Association des auditeurs et cadres des sessions nationales
« Armement & Économie de Défense » de l'IHEDN

Des armements pour un monde nouveau

EAS 2025

AACHEAr-IHEDN

IHEDN

Tiré à part

Prospective 2035-2040 des projectiles d'artillerie

Membres du groupe de travail

- **Bruno Châtenet** ingénieur général de l'armement (2s), X72 auditeur de la 35e session du CHEAr, préside le jury du prix « AAT « Ingénieur général Chanson »,. Il a fait carrière au sein de la DGA dans les centres d'expertise et d'essais et en services de programmes, notamment dans le domaine de l'artillerie, puis a été chargé du développement des compétences techniques de la DGA.
- **Jean-Bernard Curet** ingénieur École centrale de Paris (1978), auditeur de la 35e session du CHEAr, officier de réserve de la Marine nationale, membre correspondant de l'Académie de l'Air et de l'Espace. A été directeur des études amont et directeur de programmes chez MBDA France puis directeur de la stratégie produit du groupe MBDA. Est aujourd'hui conseiller du PDG de MBDA France et de l'administrateur-gérant du GIE Eurosam.
- **Jean-Loup Guerrin** ingénieur en chef de l'armement (ER), X76 35e session du CHEAr a mené toute sa carrière dans le domaine des armements terrestres au GIAT, puis Giat Industries, puis Nexter, dans les fonctions de direction en R&D, programmes et stratégie. S'est particulièrement intéressé aux armes et munitions, notamment d'artillerie.
- **Bruno Lassalle,** général (2s. 37e CHEAr, est chercheur associé à la Fondation pour la recherche stratégique (FRS) depuis 15 ans.Saint -Cyrien de la promotion lieutenant Darthenay, il a servi alternativement dans l'artillerie, au sein des troupes de montagne et dans le domaine de la fonction connaissance et anticipation.
- **Patrick Michon** 31e session du CHEAr, a commencé sa vie professionnelle à l'APX puis à l'AMX-APX. Toute sa carrière a été consacrée à des équipements optroniques intégrés aux blindés et exportés dans de nombreux pays en Europe, Asie et Amériques . Depuis sa retraite, il conseille des PME de défense et il assure la chronique des BITD de la revue Défense.
- **Pierre-André Moreau** ingénieur général de l'armement (2s), X68, ENSTA, 26e session du CHEAr. A successivement servi au bureau d'études armes et munitions DGA/GIAT/EFAB, puis à la DGA/DAT direction de programmes (première munition intelligente) enfin fut directeur général de la division systèmes d'armes et munitions du GIAT puis de Nexter

Sommaire

Introduction 7
Les munitions actuelles utilisées ou en développement 9
Les obus 9
Les roquettes et missiles 13
Les drones d'attaque aériens (munitions téléopérées) 15

Des concepts privilégiant l'hybridité des projectiles 17
Avertissement 17
L'obus cargo à munitions téléopérées) 17
La roquette guidée à têtes éjectables autoguidées et multiples (TEAM). 19

Synthèse conclusive : Renforcer l'artillerie à moindre coût en explorant l'hybridité des projectiles 23

Introduction

Les conflits récents font ressortir le rôle déterminant des feux d'appuis et dans la profondeur tout spécialement ceux produits par l'artillerie sol-sol dans ses trois composantes obus, roquettes/missiles et munitions téléopérées[1] ou robotisées. Les effets à la fois précis, massifs et diversifiés de cette arme ont modifié l'équilibre du polygone tactique qui assurait jusqu'à il y a peu le succès du mouvement sur le champ de bataille en déjouant les protections des plate-formes de combat mobiles, brisant leur élan. Les belligérants dont les moyens aéromobiles et aériens remplissant des missions de CAS (close air support) sont contrés par les systèmes sol-air qui auscultent en permanence le champ de bataille avec des moyens de télédétection en progrès constant se trouvent ainsi contraints à une guerre de position. Cette guerre est caractérisée par une forte attrition, la survie des objectifs qui se dévoilent étant de plus en plus restreinte par la réduction des délais de la boucle OODA (observer, orienter, décider, agir) et la fulgurance des feux d'artillerie.

Les tendances qui privilégiaient il y a encore trois ans les actions aériennes et les coups au but avec des obus de précision rares et coûteux aux dépens des tirs d'efficacité avec des munitions conventionnelles sont remises en question. Les leçons de l'expérience acquise sur les champs de bataille actuels mettent en avant les effets décisifs de feux brutaux répartis sur des surfaces importantes battant en les saturant des objectifs bien protégés. Par ailleurs, les munitions téléopérées de tous types en développement accéléré se sont imposées comme une catégorie de munitions d'artillerie tout aussi importante que les obus, roquettes ou missiles dont ils viennent compléter les effets. Tirant parti de redoutables trajectoires curvilignes déroutantes, ils entretiennent l'incertitude sur le champ de bataille, toutes les directions devenant dangereuses dans une profondeur de plus en plus grande. Le retour d'expérience de cette guerre de position et

1 Par munition téléopérées on entend les drones d'attaques, munitions rôdeuses, etc., l'homme étant dans la boucle.

d'attrition souligne l'importance de la robustesse des moyens, de leur simplicité et de leur résistance au brouillage sous toutes ses formes.

