 avec effecteurs non létaux.

Ce système peut fonctionner en mode autonome, être piloté à distance ou avec un équipage à bord.



- Bouée de balisage sous-marine fermée avec sonar de plongée et porte-voix sous-marin intégré, reliée au poste de commandement.

- Véhicule aérien sans équipage (UAV) IT 180, un drone pouvant contrôler les zones terrestres et maritimes depuis les airs.

Cette solution de protection des côtes, développée par le groupe ECA, sera présentée lors du prochain Salon AccesSecurity, du 14 au 16 avril, sur le stand D7.



Le mot du président



par **Philippe Hervé**, IGA

Chers amis,

Les camarades que vous avez élus pour administrer notre Confédération Amicale des Ingénieurs de l'Armement m'ont choisi pour succéder à Philippe ROGER pour présider aux destinées de notre association.

Je tiens tout d'abord ici à saluer l'action de Philippe ROGER pendant ses cinq années de présidence : avec toute l'énergie que vous lui connaissez, il a su prendre à bras le corps les différents sujets qui se sont présentés à la CAIA pendant sa présidence. En signe de reconnaissance, le conseil d'administration de la CAIA a décidé de faire de Philippe ROGER un membre d'honneur de notre association. En tant qu'ancien président de la CAIA, il pourra continuer à participer aux travaux du conseil d'administration. Et je ne doute pas qu'il continuera à nous faire profiter de ses connaissances de Tintinophile et d'érudit grec et latin.

J'avais et j'ai encore plus maintenant parfaitement conscience de l'ampleur de la tâche qui m'attend. Avec deux thèmes prioritaires.

Les jeunes, ceux qui vont rentrer dans le corps, ceux qui viennent de rentrer dans le corps mais aussi les moins jeunes qui cherchent à évoluer. Quelle que soit notre situation vis-à-vis du corps ou vis-à-vis de la DGA, nous devons les accueillir et répondre à leurs éventuelles questions ou interrogations pour les aider à rayonner, en particulier au-delà de la DGA, au-delà des acteurs de la sphère « armement » - ministère de la défense, organisations internationales, industries - pour aller conquérir les activités de « souveraineté » - sécurité, cyber sécurité, atome civil, spatial, ceci pour la plus grande renommée du Corps.

Ensuite, la CAIA doit rayonner grâce aux outils déjà en place, non seulement le magazine des Ingénieurs de l'Armement, revue reconnue comme de qualité, mais aussi le Gala de l'Armement lequel se tiendra cette année le vendredi 16 octobre 2015 (save the date !). Et à plus long terme, le cinquantième anniversaire du corps de l'armement en 2018, événement qu'il faut commencer à préparer dès maintenant.

La CAIA se doit d'agir au profit de ses membres, tous les Ingénieurs de l'Armement en poste ou non à la DGA, quelle que soit leur position par rapport au Corps, en parfaite intelligence d'une part avec le Délégué Général pour l'Armement et avec les directeurs de la DGA et d'autre part avec le Conseil Général de l'Armement (CGArm) : la présence de notre camarade Lionel HENRY, secrétaire général du CGArm, au sein du bureau de la CAIA est de nature à contribuer à cette bonne intelligence.

Et la CAIA pourra d'autant plus agir avec efficacité que les Ingénieurs de l'Armement paieront leur cotisation à la CAIA (à vos carnets de chèques pour la cotisation 2015 - cinquante euros) car nous avons besoin de votre soutien.

N'hésitez pas à faire part de vos remarques, commentaires, propositions, idées et à proposer vos services pour le plus grand renom du Corps de Ingénieurs de l'Armement : il en a toujours eu besoin mais encore plus actuellement, par les temps difficiles que nous traversons.

Très amicalement ✉

Philippe HERVE en bref

Philippe HERVE, 61 ans, est depuis janvier 2010, Directeur des Relations France de Nexter.

Il débute sa carrière en 1979 dans le domaine des véhicules blindés au sein du Ministère de la Défense (DAT/GIAT/AMX-APX, et participe aux études du Programme char Leclerc alors à ses débuts.

De 1986 à 1991, il est chargé de l'amélioration et de l'automatisation des méthodes de travail au sein du Giat, puis au moment de la création de la Société Nationale Giat Industries (1/07/1990), de la stratégie d'amélioration de la Qualité Totale.

De 1992 à 1995, il crée et développe une activité de diversification dans le domaine de la Productique et de la Logistique au sein de la branche GITECH de Giat Industries.

De 1996 à 1997, il remplit différentes missions auprès du Directeur de la Qualité et des Affaires Industrielles de Giat Industries.

Il prend ensuite, de 1998 à 2002, la fonction de Directeur Recherche et Développement du groupe Giat Industries.

De 2002 à 2004, Philippe HERVE devient Directeur des Projets Systèmes de Combat de Contact et Directeur Plan Produits de la Division des Systèmes Blindés. A ce titre, il coordonne les actions de R&D de la division ; il est aussi administrateur de la société CTA international, filiale 50/50 entre Giat Industries et BAE Systems.

De 2004 à 2006, il est responsable des nouveaux projets et nouvelles technologies au sein de la Division Systèmes Blindés de Giat Industries. De 2006 à 2009, peu après la création de Nexter Systems, il en devient le Directeur Etudes et Développement et conduit le développement de tous les produits de Nexter Systems ; il s'investit particulièrement sur le Contrat Démonstrateur BOA et le démonstrateur technologique NNP, à l'origine proposé en coopération industrielle entre KMW et Giat Industries.

De 2010 à 2013, il est Directeur du Domaine des Systèmes d'Information Terminaux de Nexter Systems et président du Comité de Surveillance de la société SITAC, filiale de Thales CS, Nexter Systems et Sagem DS.

L'IGA (2s) Philippe HERVE, est polytechnicien (promo 74) et diplômé de ENSTA ; il est titulaire d'un Master en Productique (82) et ancien auditeur du CHEAR (34è SN). Il est membre du Conseil Scientifique de la Défense de octobre 1998 à 2001 puis de octobre 2007 à 2013.

Il est largement impliqué dans le secteur associatif (CAIA, AA CHEAR, ENSTA ParisTech Alumni, GICAT, CIDEF, ASD). Il publie régulièrement dans des revues américaines et françaises et a présidé ou a contribué à l'élaboration de nombreux rapports dans le domaine de l'armement et de l'Europe de la défense.

Philippe HERVE est marié et père de deux enfants ; il est officier de la Légion d'Honneur et chevalier de l'Ordre National du Mérite.

RETOURNER LA PENSÉE

par Jérôme de Dinechin, ICA

■ CGARM SECTION CARRIÈRES, COACH

Jacques Dutronc avait attiré notre attention sur le retournement de veste. Voici une proposition pour retourner la pensée, ce qui est, il faut le reconnaître, une autre paire de manches. Je m'appuie pour cela sur « le travail » (*The work*) de Byron Katie, que Philippe Aymar m'a fait découvrir. Comment, à travers quatre questions simples, redresser notre positionnement mental.

