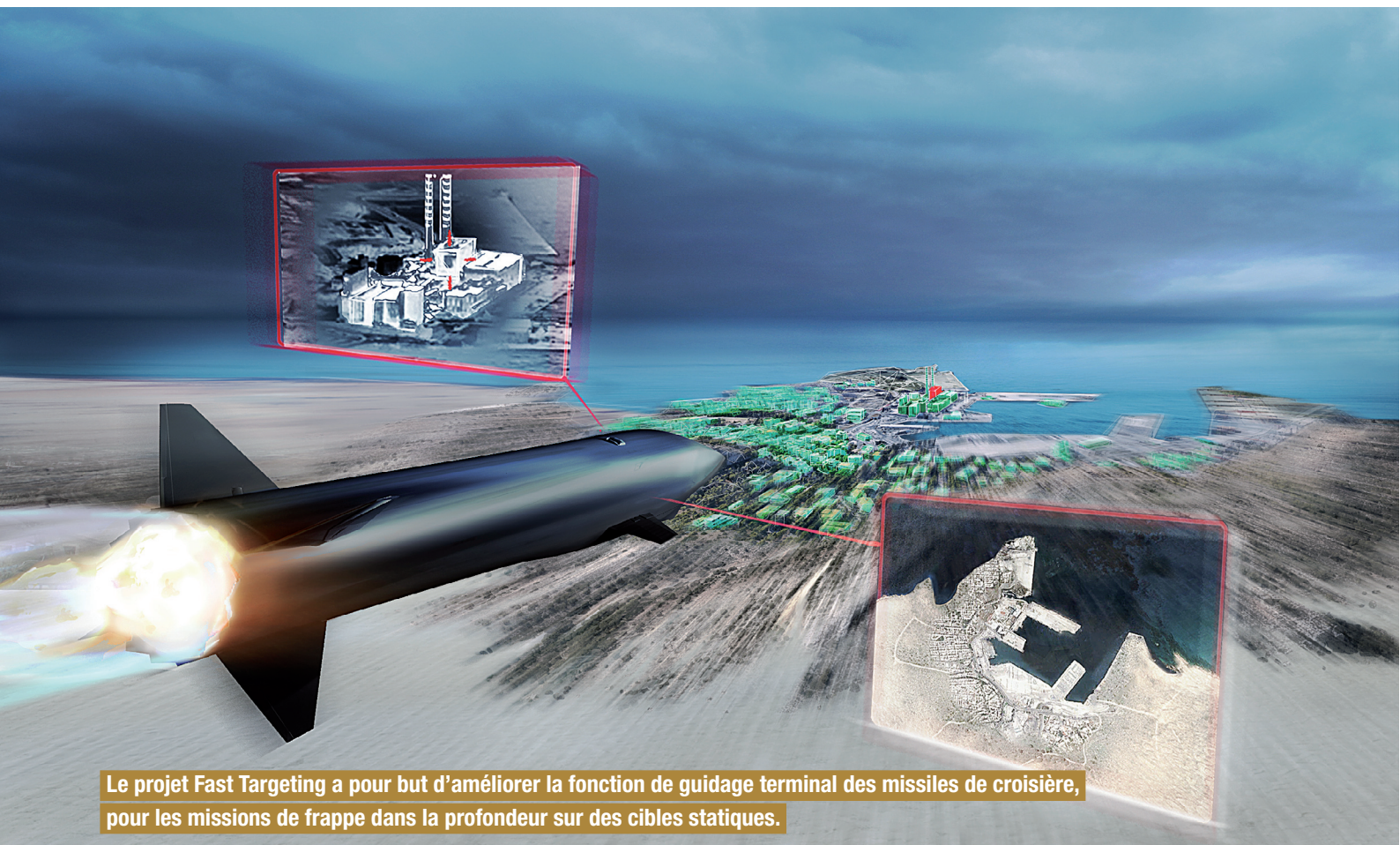


MISSILES DE CROISIÈRE

# LES FUTURES TECHNOLOGIES SONT À L'ÉTUDE



Le projet Fast Targeting a pour but d'améliorer la fonction de guidage terminal des missiles de croisière, pour les missions de frappe dans la profondeur sur des cibles statiques.