Dans ce cadre, l'étude dont le résumé constitue ce document tente de dégager les lignes de force à privilégier pour construire à l'horizon 2035-2040, une artillerie dotée de projectiles adaptés en tirant parti des composantes actuellement utilisées et nouvelles en n'hésitant pas à les mixer dans une logique de complémentarité, d'hybridation et d'économie des moyens.

Il s'agit de passer brièvement en revue les différents types de projectiles sans esprit d'exhaustivité, mais en prenant en compte les évolutions technologiques dont ils sont susceptibles de bénéficier à moyen terme et les vulnérabilités qui pourraient réduire leur efficacité et leur intérêt. Ainsi, chaque famille de projectile sera étudiée en décrivant les vulnérabilités qu'elles présentent ou présenteront face aux systèmes de défense en développement accéléré du type « dôme de fer ». Ces systèmes, aujourd'hui fixes, et encore expérimentaux sur certains plans, ambitionnent de créer des bulles de manœuvrabilité mettant les unités de manœuvre à l'abri des feux de l'artillerie ; dans un proche avenir, ils vont vraisemblablement connaître des développements en exploitant des moyens de brouillage et de neutralisation utilisant des émetteurs électromagnétiques ou laser de moyenne ou forte puissance que l'électrification progressive du champ de bataille rendra plus facilement opérationnels dans le combat terrestre.

Cette revue étant réalisée, une proposition de concept d'une munition d'artillerie permettant la saturation ciblée (l'homme restant dans la boucle quand nécessaire) et efficace d'une zone d'objectifs blindés et non blindés sera proposée. Cette proposition qui se veut innovante et réaliste, mettra à profit des compétences déjà détenues soulignées dans la revue du deuxième chapitre de ce document et misera sur les progrès qui ne manqueront pas d'être réalisés à moyen terme dans le domaine des munitions autoguidées ou téléopérées, l'utilisation d'obus ou missiles cargos pour transporter des munitions dronisées et la formation des essaims de modules aériens robotisés.

I

Les munitions actuelles utilisées ou en développement

Les obus

Les obus classiques

L'obus de calibre 155 mm ou de 152 mm est le projectile le plus usité sur le champ de bataille ukrainien et l'un des objets de guerre les plus fabriqués dans le monde. Son intérêt repose sur son coût relativement faible, sa fiabilité et sa sécurité surtout lorsqu'il est construit en respectant les normes de muratisation[2] évitant l'explosion intempestive en cas d'incendie ou d'explosion à proximité. Par ailleurs, son efficacité terminale est incontestable en antipersonnel ou antichar lorsque l'obus touche ou tombe à proximité du blindé. La précision de ces obus non guidés est liée à la qualité de la chaîne artillerie mise en œuvre, elle est toutefois compatible avec le tir d'emblée lors de son emploi par l'artillerie française. Le panachage des tirs avec des obus explosifs fusants ou percutants et des obus fumigènes est de nature à neutraliser des pôles[3] d'objectifs tout en gênant considérablement la manœuvre ennemie. Ces obus constituent une valeur sûre, des études sont en cours pour déterminer un nouveau standard de 155 mm avec un tube plus long, mais surtout une chambre plus volumineuse, afin d'atteindre des portées pouvant aller jusqu'à 80 km. Ces observations restent valables pour les obus de calibre 105 mm, 120 mm et 122 mm qui présentent toutefois une moindre brutalité et ont essentiellement un effet antipersonnel. Les obus de plus

2 Murat : munition à risque atténué (NIMIC en anglais NATO Insensitive Munitions Information Center)

3 Un objectif peut être constitué de plusieurs pôles distincts.

gros calibres de type 203 mm peuvent constituer un recours intéressant pour attaquer des ouvrages fortifiés dans la mesure ou leur mobilité est assurée et la logistique particulière des munitions associées assumée.

Les obus cargo

Les obus cargo formant conteneur à culot éjectable emportant des munitions de type « *bomblets* » ou grenades constitue un concept éprouvé. L'obus s'ouvre en l'air dans la phase finale de sa trajectoire libérant des artifices ou munitions de divers types. Lorsque les objets embarqués ne disposent pas de mode de locomotion, ils retombent en pluie, se dispersant sur la zone visée garantissant un effet de saturation indiscriminé. Ces obus connus sous le nom d'obus à sous-munitions mixtes à effet contre le personnel et le matériel présentent un intérêt militaire contre des concentrations de force sur un terrain ouvert démultipliant l'effet de chaque coup. Un inconvénient majeur de ces sous-munitions est le taux de non-explosion (*dud rate*) qui est de l'ordre de quelques pourcents et occasionne un danger résiduel important pour les populations, ces sous-munitions restant actives de nombreuses années après les combats. Les obus français OGR F1 ont tous été détruits avant 2016.