Contester le réel

Une grande partie de nos maux vient de ce que nous vivons une situation différente de ce qu'elle devrait être : mon conjoint n'est pas assez gentil, mes enfants devraient plus sages, mon patron ne me reconnaît pas, mon entreprise a trop de défauts, mon pays est en perdition, le monde va mal. Et moi-même, je suis trop gros, je ne devrais pas être si fatigué, je travaille trop, je devrais être promu, etc...

Plus encore, je peux me faire des reproches sur ce que j'ai fait ou que je n'ai pas fait, ou encore sur ce qui est arrivé et qui aurait pu ne pas arriver : si je n'avais pas répondu à ce moment-là, alors, je n'aurais pas été viré... si je n'avais pas pris ma voiture ce matin, j'aurais évité cet accident, ...

Lorsque de telles pensées prennent possession de mon esprit, la vie devient lourde. C'est ainsi que Byron Katie a subi une dépression suicidaire sévère qui a duré une dizaine d'années.

En effet, plusieurs dizaines de fois par jour, mon dialogue intérieur rumine les mêmes poncifs, et mes pensées contestent la réalité du monde. Pourtant, contester n'a aucun effet sur le monde extérieur. Cela se rapprocherait plutôt de la pensée magique des petits enfants, qui croient que vouloir un miracle suffit à le faire surgir. Et au lieu de nous aider, cela entraîne plutôt un état dépressif et tout un cortège de sentiments désagréables, fausse culpabilité, sentiment d'impuissance, accusation de soi-même, paranoïa, etc...

Une des clefs de libération consiste à lâcher prise sur la réalité : certes, mon esprit me dit que telle chose n'aurait pas dû arriver. Mais en même temps, je dois reconnaître qu'elle est arrivée.

Que se passerait-il si nous pouvions nous dire, avec logique, que telle situation – probable-



Triple autoportrait de Norman Rockwell, ou comment enlever ses lunettes déformantes !

ment désagréable pour moi – aurait dû arriver puisque précisément, elle est arrivée ? Alors, en cessant de contester la réalité, l'action redeviendrait simple, fluide, bienveillante et sans peur.

Mon pouvoir, ton pouvoir, son pouvoir

Beaucoup des pensées toxiques qui nous travaillent peuvent s'éliminer en considérant simplement la question du pouvoir associé : qui a le pouvoir de changer les choses ?

• Pour certaines affaires, c'est une instance supérieure qui est en cause : Dieu, le destin, la malchance, le réchauffement climatique ou tout autre nom. Si je passe dans la rue et qu'un pot de fleurs me tombe sur la tête, cela échappe à mon pouvoir. Inutile de régenter notre vie pour éviter tout danger, car le risque zéro n'existera jamais. Alors, à quoi bon ruminer que ce pot de fleurs n'aurait pas dû

tomber, puisqu'il échappe à mon pouvoir. Me désoler de ce que le Destin aurait ou n'aurait pas dû faire ne peut que me faire heurter le mur de mon impuissance.

- Dans d'autres cas, le pouvoir appartient à autrui. « Je voudrais que ma fille arrête de fumer », par exemple, regarde le pouvoir de ma fille, pas le mien. Je peux choisir un objectif « écologique » consistant à construire une relation de confiance avec ma fille pour pouvoir lui dire ma crainte devant son attitude, mais lorsque je prends une décision à sa place, je suis en abus de pouvoir. Je pense à sa place, j'agis à sa place, je prends sa place et du même coup, je déserte ma propre place. On ne peut être chez soi et chez l'autre simultanément. On comprend le vide existentiel et l'angoisse schizophrène qui en résultent.
- En fait, les seules affaires qui méritent une action de ma part sont celles qui sont dans mon pouvoir ! Je peux et dois faire ce qui est bon pour moi. La newsletter du CGARM de décembre 2014 explique comment se fixer un « objectif écologique », qui ne dépende que de nous. Je vous y renvoie.

Vous pouvez faire une liste de ce qui vous stresse le plus en ce moment, puis demandez vous de quel type d'affaire il s'agit, et si vous êtes bien dans vos propres affaires...

Ce qui me stresse aujourd'hui : qui a le pouvoir	Moi	L'autre	Dieu

Combien en reste-t-il ?

Je ne suis pas mes pensées

Mes pensées sont comme un vent qui souffle dans mon être. Elles vont et viennent, conduisent

des raisonnements, s'expriment sous forme d'avis, d'opinions. Elles sont inoffensives jusqu'à ce que je les croie. Alors, elles s'enracinent sous forme de croyances plus ou moins toxiques. En particulier, les croyances concernant les personnes ont un effet particulièrement néfaste en empêchant toute relation équilibrée.

De nombreuses personnes croient ainsi être ce que leurs pensées leur disent qu'ils sont. Mais elles sont autre chose, et bien plus que cela. Faites l'essai d'observer vos pensées sans y accorder trop d'importance. Alors, elles passent, et nous lâchent au bout de quelque temps. Après l'exercice qui suivra, vous en aurez une preuve...

Jugez votre voisin

Le christianisme nous donne le précepte évangélique « ne jugez pas ! » On distingue certes le jugement sur les actes – qui ont un contenu moral – du jugement sur les personnes. Mais soyons francs, nous passons en réalité notre temps à juger. Rappelez-vous par exemple une situation au volant lorsque quelqu'un vous coupe la route... Sous le coup d'une émotion, des pensées sortent à jet continu pour nous justifier, nous opposer, nous défendre.

Alors, nous allons vous proposer l'exercice inverse, de juger votre voisin. Prenez un moment au calme, avec une feuille de papier, et pensez à une personne à qui vous n'avez pas totalement pardonné.

Soyez autant que possible, spontané, dur, critique, mesquin et infantile. Soyez simplement honnêtes et sans censure. Il n'y a aucune menace de punition ou de conséquence, vous pouvez exprimer vos sentiments librement. Et même, faites-vous plaisir !

La pensée mène l'enquête

Au sujet de cette personne :

1. Qu'est-ce qui vous irrite, vous perturbe, vous attriste ou vous déçoit et pourquoi ? Qu'est-ce que vous n'aimez pas à son sujet ? (*Souvenez-vous : Soyez dur, enfantin, mesquin. Je n'aime pas (Je suis en colère, ou triste, ou effrayé, ou perturbé, etc., par) (nom) parce que*

change ? Que voulez-vous qu'il/elle fasse ?

Je veux que (nom)

3. Que devrait ou ne devrait-il/elle pas faire, être, penser ou ressentir ? Quel conseil pourriez-vous offrir ?

(Nom) devrait (ne devrait pas)

4. Avez-vous besoin de quoi que ce soit de sa part ? Que doit-il/elle faire pour vous permettre d'être heureux ?

(Imaginez que c'est votre anniversaire et que vous pouvez tout obtenir. Allez-y !) J'ai besoin que (nom)

5. Que pensez-vous de lui/elle ?

Faites une liste. (Ne soyez ni rationnel ni gentil.) (Nom) est.

6. Qu'est-ce que vous ne voulez plus jamais éprouver avec cette personne ?

Je ne veux plus jamais

Les quatre questions

Voilà, c'est fini, ou presque. Vous pouvez vous féliciter d'avoir mis par écrit des croyances à propos d'une personne qui vous a fait du tort. Cela soulage de bien se rappeler pourquoi il a tellement tort et vous tellement raison.