VOICI DOUZE ANS QUE LE MCM ITP PERMET UNE COLLABORATION ET DES PARTENARIATS TECHNOLOGIQUES DES DEUX CÔTÉS DE LA MANCHE. CE FONDS DE RECHERCHE DÉFINIT CE QUE SERA L'INNOVATION DANS LE DOMAINE DES MISSILES À L'HORIZON 2030, NOTAMMENT EN MATIÈRE DE MISSILES DE CROISIÈRE.

**L**e MCM Itp, acronyme de Materials & Components for Missiles Innovation & Technology Partnership (littéralement matériaux et composants pour l'innovation en matière de missiles et de partenariat technologique) est un fonds de recherche sponsorisé par la DGA et Dstl (Defence Science and Technology Laboratory), ouvert à toutes les sociétés françaises ou britanniques, ainsi qu'aux insti-

tutions académiques. C'est la sixième édition que connaît ce haut rendez-vous de la technologie, lancé en 2008, dont l'objectif reste toujours le même : identifier et développer les technologies exploitables pour la prochaine génération de systèmes de missiles à l'horizon 2030. Cette année, cette conférence bisannuelle se tenait à Birmingham (Grande-Bretagne).

Depuis sa création, le MCM Itp a permis de conduire plus



de 200 projets de recherche impliquant plus de 150 organisations différentes. Il est financé à parts égales par les gouvernements français et britannique, ainsi que les partenaires industriels à hauteur de 13 M€ ; en octobre 2019, quatorze autres nouveaux projets y ont été lancés. MCM Itp est ainsi devenu la pierre angulaire de la recherche collaborative et des programmes de démonstration technologique pour les systèmes de missiles franco-britanniques. Et pourrait évoluer sous forme de CW Itp, autrement dit Complex Weapons Innovation & Technology Partnership, en ouvrant le champ d'application sur une plus large échelle, permettant également de passer de projets de TRL3 à TRL4 (Technology Readiness Level – niveau de maturité technologique).

Les technologies développées dans le cadre du MCM Itp s'illustrent de plusieurs manières, dans différents domaines, qu'il s'agisse de propulsion aérobie, d'autodirecteurs... C'est sans doute dans le domaine des missiles de croisière que ces évolutions sont les plus concentrées, réunissant charge pénétrante ALM, aubes en céramique, matériaux RF thermiques et antennes conformes, système de guidage terminal et guidage terminal.

## STRUCTURE MÉTALLIQUE.

La charge pénétrante ALM (acronyme d'Additive Layer Manufacturing, ou fabrication additive) emploie l'impression en trois dimensions pour réaliser une structure métallique interne complexe qui permet de conserver la solidité nécessaire pour pénétrer des cibles durcies, tout en réduisant la masse de charge. Typiquement, une charge militaire pénétrante doit être capable de traverser une structure bétonnée ou en maçonnerie avant de détoner. Traditionnellement, pour obtenir cette résistance à l'impact, une enveloppe métallique est utilisée mais elle conduit à une perte d'énergie lors de la

détonation puisque la charge utile doit briser l'enveloppe avant la libération de l'effet. La nouvelle approche par fabrication additive permet de réduire la perte d'énergie à la détonation mais également des motifs spécifiques de fragmentation par jeu sur les formes de structure lors de l'impression. La létalité s'en voit ainsi augmentée tandis que la masse est réduite, les dommages collatéraux peuvent potentiellement être réduits ou diminués grâce à la maîtrise de la fragmentation. Ce projet est réalisé par MBDA avec le concours d'Impetus Afea et Fluid Gravity dans le domaine de la modélisation ; Thiot Ingénierie et BlasTech sont quant à eux respectivement chargés des essais au canon à gaz et des essais de tirs réels.

Les aubes en céramique sont une réalisation de Safran Power Units avec le concours de l'université de Birmingham, Syalon et l'Imperial College. Elles présentent l'avantage de résister à des températures accrues, tout en étant plus compactes, améliorant ainsi l'efficacité énergétique et en conséquence l'au-

tonomie. À la suite des recherches et essais menés dans le cadre de MCM Itp, cette technologie a atteint le stade de la fabrication d'aubes en céramique susceptibles d'être assemblées sur un rotor destiné à être testé. Les aubes en céramique pourraient dès lors remplacer celles qui sont actuellement réalisées en alliages métalliques coûteux.