Ces obus ont fait l'objet d'une interdiction d'emploi pour les pays signataires de l'article 15 de la convention d'Oslo entrée en vigueur le 1er août 2010. Le texte prévoit que la production, le stockage, le transfert de tout type d'armes à sous-munitions sont interdits. Il est également interdit d'assister, d'encourager ou d'inciter quiconque de s'engager dans une telle activité. Cette convention internationale ne lie que les États ayant signé puis ratifié le texte, elle n'a pas d'effet juridique contraignant sur les autres.

La technologie de ces projectiles, obus cargo et roquettes MLRS, est parfaitement maîtrisée ; toutefois, leur utilisation pour lancer des sous-munitions de type grenades est abandonnée pour être en conformité avec les traités signés par la France du fait des effets collatéraux incontrôlables qu'ils étaient susceptibles de causer. Il faut toutefois noter que cette capacité de saturation de zone, c'est-à-dire le traitement global d'une zone occupée par l'ennemi, mais dont la position précise des combattants et véhicules est indéterminée, n'a pas d'équivalent en termes d'efficacité. Il existe donc une lacune en la matière qui pourra peut-être être comblée par la conception de nouvelles munitions de saturation permettant

la discrimination des cibles et un faible taux de non-fonctionnement pour être en conformité avec les traités internationaux.

Le cas particulier de l'obus BONUS (*BOfors NUtating Shell*)

L'obus BONUS est une munition à vocation antichar destinée à l'attaque par le toit des véhicules. La munition de 155 mm BONUS contient deux cylindres chacun accueillant un module constitué d'un détecteur de cible et d'une tête militaire. Chaque module une fois éjecté, balaye la surface du sol dans un rayon de 100 m par un mouvement de balancement (*nutating*), détecte et sélectionne sa cible puis initie une charge génératrice de noyau (CGN) projetant un noyau perforant qui transperce le blindage de la cible. Cette munition cargo grâce à ses capteurs et son dispositif de reconnaissance de cibles permet de limiter les effets collatéraux, elle ne traite que les véhicules blindés et s'autodétruit grâce à un double dispositif de neutralisation à l'impact et à temps en cas de recherche infructueuse sur la zone des objectifs, la probabilité de risques dits explosifs de guerre est de 1 %[4]. En conséquence, elle n'est pas concernée par la convention d'Oslo. Cette munition a été éprouvée au combat, quelques munitions de ce type peuvent briser une attaque blindée avec une efficacité qui a amené l'armée US à acquérir de telles munitions.

Les obus à propulsion additionnelle

La propulsion additionnelle permet une meilleure allonge et les progrès dans cette spécialité se poursuivent. Les espérances à moyen terme dans ce domaine permettront de gagner en allonge, mais de manière résiduelle et au détriment d'une perte de précision et d'une diminution de la capacité d'emport en explosif.

Les obus de précision

Ces obus disposent d'une fonction guidage-pilotage et d'empennages ou freins aérodynamiques. Certains peuvent également être équipés d'un autodirecteur permettant un guidage terminal sur désignation laser de la cible. De ce fait ils sont capables d'une grande précision, pouvant même permettre le tir au but. Ces

4 Rapport d'information « Les armes à sous-munitions » numéroté 118 (2006-2007) rédigé au nom de la commission des affaires étrangères, déposé le 13 décembre 2006.

capacités autorisent leur emploi dans des zones où les effets collatéraux doivent être évités et lorsque l'on ne privilégie pas la brutalité dans les effets recherchés. Ces obus vont connaître un développement important à moyen terme, toutefois leur coût important limite la constitution de stocks massifs. La présence d'un guidage GNSS[5] rend ces obus sensibles au brouillage électromagnétique, ceux équipés d'un autodirecteur sont encore plus vulnérables face aux émetteurs électromagnétiques ou laser qui seront développés dans l'avenir.