Vous allez maintenant vous appuyer sur cette matière sous forme de quatre questions et d'un retournement.

Pour chaque affirmation, posez-vous sincèrement les questions qui suivent.

1. Est-ce que c'est vrai ?
2. Pouvez-vous absolument savoir que c'est vrai ?
3. Comment réagissez-vous, que se passe-t-il, quand vous croyez cette pensée ?
4. Qui seriez-vous sans la pensée ?

Observez ce qui se passe en vous lorsque vous répondez aux différentes questions. La situation vous apparaît-elle modifiée ?

La question sur « qui seriez-vous sans la pensée » recèle une puissance considérable. Prenez le temps de vous la poser, en restant attentif à ce que vous ressentez, voyez, entendez.

Le retournement de la pensée

Enfin, retournez la pensée. Pour chaque affirmation, il y a plusieurs retournements possibles,

et vous êtes invité à trouver trois exemples précis et authentiques où cela a été vrai dans votre vie. A titre d'exemple, l'affirmation : « XX m'a menti » peut devenir :

- J'ai menti à XX : à quelle occasion, pourquoi, comment.
- Je me suis menti à moi-même
- XX m'a dit la vérité

Pour la sixième question, sur ce qu'on ne veut plus jamais éprouver, le retournement peut devenir « je suis disposé à » ou « je me réjouis de ».

Au terme de cette démarche, comment vous sentez-vous ?

Habituellement, la liste de griefs initiale a perdu toute agressivité. Au contraire, nous ressentons de l'amitié pour la personne à qui nous n'avions pas pardonné jusque là, car nous sommes si proche d'elle...

Attention cependant, car la personne n'a pas encore fait sa part de chemin, et il peut lui rester une inimitié réciproque de celle que vous aviez. Mais vous avez gagné de la liberté, ainsi qu'une meilleure perception de la réalité, ce qui veut aussi dire une liberté d'action nouvelle.

En parlant de cette personne, vous avez surtout parlé de vous-même, de manière détournée et non agressive. Vous avez contourné les barrières intellectuelles qui se seraient dressées immédiatement si on avait parlé de vous remettre en cause.

Cette démarche issue d'une découverte très pragmatique de Byron Katie peut modifier en profondeur la manière dont nous vivons. Elle est complémentaire des autres approches classiques du coaching et du développement de la personne. Elle évite aussi d'aller chez le psy ! Quatre questions et un retournement nous libèrent de nos pensées néfastes, nous connectent à la réalité et nous rendent notre pouvoir d'agir au bon niveau.

N'hésitez pas à en abuser.
www.thework.com

JACQUES VAUCANSON (1709 – 1782)

DÉJÀ DES ROBOTS AU XVIII^E SIÈCLE !



par
Daniel Jouan,
IGA

Le hardi Vaucanson, rival de Prométhée, Semblait, de la nature imitant les ressorts Prendre le feu des cieux pour animer les corps.

Ainsi s'exprimait Voltaire en parlant de Vaucanson, mécanicien et horloger de talent, après la présentation à l'Académie royale des sciences en 1738 d'un mémoire intitulé « Le mécanisme du fluteur automate ».

Le titre mentionnait que le mémoire concernait aussi

« la description d'un canard artificiel, mangeant, buvant, digérant & se vidant, épluchant ses ailes & ses plumes, imitant en diverses manières un Canard vivant, Inventé par le mesme

Et aussi

Celle d'une autre figure, également merveilleuse, jouant du Tambourin & de la Flûte, suivant la relation, qu'il en a donnée depuis son Mémoire écrit. »

Qui était Jacques Vaucanson ?

Jacques Vaucanson est le dixième enfant d'un couple de gantiers de Grenoble, où il est né le 24 février 1709. Il montre très tôt des dispositions pour la mécanique. A l'occasion de sorties le dimanche avec sa mère chez des vieilles dames, à l'écart dans une chambre non habitée, il passe beaucoup de temps, seul, à considérer le mouvement égal et constant de la pendule, ce qui lui donne le goût d'en percer le fonctionnement. Il y parvient et réalise, avec un couteau et quelques morceaux de bois, une horloge dont la marche présente déjà une sinuïté régulière.

Ainsi commence la vocation de Jacques Vaucanson, qu'il confirme en réparant montres et horloges de son quartier. De 1717 à 1722, il est élève au Collège de Juilly pour suivre une formation religieuse qu'il abandonne finalement au profit d'études qu'il suit à Paris de 1728 à 1731, en mécanique, physique, anatomie et musique, matières plus à son goût.

Son ambition est de reproduire mécaniquement les principales fonctions de l'organisme humain, projet dans lequel il est encouragé par le chirurgien Claude-Nicolas Le Cat qui souhaite mieux comprendre ces fonctions et faire progresser les connaissances en anatomie. C'est un échec.

Mais ces essais ne sont pas sans enseignement. François Quesnay, autre chirurgien célèbre, le soutient alors dans la création d'êtres artificiels pour mettre en évidence la plupart des fonctions biologiques de l'être humain ou animal. A partir de 1733 et jusqu'en 1738, il construit son premier automate de taille humaine sur piédestal, le fluteur automate, humanoïde qui joue de la flûte traversière. Cet automate est présenté au public parisien dans le grand salon de l'Hôtel de Longueville. Malgré le prix élevé du ticket d'entrée, c'est un triomphe. Son deuxième automate, aussi de taille humaine sur piédestal, est un joueur de flûte et de tambourin, où la flûte est en fait un galoubet.



L'automate le plus sophistiqué mis au point ensuite par Vaucanson en 1744, est le canard digérateur. Ce canard, lui aussi monté sur un piédestal, pouvait manger, digérer, cancaner, agiter les ailes et simuler la nage. La digestion de l'animal en est le principal exploit : il semble rendre ce qu'il a avalé après une véritable digestion.

Vaucanson tentera ensuite de réaliser un automate « dans l'intérieur duquel devait s'opérer tout le mécanisme de la circulation du sang ». Celui-ci ne sera jamais fini à cause des difficultés liées à la réalisation de tuyaux en caoutchouc, matière alors nouvelle provenant de Guyane. L'invention du concept de tuyau en caoutchouc lui est d'ailleurs parfois attribuée. Frédéric II de Prusse, dans sa politique visant à s'attacher les grands hommes du siècle, fera des propositions à Vaucanson, que celui-ci déclinera, préférant rester en France. Le Cardinal de Fleury, ministre d'Etat de Louis XV, l'en récompensera en lui confiant le poste d'ins-

pecteur général des manufactures de soie, en 1741, avec la mission plus particulière de réorganiser cette industrie. Il arrêtera ses travaux sur les automates.

De 1745 à 1755, Vaucanson apportera de nombreuses améliorations aux métiers à tisser, en les automatisant par des systèmes hydrauliques commandés par des cylindres analogues à ceux de ses automates. Ultérieurement, Joseph-Marie Jacquard s'inspirera des ses perfectionnements pour réaliser les métiers Jacquard bien connus. Vaucanson inventera aussi le tour à chariotier (1751) et une chaîne d'entraînement, la chaîne Vaucanson, ainsi qu'une machine pour réaliser des mailles toujours égales.