## ÉCHAUFFEMENT.

Les matériaux RF thermiques (acronyme de Radio Frequencies) sont issus d'une collaboration entre MBDA et International Syalons Ltd et Pyromeral Systems. Le vol à très haute vitesse génère des échauffements aérodynamiques extrêmes sur les structures des missiles. Ce projet vise à identifier les matériaux transparents aux ondes électromagnétiques susceptibles de tenir à ces environnements pour protéger les antennes de communication par satellite et de transmission de données. Ont été sélectionnés et usinés des céramiques et céramiques composites qui sont efficaces sur tout le spectre des fréquences de com-

munication militaires et dans des environnements difficiles.

Le concept d'antennes conformes reprend de son côté les technologies d'antennes existantes et vise à les intégrer dans la peau du missile afin de réduire le volume de la liaison de données et de l'autodirecteur. Le volume libéré permet alors d'augmenter la portée ou la létalité du missile. Les antennes conformes autorisent des angles d'émission et de réception accrus sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des pièces mobiles, ce qui réduit également la complexité et les coûts. Ce projet est mené en coopération avec l'université de Loughborough. Le guidage terminal a fait l'objet de son côté d'un projet baptisé Fast Targeting.

« L'objectif du projet Fast Targeting est d'améliorer la fonction de guidage terminal des missiles de croisière, pour les missions de frappe dans la profondeur sur des cibles statiques, dans un environnement complexe », commente Paul T., responsable du projet au sein de MBDA France. Actuellement et pour les systèmes en service, cette fonction de guidage

D'autres projets ont été présentés tels qu'Humat, acronyme de Human Machine Teaming, ou comment l'intelligence artificielle seconde l'humain.



terminal utilise des comparaisons de l'image de l'autodirecteur infrarouge avec des modèles de la cible, qui sont élaborés lors de la phase de préparation de mission. « Ce qui veut dire que, pour chaque mission, il faut produire un modèle spécifique à cette dernière. Cette opération plus ou moins automatisée peut être à la fois longue, complexe et restrictive. L'ambition du projet Fast Targeting est de définir une nouvelle stratégie de guidage terminal qui exploite une comparaison directe et sans modèle de cible de l'image de l'autodirecteur avec une image d'observation de la cible. Cela ouvre la voie à une désignation d'objectif très rapide permettant d'engager la munition sur une cible choisie directement sur une image satellite », ajoute Paul T. En termes d'organisation, ces travaux ont été menés en collabo-

ration dans notre cas, les distorsions radiométriques et géométriques sont trop fortes entre les deux images que l'on souhaite comparer. La visée de l'image d'un autodirecteur infrarouge est en général oblique, tandis que l'image d'un satellite est d'une visée beaucoup plus verticale, avec un contenu radiométrique totalement différent. Nous avons donc exploré des techniques nouvelles, populaires dans la communauté scientifique ces dernières années, à base d'intelligence artificielle, et en particulier de Deep Learning. Nous nous sommes ainsi dotés de briques technologiques innovantes permettant de comparer des images de nature très différente, au travers d'un projet qui s'est étalé sur une durée de trois ans. La première année a consisté à élaborer des algorithmes permettant de comparer des

à partir des images issues de deux caméras, la position relative d'une caméra par rapport à l'autre », poursuit Paul T.

## TRANSFORMATION GÉOMÉTRIQUE ENTRE DEUX CAMÉRAS.

Pour réaliser la tâche d'estimation d'une transformation géométrique entre deux caméras, nous avons exploité des réseaux de neurones, qui sont une certaine catégorie d'algorithmes d'apprentissage automatique. L'objectif est d'enseigner cette tâche aux réseaux de neurones qui sont entraînés lors d'une étape d'apprentissage grâce à une grande base de données d'images dont on connaît les conditions d'acquisition. On parle alors d'apprentissage supervisé, c'est-à-dire que l'on montre à l'algorithme ce qu'il doit estimer

de cette base caractérisée par une grande diversité. À cette fin, nous avons généré des images de synthèse sur différentes zones visées, dans deux scènes différentes, avec une génération systématique d'images dans deux bandes différentes, en visible et en infrarouge, selon différentes conditions météorologiques, différentes heures de la journée, différents angles de caps et d'élévations, différentes distances... Soit un ensemble de conditions d'observation qui garantissent la diversité nécessaire », détaille Paul T. Le résultat se concrétise sous la forme d'une base de données de plus de 200 000 images, qui a permis de faire les apprentissages.