Les obus à statoréacteur

La technologie des obus à statoréacteur fait l'objet d'études dans divers pays, les portées espérées à l'horizon de l'étude sont de l'ordre de la centaine de kilomètres. Les avantages de ce type de propulsion consistent à utiliser l'accélération d'un canon de 155 mm ou 152 mm non modifié pour obtenir la vitesse de fonctionnement du statoréacteur qui utilise ensuite l'air ambiant comme comburant qui, combiné au carburant embarqué, produit une poussée additionnelle qui se poursuit lorsque l'obus a quitté le tube. Cette technologie, dans la mesure où l'on n'aborde pas le domaine du superstatoréacteur, ne nécessite pas l'utilisation de pièces mobiles, facilitant ainsi la production des corps d'obus avec les technologies modernes de fabrication additive. Les inconvénients sont liés d'une part à la difficulté d'intégrer une fonction guidage/navigation dans l'obus, voire un autodirecteur dans la pointe de l'obus dans laquelle s'ouvre l'entrée d'air alimentant le statoréacteur et, d'autre part, à la capacité de supporter les vitesses supersoniques atteintes pour l'autodirecteur pour garantir la précision sur ces grandes portées. Un cache peut toutefois protéger l'autodirecteur et être éjecté à l'approche de l'objectif. Cette nouvelle technologie très exigeante ne doit pas être ignorée, mais reste aujourd'hui du domaine de l'expérimentation. Enfin la charge militaire est réduite par rapport à un obus standard du fait de l'espace occupé par le statoréacteur, la fonction guidage navigation et les ailettes avec leur système de déploiement et de manœuvre. Il faut noter que les caractéristiques d'un tel mode de propulsion pourraient sous réserve d'expérimentations aujourd'hui non menées, propulser des obus avec des tubes plus courts, plus faciles à manœuvrer.

5 Le *GNSS-1* est la première génération de système de positionnement par satellites, combinant l'utilisation des systèmes GPS et GLONASS, avec des systèmes d'augmentation satellitaires (SBAS) ou terrestres (GBAS). Aux États-Unis, le complément satellitaire est le WAAS, en Europe, c'est EGNOS.

Les roquettes et missiles

Les roquettes non guidées

Tirées par des véhicules de type lance-roquettes multiples (LRM), ces roquettes ont un vol balistique apportant pour avantage la portée supérieure à celles des canons et elles sont souvent de plus gros calibre. Elles sont donc naturellement complémentaires des obus et utilisées en particulier pour obtenir un effet de saturation avec peu de lanceurs parfois équipés de systèmes de visée et de pointage sommaires, mais produisant un effet psychologique notable.

Les roquettes guidées unitaires

Les roquettes guidées sont propulsées par des moteurs-fusées anaérobies à propergol solide. De masse de la classe 300 kg, elles sont placées en emport multiple dans un panier positionné sur une tourelle mobile selon deux axes (azimut et site), elle-même portée, le plus souvent, par un camion tous chemins. Après le tir, elles sont guidées vers les coordonnées présumées de la cible en suivant une trajectoire proche de la trajectoire balistique.

Portée

Les roquettes guidées ont une portée maximale typique de 80 km. Leur portée minimale est de l'ordre de 15 km. Toutefois, la roquette M31 du système MLRS a une portée de 70 km.

Effet terminal

Les roquettes guidées sont, à ce jour, dotées, le plus souvent, de charges unitaires d'emploi général de masse 90 kg, environ.

Leur guidage est inertiel, recalé par informations satellitaires (GPS et Galileo, du côté de l'Otan, GLONASS, du côté de la Russie). Il assure un cercle d'erreur probable (CEP) de quelques mètres.

Le couple précision-charge permet à une roquette guidée de traiter une cible telle qu'une pièce d'artillerie, un conteneur d'un poste de commandement ou un élément d'un dépôt logistique.

Les roquettes cargos

Pour augmenter l'effet de saturation en élargissant les dimensions de la zone traitée, des roquettes cargos ont été conçues pour larguer des grenades sur les objectifs. Par exemple, les roquettes M26-A1 d'une masse de 306 kg emportent à une distance maximum de 32 km, 644 munitions M77 ou 28 mines antichars AT2. Mais les sous-munitions sont maintenant proscrites pour les pays signataires de la convention d'Oslo (voir plus haut le chapitre concernant les obus à sous-munitions).

Les roquettes thermobariques

Une arme thermobarique combine lors de sa mise en œuvre des effets thermiques, une onde de choc suivie d'une dépression, elle s'avère efficace contre les fortifications. Par exemple, le TOS-2 *Tossotchka* russe porte 18 tubes lance-roquettes de calibre 220 mm d'une portée de 3 à 10 km.

Les missiles (roquettes guidées)

Dès qu'une roquette est munie d'un dispositif de guidage inertiel ou GPS, voire d'un autodirecteur, elle entre dans la catégorie des missiles, d'où la dénomination de lance-roquette unitaire pour les LRM français.

Le LRM HIMARS US peut tirer simultanément selon son chargement soit six roquettes M31 A1 de 227 mm à une portée de plus de 70 km, soit un missile MGM-140 ATACAMS missile semi-balistique de calibre 610 mm de portée 20 à 300 km selon la version, soit deux missiles dénommés « *Précision Strike Missiles (PrSM)* », semi-balistiques manœuvrants, de calibre 430 mm capables d'une vitesse de Mach 5 et d'une portée de plus de 499 km, voire 1000 km pour le PrSM Inc 4[6]. Des discussions auraient lieu sur la possibilité d'embarquer sur ce missile des munitions rôdeuses.