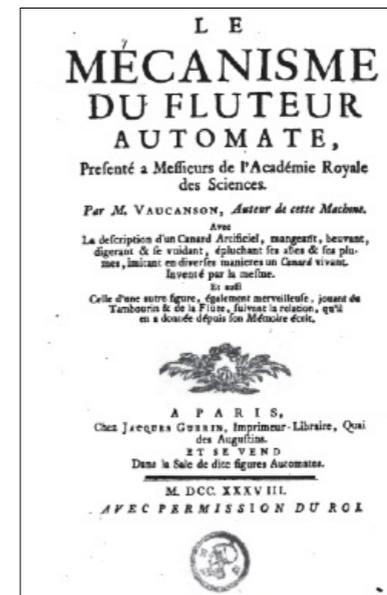
En 1746, Jacques Vaucanson entrera à l'Académie Royale des sciences française. Ses connaissances étendues en mécanique le conduiront à participer à la rédaction de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert.

Vaucanson est mort à Paris le 21 novembre 1782. Ses machines seront léguées au Roi et serviront de base aux collections du Conservatoire des Arts et Métiers.

Les automates de Jacques Vaucanson

Le prospectus qui accompagne la présentation du **fluteur automate** nous indique qu'« il s'agit d'un homme de grandeur naturelle habillé en sauvage qui joue onze airs sur la flûte traversière par les mêmes mouvements des lèvres et des doigts et le souffle de sa bouche comme l'homme vivant ». L'Académie des sciences, à qui il a été présenté, a reconnu « la machine extrêmement ingénieuse ». En effet, l'inventeur a employé des moyens simples pour donner au doigts les mouvements nécessaires pour modifier le vent qui entre dans la flûte, pour modifier la position des lèvres, et en utilisant une soupape pour les fonctions de la langue permettant de contrôler le flux d'air.

Le vent sort réellement par la bouche et ce sont les doigts qui jouent. Les doigts sont en bois avec un morceau de peau à l'endroit qui bouche les trous de la flûte. L'automate est monté sur un piédestal à la manière d'une



statue. Le mécanisme à poids - moteur (cylindre en bois de 56 cm de diamètre et 83 cm de long) y est enfermé. Le cylindre garni de picots envoie des impulsions à 15 leviers qui commandent par le biais de chaînes et de fils, le débit des réservoirs d'air, le mouvement des lèvres et de la soupape faisant office de langue, ainsi que l'articulation des doigts. La description précise de ce mécanisme dans le rapport envoyé à l'Académie des sciences montre à quel point l'étude réalisée par Vaucanson a été menée en profondeur. Elle s'inscrit parfaitement dans l'étude de la respiration humaine qui était l'objectif de cette réalisation. L'intérêt pour cet androïde diminuant, Vaucanson s'engage dans la réalisation d'un deuxième automate, le **joueur de galoubet et de tambourin**. C'était un homme de grandeur naturelle habillé en berger provençal capable de jouer 20 airs différents sur le flûtet de Provence d'une main et du tambourin de l'autre. Aux dires des spectateurs, la précision et la perfection du jeu était surprenante et valait celle du joueur le plus habile.

On connaît mal le mécanisme qui animait cet automate, mais on pense qu'il était complexe puisqu'il nécessitait d'agir sur deux instruments différents, et que le flûtet de Provence

passait pour un instrument particulièrement ingrat. A l'occasion de la construction de l'automate, Vaucanson découvrit que « le galoubet est un des instruments les plus fatigants pour la poitrine dont les muscles font parfois un effort de 56 livres ».

Le troisième automate n'était pas un humanoïde, mais un **canard**. Le mécanisme était visible par transparence, à la fois dans le piédestal et dans le corps du canard. Selon la description qu'en fait son constructeur, on sait qu'il était pourvu de tous les « viscères destinés aux fonctions du boire, du manger et de la digestion ». Le canard pouvait allonger le cou pour prendre du grain dans la main, l'avaler, le digérer, et le rendre par les voies ordinaires tout digéré. Tous les gestes d'un canard qui avale avec précipitation y sont reproduits selon la nature. L'aliment est digéré, « et non trituré » et est conduit à l'extérieur sous forme d'une bouillie verte. Mais Vaucanson reconnaît qu'il ne s'agit pas d'une véritable digestion en mesure de nourrir réellement l'animal, puisque le but recherché est d'étudier les fonctions « premièrement d'avaler le grain, deuxièmement de le macérer, cuire ou dissoudre, troisièmement de le faire sortir dans un changement sensible ».

Exposé en 1744 au Palais Royal, il remporta un succès immédiat. Lorsque le nombre de visiteurs commença à décliner, Vaucanson entama une tournée triomphale en France, puis en Italie et en Angleterre. De nombreux témoignages affirment que les mouvements du canard étaient d'un réalisme quasi naturaliste.

Que sont devenus les automates de Vaucanson ?

Les deux automates musiciens ont disparu au début du XIX^e siècle.

Le canard a été acheté en 1840 par un mécanicien, mais a été détruit en 1879 dans l'incendie du musée de Nijni Novgorod. Il en reste quelques photographies du milieu du XIX^e siècle et une reproduction du canard est encore visible au musée dauphinois à Grenoble. ☘

LES ROQUETTES FRANÇAISES EN POINTE

par **Bernard Amrhein**,
 ■ **CONSEILLER OPÉRATIONNEL DE TDA ARMEMENTS SAS**

Il y a près d'un siècle, la France était la première Nation (et la seule pendant toute la Première Guerre mondiale) à armer des avions de roquettes air-air et air-sol, capacité réintroduite chez nous pendant la Guerre froide seulement. Depuis 2009, l'hélicoptère de combat TIGRE, qui tire des roquettes dans toutes les opérations où il est engagé, fournit aux unités au sol un véritable appui feu aérien rapproché, tout en offrant une capacité de neutralisation/destruction en autonome. Utilisant l'activation par induction, les lanceurs et les roquettes numériques français sont donc largement éprouvés au combat et constituent un système de deuxième génération, aux perspectives d'évolution assez exceptionnelles.



Un système d'arme avant-gardiste, à la fois simple à mettre en œuvre et sans effet sur la machine...

Quand l'innovation s'impose

La roquette française revient pourtant de loin, tant cet armement somrait dans l'obsolescence.

Massivement utilisée par les Alliés à la fin de la Deuxième Guerre mondiale, puis par les Américains pendant la Guerre de Corée et au Vietnam, la roquette de 2.75" (70 mm) n'évolue qu'à la marge au fil des ans. Côté soviétique, puis russe, la roquette de 80 mm, tirée à courte portée depuis des blindés volants, fait ses preuves en Afghanistan. Partout, la production de masse pallie le manque de précision : personne ne cherche à améliorer des systèmes jugés éprouvés.