## TROIS DIRECTIONS.

« Dans le cadre des études sur les algorithmes d'intelligence ar-

**Vue d'artiste de ce que pourrait être la prochaine génération de missiles de croisière, réunissant une turbine à aubes en céramique, des matériaux RF et/ou antennes conformes, une charge pénétrante ALM et un guidage terminal issu en droite ligne du projet Fast Targeting.**



ration entre MBDA France, MBDA-UK et le laboratoire Greyc de l'université de Caen-Normandie.

La problématique de comparaison image à image n'est pas une nouveauté dans le domaine du traitement d'images. « Les techniques classiques ont un domaine d'emploi insuffisant pour ce contexte d'application, puisque

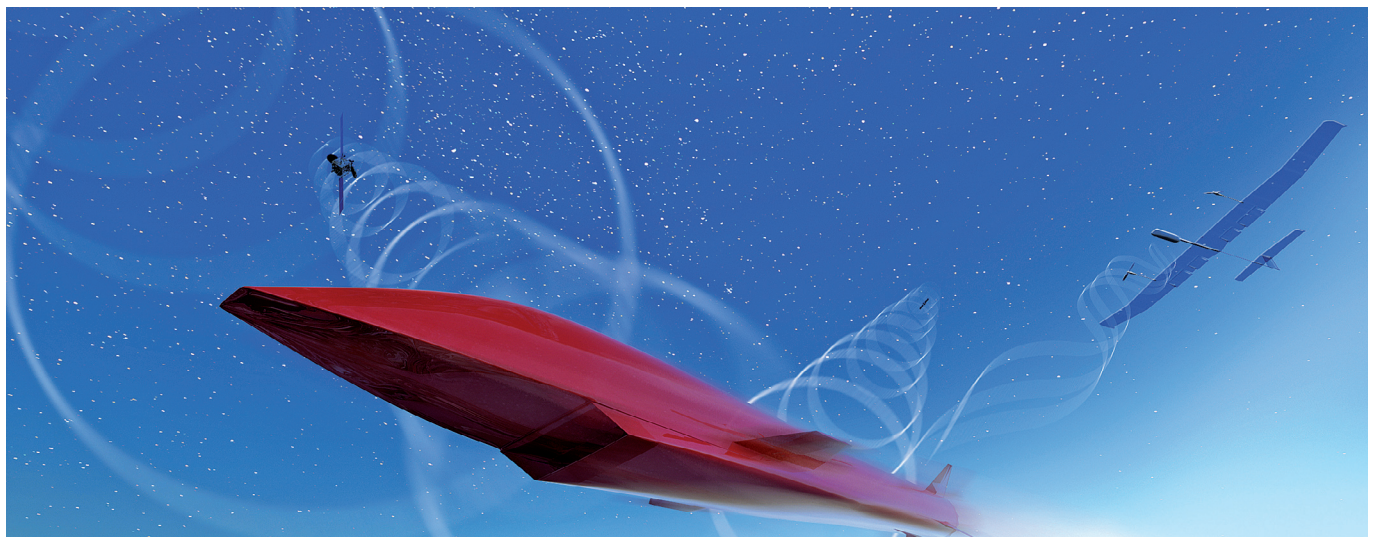
images visibles et infrarouges avec des petites variations géométriques. En 2018, nous avons introduit dans nos études les fortes distorsions géométriques dues aux effets de perspective et aux effets 3D dans les scènes complexes. Enfin, la dernière année a consisté à assembler tous ces algorithmes pour élaborer une chaîne de traitement qui estime,

en fonction d'une grande quantité d'exemples de données d'entrée. Cela fait, on attend du réseau de neurones qu'il soit capable de réaliser la même tâche sur de nouvelles données.