Les missiles (roquettes guidées)

Les missiles hypersoniques sont en développement à l'exception du missile Kh-47M2 Kinjal, en fait un Iskander tiré d'avion (MIG 31), et utilisé de manière opérationnelle en Ukraine. Ces missiles se catégorisent selon deux familles, il

6 La limite à 500 km a sauté du fait de la modification du traité sur les armes nucléaires à portée intermédiaire

s'agit d'une part des missiles intégrant un statoréacteur ou un superstatoréacteur évoluant en manœuvrant dans l'air (vol aérobie) et d'autre part des planeurs hypersoniques lancés par des missiles balistiques hors de l'atmosphère qui acquièrent leur vitesse en retombant en vol plané permettant des évolutions vers le sol. Ces missiles, du fait de leur vitesse et de leur manœuvrabilité, sont réputés difficiles à intercepter avec les moyens actuels.

Les drones d'attaque aériens (munitions téléopérées)

Les drones longtemps utilisés comme vecteurs d'information s'imposent aujourd'hui comme une munition d'artillerie des plus efficaces dans toute la profondeur du champ de bataille. De toutes tailles, adoptant tous les modes de propulsion permettant la sustentation et le vol, ils permettent des trajectoires curvilignes qui rendent difficile la prédiction de leur objectif par l'adversaire. Leur aptitude à roder leur permet d'entretenir une menace omnidirectionnelle tout en maintenant l'homme dans la boucle de commande ou en adoptant une navigation automatique. Leur handicap actuel est constitué par leur vitesse relativement faible et leur sensibilité au brouillage électromagnétique ou au rayonnement laser. Cependant, les progrès incessants des drones, portés par l'universalité des emplois aussi bien civils que militaires et la créativité de leurs utilisateurs, apportent au phénomène drones une dynamique étonnante. Aujourd'hui pour éviter le brouillage, des drones dotés de 6 ou 8 moteurs emportent des obus de 155 mm en étant pilotés par l'intermédiaire d'une fibre optique déroulée sur une quarantaine de kilomètres. Cette dynamique d'innovation rapide impacte aussi bien les caractéristiques techniques des drones dont l'aspect, la taille et les caractéristiques de vol vont fortement évoluer, que le mode d'emploi de ces engins. Dans un proche avenir, ces drones évolueront en essaim, apportant ainsi une résilience d'ensemble inédite. Ce mode d'action en essaim au sein duquel les drones agiront de manière complémentaire sera favorisé par l'introduction de l'intelligence artificielle qui, dès à présent, permet à certains drones de remplir des missions de manière autonome. Notons à ce propos que l'emploi de tels drones autonomes pour l'attaque est incompatible avec les principes éthiques que respectent nos armées[7] et les traités que la France a signés, éthique et trai-

7 Les drones doivent être développés selon la norme SALIA : Systèmes d'armes létaux intégrant de l'autonomie.

tés imposant la présence d'un opérateur dans la boucle pour assurer la fonction létale. Toutefois, l'étude de ces systèmes s'avère tout aussi importante pour être capable d'affronter une telle menace portée par des acteurs moins scrupuleux.

II

Des concepts privilégiant l'hybridité des projectiles

Avertissement

Les deux concepts défendus dans ce chapitre sont nés au sein du groupe de travail de l'idée d'innover en tirant le meilleur parti de technologies existantes parfaitement maîtrisées ou en cours de développement pouvant se matérialiser d'ici 2040 et de les hybrider pour apporter des capacités nouvelles en déjouant les menaces futures décelables à l'horizon de l'étude tout en minimisant les dépenses d'équipement.

L'obus cargo à munitions téléopérées)

Description du concept

Il s'agit d'envisager une munition d'artillerie cargo non guidée qui puisse emmener à sa portée utile un module téléopéré compatible avec les caractéristiques du vol de ces projectiles. Après le dépotage d'une salve de munitions au-dessus d'un objectif, un essaim de drones se forme. Cet essaim est constitué de quelques drones de communication qui assurent le relais radio, de quelques drones d'observation de la zone d'objectifs attaqués d'une majorité de munitions téléopérées (MTO). Par exemple une salve de 40 coups mettant en œuvre un essaim de 3 drones relais, 6 drones d'observation, 31 modules dronisés d'attaque de type MTO.

Le mode d'action est le suivant : l'essaim se constitue automatiquement après le dépotage, les modules relais prennent de l'altitude, les drones d'observation se répartissent à la verticale de la zone d'objectif. Dès que la communication est établie, l'opérateur entre dans la boucle et valide les objectifs détectés, les modules d'attaques sont activés, ils enregistrent la désignation de leur cible validée et l'attaque est prononcée. En fin d'attaque, les modules d'observation rendent compte des résultats de l'attaque dans une logique de BDA (*battle damage assessment)* puis en fonction de leurs caractéristiques s'autodétruisent ou se posent avec les modules relais pour constituer des points d'observation ou de relais au sol. La vie de l'essaim peut être limitée à l'action des engins apportés par la première salve ou prolongée par des coups tirés sur la même zone pour en prolonger ou étendre l'action. Cette même action peut être complétée par des tirs d'efficacité ou de précision bénéficiant de la présence des modules d'observation.