En France, dès les années cinquante, la Société Nouvelle Edgar Brandt (SNEB) produit des roquettes air-sol pour les besoins de l'armée de l'air, mais avec des calibres de 68 et 100 mm. La *French Touch*, déjà ... La Première guerre du Golfe sonne le glas d'un armement tiré de trop près, et trop bas par des JAGUAR très vulnérables aux tirs de l'artillerie sol-air irakienne.

Le nouveau dogme des aviateurs prône alors le « tout missile » : exit la roquette ...

Avec le développement du futur hélicoptère de combat TIGRE, dans les années 2000, l'armement roquettes air-sol connaît un nouvel essor, mais doit se plier à de nouvelles contraintes opérationnelles (augmentation de portée, de précision, de sécurité) et techniques. En effet, mises à feu via une liaison électrique filaire, les roquettes existantes génèrent toutes des éjectas (câbles, connecteurs...) susceptibles d'endommager l'aéronef. Avec un appareil en matière composite et équipé d'un moyen optique, ce défaut est rédhibitoire.

Avec ses armes de type F4, TDA ARMEMENTS SAS, héritière de Brandt, invente la roquette de deuxième génération.

Des avantages techniques déterminants

Innovante, la roquette française l'est effectivement à divers titres.

Plus légère, plus précise, complètement inerte jusqu'au moment du tir et exempte de tout branchement externe, la roquette est activée par induction, c'est-à-dire par la transmission d'ondes électriques codées du lanceur vers la munition. L'induction permet également de transmettre à la roquette des données numériques comme, par exemple, la durée de trajet avant dépotage du fagot de fléchettes pour la munition Anti-Matériel et Véhicules (AMV), et de recevoir des informations montantes, comme le type de munition présent dans chacun des tubes.

Ensuite, de par la technologie employée et contrairement aux roquettes de première génération, les Roquettes activées par induction (RAI) sont totalement insensibles à l'environnement électromagnétique. Conformément aux classifications OTANIennes les plus sévères, elles sont particulièrement fiables et sécurisées, ce qui autorise le chargement des lanceurs à bord des Bâtiments de projection et de commandement (BPC) du type MISTRAL, comme ce fut le



Un système d'arme à la fois moderne et rustique, adapté aux conditions d'emploi les plus difficiles...

cas pendant la guerre au-dessus de la Libye en 2011.

Enfin, les roquettes de type F4 sont réputées inviolables, car il est impossible de les tirer si l'on ne connaît pas leur code d'activation. Des terroristes seraient bien incapables de les utiliser dans des lance-roquettes de fortune, d'en faire des Katiouchas ou de les transformer en Engin Explosif Improvisé (EEI). Le Système de Roquettes Activées par Induction (SRAI) inaugure donc une nouvelle ère, dans laquelle nos unités, tout comme les unités alliées ou amies, ne verront pas se retourner contre elles des armes françaises récupérées sur le terrain.

La technologie française en matière de roquettes est aujourd'hui unique au monde.

Une nouvelle manière de conduire la guerre

Cet écart technologique se creusera davantage encore avec la mise en service de la Roquette Guidée Laser (RGL) avant la fin de cette décennie.

Propulsée elle aussi par le moteur F4, cette munition est équipée du même système d'activation que les roquettes non guidées, d'un semi-actif laser, d'un kit de guidage comprenant quatre gouvernes et d'une charge militaire modulaire. Programmée depuis l'hélicoptère, elle peut at-

teindre des objectifs illuminés laser, fixes ou en mouvement, jusqu'à une distance de 5 000 mètres, avec une précision inférieure au mètre, l'Homme restant en permanence dans la boucle et pouvant donc dévier le tir en cas de doute avant impact.

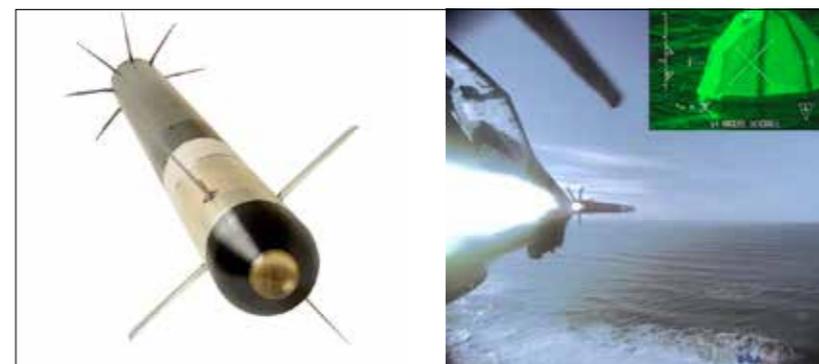
Cependant, la véritable révolution tactique consiste en la combinaison de cette extrême précision avec une charge militaire n'occasionnant que des dommages collatéraux très réduits : au-delà d'un rayon de vingt mètres autour du point d'impact, la munition n'a plus aucun effet, seule la cible est effectivement traitée. Cette nouvelle capacité ouvre de réelles perspectives dans le cadre de l'appui des troupes au sol, qu'elles soient alignées ou imbriquées avec l'ennemi car, désormais, un appui feu est possible au contact, ce qui n'était pas envisageable avec des munitions plus volumineuses et plus puissantes.

En particulier, la RGL autorise un emploi « au milieu des populations », dans le cadre d'une guerre asymétrique où l'ennemi n'hésitera pas à prendre des non-belligérants en otages afin d'interdire des frappes certes conventionnelles, mais très imprécises et aux effets souvent dévastateurs. Des assauts à courte portée sur des objectifs traités avec précision juste avant leur déclenchement éviteront certainement de nombreuses pertes inutiles.

En conclusion, peu onéreux, les systèmes de roquettes retrouvent une seconde jeunesse grâce à l'introduction de la technologie numérique et à l'activation par induction, qui rendent possibles les frappes chirurgicales et ouvrent de nouvelles perspectives sur le champ de bataille.

Ce véritable renouveau pourrait très bien être porté, d'ailleurs, par nos principaux Alliés qui, outre-Atlantique, se rendent bien compte des retards accumulés en la matière.

Enfin, il ne faut pas exclure l'adaptation de ce système d'armes à tous les types de véhicules, qu'ils soient terrestres, maritimes ou aériens, ainsi que le développement de roquettes auto-guidées, ce qui ouvrirait à ce système d'arme de nouvelles perspectives en termes d'emploi opérationnel. ☘

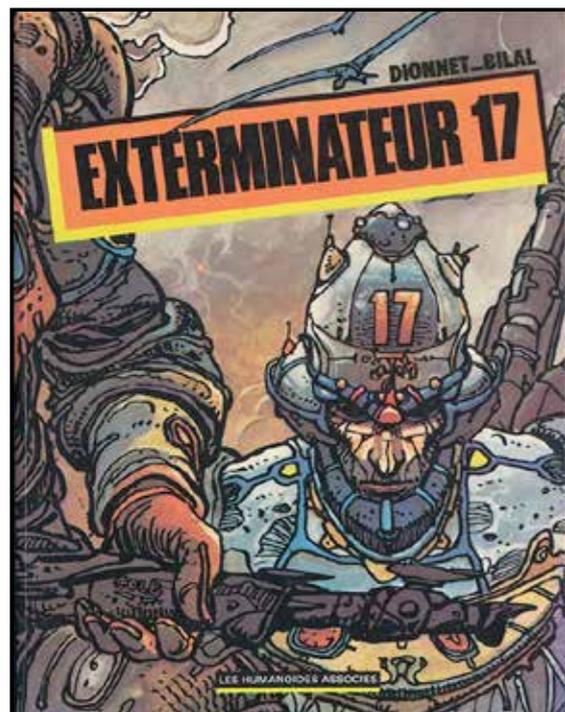


Roquette guidée laser (RGL) à précision sub-métrique

Filiale du Groupe THALES, TDA ARMEMENT SAS est implantée à LA-FERTÉ-SAINT-AUBIN (Loiret), aux franges Nord de la Sologne et à 20 kilomètres au sud d'Orléans.