« Pour mener toutes ces études algorithmiques de Deep Learning, il a fallu se doter d'une grande base de données. La première étape a été la génération

artificielle, nous avons suivi trois directions complémentaires. La première est d'essayer de remplacer tout le système par un réseau de neurones qui va directement extraire des informations des deux images et produire en sortie l'estimation que l'on cherche. Nous laissons tout le réseau s'optimiser seul et de façon globale pour réaliser la tâche de-





**Reason, acronyme de Resilient & Autonomous Satcom Navigation, fut également présenté au MCM Itp, qui utiliserait les signaux de communication par satellite (satcom) comme moyen de maintenir une navigation de précision pour les futurs missiles de croisière à longue portée.**

M. OBER

mandée (approche globale). La seconde direction est vraiment une approche opposée : nous avons essayé d'améliorer de façon incrémentale la chaîne de traitement d'image traditionnelle, grâce à des formulations par réseaux de neurones de certains de ses composants (approche incrémentale). Enfin, la troisième direction est une approche hybride. Elle bénéficie de tout ce que nous avons appris des autres études », explique Paul T.

### ARCHITECTURE DE RÉSEAUX DE NEURONES.

« Pour l'approche globale, nous avons conçu une architecture de réseaux de neurones basée sur un modèle siamois, c'est-à-dire à deux branches, qui vont extraire des informations de deux images en parallèle pour estimer une transformation entre les deux images. Nous avons réussi à obtenir, sur la tâche de relocalisation d'une caméra par rapport à une autre, de meilleures performances que l'état de l'art. Néanmoins, cette technique, qui fonctionne bien sur une scène déjà vue à l'apprentissage, s'est avérée plus limitée lorsqu'il a été question de généraliser les performances sur une scène inconnue », remarque Paul T. Cela

a motivé la poursuite des travaux vers d'autres directions.

« Pour l'approche incrémentale, nous sommes partis d'une technique traditionnelle, utilisée notamment dans le domaine de la stéréovision, et basée sur une extraction et un appariement de points caractéristiques dans les deux images à comparer. Pour rendre les points d'intérêt plus robustes aux distorsions radiométriques et géométriques présentes dans notre application, nous avons identifié dans la littérature des formulations à base de réseaux de neurones des détecteurs de points d'intérêt. Nous avons comparé systématiquement la chaîne utilisant les détecteurs de points classiques avec celle utilisant les nouvelles versions de ces détecteurs. Nous avons constaté que les nouveaux détecteurs de points d'intérêt sont systématiquement plus robustes », note Paul T.

### SYNTHÈSE DES APPROCHES.

La troisième direction est une synthèse des deux approches. « Nous sommes partis d'une architecture qui extrait des informations des deux images grâce à un réseau de neurones siamois que nous avons contraint de

mesurer les correspondances locales entre les deux images avant d'estimer la transformation recherchée. La mise en correspondance locale des deux images n'est pas faite au moyen de points d'intérêt, comme c'était le cas auparavant, mais directement à l'intérieur de l'architecture du réseau de neurones. La mise en correspondance des images est alors faite de façon abstraite dans les informations intermédiaires manipulées par le réseau de neurones et non plus directement sur des positions dans les images. Le système s'appuie ensuite sur cette mise en correspondance pour estimer la transformation géométrique entre les deux images. Cela nous a permis de systématiquement améliorer les performances d'estimation de transformation géométrique entre images, sur des scénarios de difficultés croissantes », déclare Paul T.

« Nous avons réalisé des démonstrations sur nos bases de données synthétiques, et la prochaine étape est d'utiliser des données un peu plus riches, puisque des textures plus réalistes contribueront à la robustesse du système avant de le tester sur des images réelles. Il nous faudra également caractériser le do-

main d'emploi de cette technologie en fonction des données utilisées et des missions envisagées. L'amélioration de la robustesse et l'élaboration d'un niveau de confiance restent un défi important avant d'insérer cette technologie dans de futurs produits », expose Paul T. Ce type d'algorithme sera entouré de protections permettant de garantir l'invalidation des résultats en cas de dysfonctionnement. Ces travaux prospectifs sont en lien avec d'autres études menées à MBDA dans le domaine de l'intelligence artificielle afin d'étendre le domaine d'emploi des systèmes tout en contrôlant les nouveaux risques potentiels liés à ces technologies innovantes. « De plus, des études doivent également être menées sur l'optimisation de ces algorithmes pour les systèmes embarqués, car leurs performances dépendront également des futures technologies de calculateur », ajoute Paul T.

Les systèmes envisagés pour l'introduction de la technologie Fast Targeting sont les futurs missiles de longue portée et les futurs missiles de moyenne portée pour les missions d'attaque au sol.

■ Antony Angrand