Avantages du concept

Cette hybridation de munitions d'artillerie non guidées avec des modules dronisés permet de tirer parti de la résistance de ces munitions cargo au brouillage électromagnétique et laser et de n'exposer les modules qu'après le dépotage durant peu de temps et sur la zone des objectifs. Par ailleurs, la création d'un essaim multifonctions permet un pilotage de la fonction feu de l'essaim préservant l'homme dans la boucle de décision pour le choix des objectifs et leur traitement. D'un point de vue technologique, les munitions cargo existent et les industriels maîtrisent leur fabrication, la conception de modules compatibles d'un emport par obus et roquettes dépend pour une part de solutions technologiques défrichées lors de la conception des munitions BONUS.

Points durs à lever

Le concept invite à développer deux principaux domaines, la constitution d'un essaim avec son télépilotage et la conception des modules dronisés de communication, d'observation et d'attaque embarqués dans les obus ou roquettes cargos.

Le télépilotage d'un essaim est aujourd'hui maîtrisé par des spécialistes des spectacles aériens depuis quelques années et ce savoir-faire se développe et se diffuse rapidement de manière universelle. Toutefois, ces ballets de drones utilisent des drones à la trajectoire préprogrammée sans intervention de pilotage au cours du spectacle. Le télépilotage d'un essaim de drones à vocation létale

est un pilotage d'ensemble dont la maîtrise dans une logique éthique exige le développement de techniques qui restent aujourd'hui à approfondir. La résistance de l'essaim de drones au brouillage se présentera également comme un challenge à emporter.

La conception des différents modules dronisés constitue le principal défi du concept. Comme rappelé ci-dessus, la maîtrise des modules BONUS constitue une base de connaissance solide et les technologies des sous-ensembles concernés ont beaucoup évolué depuis les années 1990, en particulier la miniaturisation de l'électronique et sa tenue à l'accélération lors du tir. Les études menées pour la conception des modules intégrés aux missiles hypersoniques peuvent sans doute aussi servir le projet. Dans un premier temps on considérera qu'une seule MTO sera emportée dans un obus cargo ; par la suite, les progrès de la miniaturisation permettront d'envisager des obus cargo emportant plusieurs drones.

La roquette guidée à têtes éjectables autoguidées et multiples (TEAM).

Description du concept TEAM

Il s'agit de doter une roquette guidée de capacités très significativement accrues d'efficacité sur l'objectif, d'insensibilité aux contre-mesures et de pénétration des défenses sol-air en la munissant de plusieurs (typiquement trois) têtes éjectables autoguidées et multiples (TEAM). Une fois larguée par la roquette à quelques kilomètres de l'objectif, chaque TEAM est capable d'une trajectoire préprogrammée en direction de l'objectif puis autoguidée jusqu'à faire impact sur un sous-ensemble de l'objectif attaqué, par exemple l'un des conteneurs peut viser un poste de commandement ou un autre les véhicules d'une batterie sol-air.

Un véhicule TEAM est un petit véhicule aérien autoguidé sans homme dans la boucle (longueur inférieure au mètre, masse de l'ordre de 15 kg) préguidé au moyen d'une référence inertielle à bas coût et enfin guidé jusqu'à l'impact grâce à un imageur optronique.

Ses senseurs inertiels et d'imagerie sont à bas coût, faisant appel aux technologies civiles, telles que celles des équipementiers de l'automobile.

Le senseur optronique est doté d'un traitement d'images avancé dont l'architecture émulant celle d'un réseau neuronal lui offre une capacité de reconnaissance automatique de cibles. Lors de sa conception, le réseau de neurones subit un entraînement massif sur une banque d'images semblables à celles des objectifs attaqués dans tous les contextes envisageables. Cet apprentissage profond le rend capable de reconnaître toute cible d'intérêt en tirant parti des progrès des techniques d'intelligence artificielle (IA).

Enfin, doté d'une charge militaire multieffets et d'une fusée d'impact électronique, un véhicule TEAM est capable de transpercer toute cible semi-durcie puis de produire un effet létal après traversée de l'enveloppe de la cible.