Produisant – entre autres – les mortiers de 81 et de 120 mm (et leurs munitions) ainsi que le Système de roquettes activées par induction (SRAI), elle s'investit également dans le contrôle de zone, avec le SYstème de PROtection Périmétrique (SYPROPE), et dans la protection active des plateformes (par destruction de la menace missile/roquette avant impact). TDA ARMEMENTS SAS développe également une Munition guidée de mortier (MGM) de 120 mm et les MUnitions à Risque Atténué (MURAT). Pour en savoir plus, rendez-vous à l'adresse www.tda-armements.com...

Une excursion dans le monde de la robotique offre une profusion de choix d'œuvres de toute sorte. La rédaction vous en a sélectionné deux :



Exterminateur 17

de Jean-Pierre Dionnet et Enki Bilal,
BD parue en 1979 aux humanoïdes associés

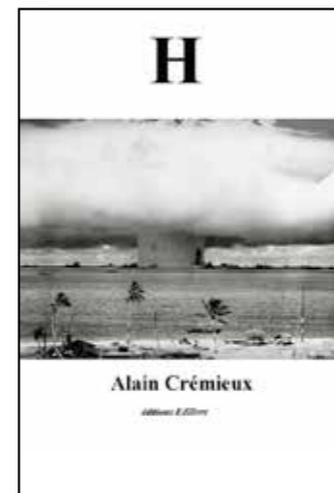
Alors qu'un monde deshumanisé utilise dans ses armées des androïdes de chair et de métal, le vieux maître qui les a créés découvre lors d'un conflit un « 17 », seul spécimen opérationnel de robot pour lequel il avait utilisé ses propres cellules. Lorsqu'un traité de paix est signé, tous les androïdes sont désactivés par destruction de leurs circuits. Le vieux maître meurt, mais un androïde se réactive sur le champ de bataille... Une réflexion sur la conscience et l'autonomie des robots dont nous nous rapprochons à grands pas, et une œuvre magistrale du grand Bilal.



Le guide du voyageur galactique

de Douglas Adams

Une œuvre de science fiction multidisciplinaire commencée sous forme d'un feuilleton radiophonique, puis déclinée en livres, série télévisée, pièce de théâtre et film en 2005, ainsi que bande dessinée et jeu vidéo. Les romans sont une « trilogie en cinq tomes » parue entre 1979 et 1992, mêlant un humour très british à la limite de l'absurde et plusieurs thèmes qui sont devenus mythiques : par exemple le chiffre 42, ultime réponse du super ordinateur « *deeph thought* » à la grande réponse sur « la vie, l'univers et le reste » après 7,5 millions d'années de calculs ! Notons ainsi que 42 est le nom de l'école d'informatique fondée par Xavie Niel en 2013. Autre élément marquant, le personnage de Marvin : C'est un androïde dépressif et paranoïaque. D'après Arthur Dent, héros humain de la série, Marvin est « le penseur le plus lucide » qu'il connaisse. Marvin affirme lui-même être environ 30 milliards de fois plus intelligent qu'un terrien très moyen, mais il souffre d'une douleur permanente sur toutes les diodes du côté gauche...



H par Alain Crémieux

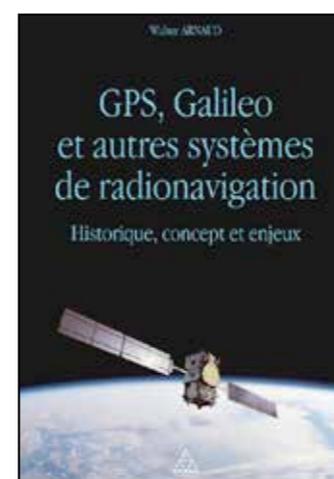
Édilivre (www.edilivre.com)

Au cours du XXI^{ème} siècle, dans le contexte d'une situation internationale qui ne cesse de se dégrader, le commandant d'un SNLE part en patrouille. Les informations qui lui ont été communiquées par l'amiral commandant les forces océaniques stratégiques (ALFOST), et surtout par son cousin, colonel affecté à l'état-major particulier du président de la République, particulièrement bien au courant de l'évolution des événements, le rendent soucieux et le portent à penser que cette patrouille pourrait ne pas être ordinaire.

Dans cette situation fictive, mais vraisemblable, notre camarade Alain Crémieux (IGA) nous fait partager la vie des hommes (et des femmes, car à cette époque future, les femmes font partie de l'équipage) dans l'exécution de leurs nombreuses occupations tout en nous mettant dans l'ambiance du bord. L'auteur analyse, sous forme de dialogue, les questions de nature philosophique qui peuvent agiter le commandant et son second dans le cadre de leur mission de dernier rempart nucléaire à l'exacerbation des conflits. L'emploi de l'arme nucléaire engendre des problèmes moraux terribles par ses conséquences pour l'humanité toute entière.

Le roman est riche de péripéties, les événements se précipitent et l'horreur nucléaire, que l'on espère rester au niveau de la fiction, est sur le point de toucher la France.

Dans un style alerte, Alain Crémieux nous fait vivre une expérience dramatique et aborde au fil des réflexions des divers protagonistes de cette histoire, les problèmes que pose, depuis soixante-dix ans, la menace virtuelle de la guerre nucléaire.



GPS, Galileo et autres systèmes de radionavigation

de Walter Arnaud, ICA, aux Presses des Ponts

Walter Arnaud, ICA en poste au Moyen Orient, poursuit en parallèle des recherches et travaux universitaires dans le domaine des radiocommunications.

Le présent ouvrage fait le point des avancées des systèmes satellitaires de communication. En effet, les systèmes de géolocalisation et de radionavigation nécessitent, pour leur conception et leur développement, des moyens techniques et financiers importants. Mais ils ne sont pas seulement des outils technologiques. Ils sont aussi « et peut-être, même surtout » des instruments de souveraineté, de politique, de diplomatie et de développement économique. Ils sont l'un des moyens de mise en œuvre de la stratégie des États. Étudier ces systèmes de géolocalisation « leur histoire, leur développement, leur emploi » permet de comprendre la stratégie réelle des États et leurs ambitions associées.

A l'heure où l'on parle beaucoup de Galileo, un livre pour se (re)mettre à niveau sur ces sujets particulièrement sensibles.

PAR DÉCRET DE SEPTEMBRE 2014**Sont nommés :**

L'IGA1 Leclère (Marc, Alain), chargé de mission auprès de la directrice des opérations (1^{er} octobre 2014).

L'IGA2 Cojan (François, Jean, Michel), adjoint à la directrice des opérations et chef du service centralisé des achats à la direction des opérations (1^{er} octobre 2014).

PAR DÉCRETS D'OCTOBRE 2014**Est nommée et élevée au rang et appellation d'ingénieur général hors classe :****Pour prendre rang du 1^{er} décembre 2014**

L'IGA1 Laurent (Caroline, Marie, Eugénie), directrice de la stratégie de la DGA.

Est nommé :

L'ICA Ripoché (Jean-François), membre du conseil d'administration de l'Office national d'études et de recherches aérospatiales (16 octobre 2014).

PAR DÉCRETS DE NOVEMBRE 2014**Est nommé et élevé au rang et appellation d'ingénieur général hors classe :****Pour prendre rang du 1^{er} décembre 2014**

L'IGA1 Leclère (Marc, Alain), directeur général des systèmes d'information et de communication.

Est nommé :

L'IGA2 Baud (Thierry, Marcel), directeur de l'unité de management Espace et systèmes d'information opérationnels de la direction des opérations (1^{er} décembre 2014).

PAR DÉCRETS ET ARRÊTÉ DE DÉCEMBRE 2014**Sont promus au grade d'ingénieur général de 1^e classe :****Pour prendre rang du 1^{er} janvier 2015**

L'IGA2 Howyan (Marc, Eric).

L'IGA2 Cojan (François, Jean, Michel).

L'IGA2 Spina (Eveline, Maryvonne).

L'IGA2 Baud (Thierry, Marcel).

Sont nommés au grade d'ingénieur général de 2^e classe :**Pour prendre rang du 1^{er} janvier 2015**

L'ICA Clerc (Jean-Pierre, Raymond).

L'ICA Garidel-Thoron (Guillaume, Philippe, Florence, Marie).

L'ICA Thomassier (Vincent, Bernard)

L'ICA Poupard (Guillaume)

Pour prendre rang du 1^{er} février 2015

L'ICA Dal (François-Olivier, Pierre).

L'ICA Priou (Richard, Michel, André).

L'ICA L'Ebraly (Hubert, Marie, Jacques).

Sont nommés :

L'IGA Laurent (Caroline), membre du conseil d'administration de l'Ecole nationale supérieure de techniques avancées (8 décembre 2014).

L'IGA Sainjon (Bruno), membre du conseil d'administration du Centre national d'études spatiales (11 décembre 2014).

Jean-Paul Herteman, président du conseil d'administration du Conservatoire national des arts et métiers (15 décembre 2014).

PAR DÉCRETS DE FÉVRIER 2015**Sont nommés au grade d'ingénieur général de 2^e classe :****Pour prendre rang du 1^{er} mars 2015**

L'ICA Sayegh (Michel, Emile, Aboud).

L'ICA Dock (Jean-François).

L'ICA Ripoché (Jean-François, Yves)

Sont nommés :

L'IGA Cousquer (Jacques), chargé de la sous-direction Asie - Pacifique de la Direction du développement international (11 février 2015)

L'IGA Mestre (François, Marie, Marcel), chargé des fonctions de directeur adjoint de la stratégie, chef du Service de préparation des systèmes futurs et d'architecture (11 février 2015)

L'IGA Nouveau (Jean-Christophe), chargé des fonctions de directeur adjoint à la Direction des plans, des programmes et du budget (1^{er} mars 2015)

L'IGA Thomassier (Vincent, Bernard), chargé de la sous-direction Europe occidentale et Amérique du nord de la Direction du développement international (11 février 2015)

L'IGA Dal (François-Olivier, Pierre), adjoint au sous-chef d'état-major « plans et programmes » de l'Etat-major de l'armée de terre (1^{er} mars 2015)

L'IGA L'Ebraly (Hubert, Marie, Jacques), chargé de la sous-direction Europe centrale et orientale et Amérique du sud de la Direction du développement international (1^{er} avril 2015)

Hervé Guillou, président du conseil d'administration de la société DCNS (13 février 2015).

DUPONT DE DINECHIN Jérôme

GARNIER Frédéric

GERMOND Emmanuel

HERVE Guillaume

JAEGER Eric

JANNIN Laurent

LAHAYE Gilles

MARESCAUX Bruno

ROUZAUD Isabelle

Médaille d'honneur des affaires étrangères**Echelon argent - Acte de bravoure et de dévouement**

ARNAUD Walter

Médaille de l'aéronautique - Décret du 27/11/2014

COSSE Emmanuel

MOBILITÉS ET DÉPARTS**Mouvements d'octobre**

Grade	Nom	Prénom	Départ	Arrivée	
ICA	BOUCHACOURT épouse TANCHOU	Isabelle	DRH	Détaché	MEDDE/DAM
ICA	BRIGAUD	Régis	DRH	HDSE	SIAé
ICA	CADIC	Michel	DP	HDSE	DPSD
IPA	DE SEZE	Antoine	DO	DO	SCA
ICA	GOSTIAUX	Michel	DO	DS	SASF
IA	MELGRANI	Mathieu	HDSE	DT	DGA Essai
ICA	POINSOT épouse LOPEZ	Corinne	DT	DO	UM ESIO
ICA	THOMASSIER	Vincent	CAB	DI	AC

Mouvements de novembre

Grade	Nom	Prénom	Départ	Arrivée	
IPA	BONNEVIE	Loïc	DT	DO	SCA
ICA	CHAMPAGNE épouse BOUGAUT	Isabelle	DS	DT	AC
IPA	FREBOURG épouse CONTRASTIN	Elodie	DT	DS	SASF
ICA	LOUISE	Damien	DO	DS	AC
ICA	PIALAT épouse MARTIN	Emeline	DT	DP	AC
IPA	RACHIDI	Imade	DT	HDSE	EMA
ICA	TRUFFIN	Martial	DO	DI	AC

Mouvements de décembre

Grade	Nom	Prénom	Départ	Arrivée	
ICA	JAEGER	Eric	AFF TEMP	HDSE	DGSIC
ICA	LE GALL	Loïc	DO	DO	UM NBC
IPA	PORTIER	Maximilien	DP	DO	UM COE

CARNET PRO

Robert Ranquet (1953) a créé une société d'expertise judiciaire en conseil aux entreprises (31/12/2014)

Philippe Pujes (1966) a rejoint la Direction de la technologie au MESR (ex DGRT) (31/12/2014)

Jean-Luc Masset (1957) devient consultant Défense & Innovation (Région de Bordeaux) (01/01/2015)

Sont nommés :

Florent Chabaud (1970), vice-président Business Security chez Technicolor (01/12/2014)

Marc Belloeil (1966), chargé de mission Service performance, financement et contractualisation avec les organismes de recherche au MESR/DGRI (31/12/2014)

Jean-Philippe Aubertel (1970), directeur des investissements, en charge du suivi des participations du fonds INFRAMED MANAGEMENT (01/01/2015)