Avantage du concept

Capacité de pénétration des Défenses sol-air (DSA) de l'objectif

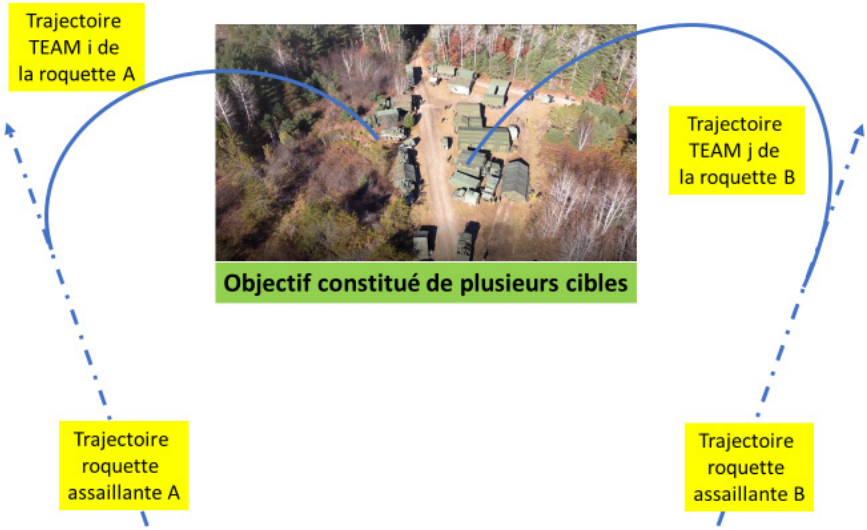
Une roquette guidée classique est vulnérable aux DSA de l'objectif de type *Counter-rocket artillery mortar* (C-RAM) en raison, d'une part, de sa détectabilité par les radars d'alerte dans la première partie de sa trajectoire et, d'autre part, de son Mach terminal relativement limité (inférieur à 2) ainsi que de sa faible capacité de manœuvre pour se dérober en phase finale.

En revanche, une roquette TEAM peut suivre une trajectoire balistique présentant une importante distance nodale[8] par rapport à l'objectif, ce qui diminue considérablement l'efficacité de la DSA dudit objectif.

À plusieurs kilomètres de l'objectif, la roquette mère disperse ses TEAM qui suivent des trajectoires préprogrammées en direction des cibles constitutives de l'objectif puis les acquièrent au moyen de leur capteur optronique jusqu'à faire impact sur elles pour produire des dégâts dévastateurs.

Il convient de noter que ce type de trajectoire d'attaque commençant par une importante distance nodale est la base des tactiques utilisées par les missiles antinavires pour franchir les défenses surface-air qui leur sont opposées.

8 Écart entre la projection au sol de la trajectoire balistique de la roquette et l'objectif. Si la projection de la trajectoire passe par l'objectif, la distance nodale est nulle.



Les objectifs attaqués (PC, batteries sol-air…) constituant des objectifs de valeur dans la profondeur, ils méritent d'être attaqués par plusieurs roquettes TEAM afin de diviser les moyens de défense de l'adversaire.

Insensibilité aux contre-mesures électromagnétiques

L'efficacité militaire du concept TEAM ne nécessite pas une grande précision de navigation de la roquette mère.

En effet, il lui est seulement demandé d'approcher la zone de l'objectif avec une précision de quelques centaines de mètres puisque l'impact sur les cibles constitutives de l'objectif est à la charge des véhicules TEAM qui sont autoguidés sur imagerie. Le guidage optronique avec acquisition de cible est réalisé par réseau neuronal entraîné sur une vaste base de données images.

Pour cette raison le concept TEAM n'est pas sensible aux brouilleurs électromagnétiques qui protègent les objectifs de valeur vis-à-vis des assaillants utilisant des moyens satellitaires pour leur guidage.

Insensibilité au camouflage des cibles

Comme on l'a vu précédemment, le réseau de neurones subit un entraînement massif sur des images réelles et des images synthétiques générées par

les techniques d'IA. Cet apprentissage profond rend le réseau neuronal capable de reconnaître toutes les cibles d'intérêt (qu'il s'agisse d'un conteneur constitutif d'un poste de commandement, du type *Tactical Operational Center* [TOC], d'une batterie sol-air, d'un véhicule lanceur de munitions sol-air ou d'une citerne d'un dépôt logistique…), malgré leur diversité et la diversité des environnements naturels et artificiels, y compris les moyens de camouflage de zone de combat mis en œuvre par l'adversaire.

Ainsi, le concept TEAM est insensible aux techniques de camouflage optronique, il ne peut être trompé que par des leurres présentant une signature électromagnétique de qualité.

Efficacité sur l'objectif

Les objectifs de valeur situés dans la profondeur, poste de commandement, batterie sol-air, dépôt logistique… sont des objectifs étendus constitués de multiples cibles élémentaires, conteneurs, véhicules, citernes…

Ils pourront être mis hors de fonction par un nombre réduit de roquettes grâce à la dispersion des véhicules TEAM.

Maturité du concept

Le concept TEAM suppose de mettre en système des technologies disponibles (roquette guidée, petit véhicule aérien autopiloté, senseurs inertiels et d'imagerie à bas coût d'origine civile, traitement d'images utilisant les techniques de l'Intelligence artificielle, charges militaires multieffets) ou des technologies qui furent maîtrisées, mais n'ont plus été mises en œuvre depuis quelques décades (dispersion de charges depuis roquettes en supersonique).