Dominique Blaes (1977), chef du bureau Défense et mémoire à la 5^{ème} sous-direction du Ministère du budget/Direction du Budget (01/01/2015)

Claude Benessy (1967), adjoint au chef du bureau Défense et mémoire à la 5^{ème} sous-direction du Ministère du budget/Direction du Budget (01/01/2015)

Philippe Euzennat (1962), directeur de projet chez Bombardier Groupe/Transport (01/01/2015)

Roland Codde (1958), directeur des programmes navals à ODAS (01/01/2015)

Cyril Rousseau (1977), directeur délégué du service Pilotage du dispositif de sortie des emprunts à risques du MEIE (01/01/2015)

Renaud Mouterde (1963), directeur du management de projets de Systra (02/01/2015)

PROMOTIONS**Ingénieurs de l'armement****Au grade d'ingénieur en chef****au 01/10/2014**

LE BRAS Florent

DUPONT Hervé

au 01/11/2014

EDIEU Vincent

DÉCORATIONS**Ordre National du Mérite - Décret du 31 octobre 2014****Au grade de Commandeur**

DEMARY Yves

Au grade d'Officier

LAURENSOU Benoît

LIZANDIER Denis

SECHET ép. LAURENT Caroline

SELLIER Laurent

Au grade de Chevalier

CADIC Michel

CAUDRON DE COQUEREAUMONT Chantal

COLSON Sylvain



Un grand délégué nous a quittés

Emile Blanc

Nous avons publié dans ces colonnes la vision d'Emile Blanc sur l'armement à la faveur de la table ronde organisée par la CAIA en mars 2012, et plus récemment un article sur son ami Jacques Bousquet. Il nous a quittés le 17 novembre dernier.

Emile Blanc est né en 1932 à Salsigne, un village proche de Carcassonne et tous ceux qui l'ont connu savent qu'il avait gardé de sa région natale l'accent chaleureux qui y est associé.

Il est entré à l'École Polytechnique en 1954 et en est sorti en 1956 dans le corps des Ingénieurs Militaires de l'Air (intégré au corps des Ingénieurs de l'Armement en 1968).

Après une année de stage au Centre d'Essais en Vol qui lui a permis d'obtenir sa qualification de Pilote Militaire de Transport sur bimoteur à Avord, il a passé deux ans à l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique (option Équipements).

Il est resté ensuite plus de dix ans à Toulouse, jusqu'en 1973.

D'abord jeune ingénieur au Centre d'Essais Aéronautiques de Toulouse, le CEAT, il en est ensuite devenu le chef du groupe « Physique ». Il s'y occupait principalement d'équipements de bord (hydraulique, électricité, conditionnement d'air et optique). On m'a dit un jour qu'il arrivait au délégué syndical et à lui-même, quand la discussion devenait chaude, de dérapier en occitan. Peut-être est-ce une légende... Il a été ensuite Directeur technique du CEAT et en parallèle Directeur des Études de l'ENSICA, l'École Nationale Supérieure des Ingénieurs des Constructions Aéronautiques.

Appelé au Service Technique de l'Aéronautique (STAé) à Paris comme chef de la section des équipements, il a eu une grande influence sur ce secteur qui devenait de plus en plus important. On passait en effet progressivement à des équipements numériques. Cela lui a donné l'occasion, bien avant que se termine la guerre froide, de travailler avec les Soviétiques dans le domaine des équipements pour avions civils. Cette fonction l'a conduit à aller en mission en URSS.

C'était l'époque du Concorde et d'une évolution en profondeur des méthodes et des moyens d'essais.

En janvier 1980, la DTCA a réorganisé ses services pour améliorer son efficacité en créant le Service Technique des Programmes Aéronautiques (STPA) et le Service Technique des Télécommunications et des Équipements aéronautiques (STTE). Emile Blanc a été le sous-directeur technique du STTE, responsable des études, jusqu'en 1981.

C'est en effet en 1981, dès le mois de mai, qu'il a été appelé au cabinet de Charles Hernu, où il a eu la responsabilité des affaires d'armement. Il y est resté jusqu'au 25 mai 1983, date à laquelle il est devenu Délégué Général pour l'Armement, fonction qu'il a exercée jusqu'au 14 mai 1986.

Cette période est caractérisée par des relations internationales étroites et complexes dans le domaine de l'armement, avec les États-Unis d'une part et avec les pays européens de l'OTAN d'autre part. Il y a vécu des négociations difficiles avec ces partenaires européens dans le domaine des avions de combat et était le représentant de la France à la réunion de Turin du 1^{er} août 1985 où a été actée la rupture de la tentative de coopération pour la réalisation d'un avion de combat à cinq (France, Royaume-Uni, Allemagne, Italie et Espagne). C'était le début de la concurrence entre l'Eurofighter Typhoon et le Rafale.

Il fut également très affecté par l'assassinat de l'Ingénieur général René Audran, Directeur des Affaires Internationales, et eut à cœur d'organiser chaque année durant dix ans une cérémonie commémorative, devant sa tombe, réunissant autour de ses enfants les autorités de la DGA qui étaient en place à l'époque du drame.

A partir de 1986, il a poursuivi sa carrière dans l'industrie nationalisée, à la SNECMA d'abord, à la SNPE ensuite.

De 1986 à 1989, il a été directeur délégué, chargé des filiales et des participations, à la SNECMA.

Il est devenu ensuite Président de la Société Nationale des Poudres et explosifs, la SNPE, le 1^{er} juillet 1989 et a été renouvelé en 1992. Il en est resté le Président jusqu'en 1994.

Ses fonctions l'ont conduit à participer au conseil de sociétés comme Dassault Aviation ou à celui de Groupements industriels comme le GICAT dont il a été président de 1990 à 1994.

La conclusion de ses activités professionnelles ne l'a pas conduit, et de loin, à une retraite inactive.

- La présidence jusqu'en 2003 de l'association France Conversia, créée en 1993 pour promouvoir les relations entre l'industrie d'armement française et l'industrie russe, activité étendue ensuite aux autres pays de l'Europe de l'Est (coopération et exportation).
- La présidence de l'association Eurodéfense-France de 2001 à 2006.
- La présidence du COMAERO de 2001 jusqu'à son décès. Le COMAERO est un comité constitué de personnalités ayant fait tout ou partie de leur carrière dans l'aéronautique qui a publié seize études très complètes sur des sujets couvrant l'ensemble du domaine de 1945 à 1995.

« Emile Blanc a marqué en bien et en grand ceux qui l'ont croisé durant cette carrière bien remplie. Un grand Délégué. »

La CAIA

INTÉGREZ LES
SOLUTIONS MBDA



LEADER MONDIAL
DES SYSTÈMES
DE MISSILES

MBDA associe l'excellence
technologique et la coopération
industrielle pour doter les forces
armées des meilleures capacités
opérationnelles en matière de missiles
et systèmes de missiles.

www.mbd-systems.com

MBDA
MISSILE SYSTEMS



make sure

ROBOTICS & INTEGRATED SYSTEMS FOR DEFENCE AND SECURITY



www.ecagroup.com