La maturité du concept est grandement aidée par le fait que l'environnement mécanique subi par les véhicules TEAM est incomparablement moins sévère que celui qui serait subi dans le cas d'un emport par obus cargo.

Enfin, il convient de noter que la variété des technologies à combiner fait de la roquette TEAM un thème propice à une coopération entre deux ou trois Nations réunies par une volonté commune d'acquérir un outil de supériorité dans la bataille des feux dans la profondeur.

III

Synthèse conclusive : Renforcer l'artillerie à moindre coût en explorant l'hybridité des projectiles

La première partie de l'étude a tenté de mettre en évidence les grandes tendances en matière de munitions d'artillerie pour les 15 à 20 ans à venir. Dans cette perspective, les obus classiques de calibre 155/152 mm présentent toujours l'avantage d'être faciles à produire et à stocker et sont particulièrement résilients au brouillage électronique et aux attaques par dépôt d'énergie. Pour leur part, les roquettes et missiles resteront très complémentaires des obus du fait de leur grande portée et des charges militaires volumineuses autorisées par des calibres plus importants. Compte tenu de la décroissance des coûts de l'électronique et des effets de la miniaturisation des composants de toutes natures, la plupart des roquettes seront dans l'avenir guidées et se confondront de plus en plus avec des missiles. Toutefois leur électronique embarquée et leur signature thermique plus intense rendent les roquettes et missiles plus fragiles face aux systèmes de défense sol-air cinétiques ou de brouillage et d'interception par dépôt d'énergie électromagnétique.

Pour les obus évoqués comme pour les roquettes, la technologie des applications cargo est parfaitement maîtrisée et la grande expérience enregistrée en ce domaine mérite d'être exploitée. Les munitions dronisées de type munitions téléopérées vont poursuivre leur développement comme décrit ci-dessus et donner lieu à des réalisations étonnantes pouvant occasionner des surprises tactiques du fait de leurs trajectoires curvilignes imprévisibles. Toutefois, leur vulnérabilité aux moyens d'artillerie sol-air eux-mêmes en progrès, la fragilité de leurs liaisons face au brouillage des télécommunications et l'exposition de leur électronique embarquée au rayonnement des armes à énergie dirigée réduisent leurs capacités d'action et ce phénomène, déjà constaté, sur le terrain va s'amplifier.

Deux tendances découlent de cette vulnérabilité au brouillage : d'une part les munitions téléopérées pourront être délaissées pour des munitions autonomes. D'autre part ces munitions seront de plus en plus souvent utilisées en essaim pour bénéficier de la résilience offerte par une formation de modules interagissant et remplissant leur mission de manière coordonnée.

Cette fragilité des drones durant leur traversée du champ de bataille dans sa profondeur pour atteindre leur zone d'objectifs alors qu'ils présentent tant d'intérêt au moment de l'attaque constitue un dilemme qui peut être levé en s'inspirant des deux solutions proposées dans la seconde partie de l'étude.

Sans revenir sur la description des deux systèmes d'obus ou roquettes cargo porteurs de munitions intelligentes et sans préjuger de leur réalisation que le groupe de travail recommande, on peut dès à présent envisager deux concepts pour leur emploi opérationnel éventuel dans une logique de formation d'un essaim d'attaque au-dessus de la zone d'objectif :

- le premier réside en une utilisation de manière supervisée. Les modules de télécommunication, d'observation et d'attaque sont pilotés dès que l'essaim est formé, le choix des cibles est validé par les opérateurs du système grâce à une liaison radio établie de manière fugace au moment de l'attaque et maintenue momentanément durant la mission de l'essaim sur zone ;
- le second consiste en une action décentralisée, le système remplit sa mission de manière totalement automatique sans que l'homme soit dans la boucle. Dans ce dernier cas, le système devient totalement insensible au brouillage des télécommunications.

Dans le cas français, il apparaît aujourd'hui que la solution en mode supervisé serait de nature à garantir le respect des règles éthiques, tout en assurant une forte efficacité à ces tirs de saturation malgré la discrimination exercée. En effet, ces moyens nouveaux associés à ce mode d'action en essaim apporteraient des perspectives nouvelles à la manœuvre des feux. Cette manœuvre basée sur une maîtrise locale des trajectoires permettrait dans un proche avenir de couvrir de larges zones en traitant efficacement des objectifs détectés reconnus et identifiés avec une véritable souplesse dans l'utilisation de capacités déjà détenues pour une grande partie. Quant à la solution totalement automatique, elle est utilisable dès lors que les objectifs attaqués sont suffisamment séparés des implantations civiles pour restreindre les risques de dégâts collatéraux à un niveau compatible avec les règles d'engagement.