

**NOTES
DE L'IFRI**



**MAI
2025**

Économie des échanges de salves : vers la fin de la polyvalence des munitions ?



Centre des études
de sécurité

Adrien GORREMANS

L’Ifri est, en France, le principal centre indépendant de recherche, d’information et de débat sur les grandes questions internationales. Créé en 1979 par Thierry de Montbrial, l’Ifri est une fondation reconnue d’utilité publique par décret du 16 novembre 2022. Elle n’est soumise à aucune tutelle administrative, définit librement ses activités et publie régulièrement ses travaux.

L’Ifri associe, au travers de ses études et de ses débats, dans une démarche interdisciplinaire, décideurs politiques et experts à l’échelle internationale.

Les opinions exprimées dans ce texte n’engagent que la responsabilité de l’auteur.

ISBN : 979-10-373-1052-1

© Tous droits réservés, Ifri, 2025

Couverture : © Anelo/Shutterstock.com

Comment citer cette publication :

Adrien Gorremans, « Économie des échanges de salves : vers la fin de la polyvalence des munitions ? », *Notes de l’Ifri*, Ifri, mai 2025.

Ifri

27 rue de la Procession 75740 Paris Cedex 15 – FRANCE

Tél. : +33 (0)1 40 61 60 00 – Fax : +33 (0)1 40 61 60 60

E-mail : accueil@ifri.org

Site internet : ifri.org

Auteur

Adrien Gorremans est officier de l'armée de l'Air et de l'Espace (AAE) inséré au Laboratoire de recherche sur la défense (LRD) du Centre des études de sécurité (CES) de l'Ifri, où il contribue aux études relatives à la puissance aérospatiale.

Pilote de chasse sur *Mirage* 2000C et B, il a commandé l'Escadron de chasse 2/5 « Île-de-France ». Déployé à plusieurs reprises en opérations extérieures en Afrique et en Europe de l'Est, qualifié *Mission Commander* et instructeur sur *Mirage* 2000, il a également contribué à la défense aérienne du territoire national. Il totalise 2 700 heures de vol et 120 missions de guerre.

Diplômé de l'École de l'air, titulaire d'une maîtrise de mécanique de l'université d'Aix-Marseille et d'un diplôme universitaire d'astrophysique de l'Observatoire de Paris, il est également breveté de l'École de guerre.

Résumé

Les conflits de la décennie 2020 voient l'apparition d'échanges de salves d'effecteurs automatisés conventionnels (missiles, drones, etc.) à des fins offensives et défensives, dont les profils de vol et les performances se diversifient rapidement.

Le petit nombre de missiles et d'intercepteurs performants et polyvalents en service dans les armées européennes ne suffit plus pour faire face à la variété et au nombre des menaces, particulièrement dans des conflits impliquant un nombre significatif de munitions de haute technologie mais aussi des effecteurs *low cost* produits en masse par un certain nombre de pays susceptibles de menacer l'Europe.

La clé d'une stratégie gagnante est la création d'armes à bas coût en complément des armes existantes, faisant appel à une plus basse complexité que les armements actuels, pour engager les cibles les moins performantes, afin de réserver les armes les plus coûteuses aux seules cibles qui l'exigent. Cet effort vers l'artillerie anti-aérienne et des armes de frappe à longue portée saturantes, ainsi que leur environnement tactique, ne pourra paradoxalement pas avoir lieu sans un effort budgétaire significatif et des processus d'acquisition adaptés.

Abstract

Conventional salvo competitions are becoming a characteristic of the wars of the 2020s, with adversaries launching waves upon waves of automated effectors (missiles, drones, etc.) for offensive and defensive purposes, with rapidly diversifying flight profiles and performance.

The small number of high-performance, multi-purpose missiles and interceptors in service in European militaries is no longer sufficient to cope with the variety and number of threats, particularly in conflicts involving a significant number of high-tech munitions, but also of mass-produced low-cost effectors by a number of countries likely to threaten Europe.

The key to a winning strategy is the creation of low-cost munitions, with a lower level of complexity than current multirole weapons, to engage the vast majority of targets. The most expensive weapons could then be used only for those targets that require their exquisite capabilities. Paradoxically, this trend, advocating to anti-aircraft artillery and saturating long-range strike weapons and their tactical environment will not be possible without a significant budgetary effort and appropriate procurement processes.

Sommaire

INTRODUCTION	5
LES ÉCHANGES DE SALVES : UNE NOUVELLE RÉALITÉ DE LA GUERRE MODERNE.....	7
Approche défensive.....	7
Approche offensive.....	9
Considérations économiques.....	12
TENDANCES CAPACITAIRES SUR LA DÉCENNIE À VENIR	14
Le haut du spectre : missiles balistiques et hypervéloces contre intercepteurs haut de gamme	14
Le bas du spectre : la saturation par les moyens de frappe <i>low cost</i> et le nécessaire <i>Hi-Lo mix</i> défensif	15
PISTES DE RÉFLEXION POUR LES ARMÉES FRANÇAISES	17
Segment défensif.....	17
Segment offensif	19
CONCLUSION	21

Introduction

Les conflits en cours en Ukraine et au Moyen-Orient voient s'ajouter à la puissance aérienne traditionnelle, des frappes dans la profondeur dont le nombre et la diversité des vecteurs vont croissant¹. Le rapport entre le coût total estimé des deux salves offensives tirées par l'Iran contre Israël en 2024 – de l'ordre de 100 à 200 millions de dollars (M\$), et le prix des missiles intercepteurs utilisés par les défenseurs, environ un milliard de dollars (Md\$) pour chaque attaque – pose la question de la soutenabilité économique et industrielle de tels échanges s'ils devaient se répéter, notamment dans le cadre d'un conflit de longue durée, comme c'est le cas en Ukraine². Malgré un rééquilibrage si l'on prend en compte la parité de pouvoir d'achat, il semble redonner l'avantage à l'offensive, l'asymétrie marquée des coûts se révélant largement défavorable à la défense anti-missile. Dans un monde en recomposition rapide, résoudre cette équation revêt un caractère d'urgence pour les armées européennes marquées par la contrainte budgétaire, qui plus est avec un allié américain incertain.

Le prix des munitions complexes, et en particulier des missiles de défense aérienne, ayant augmenté plus vite que l'inflation, l'ajustement, en l'absence de menace, s'est fait par les volumes avec comme conséquence des arsenaux en Europe occidentale qui n'ont fait que se réduire depuis 1991³. Les systèmes de défense aérienne européens capables d'intercepter les armes russes utilisent des munitions dont les stocks sont limités. En miroir, les armes européennes de frappe dans la profondeur sont également rares, peu variées et relativement chères face à un *Integrated Air Defense System* (IADS) russe pléthorique et rodé par trois ans d'échanges de salves contre l'Ukraine.

Dans ce contexte, comment les forces armées européennes peuvent-elles s'extraire du cercle vicieux de l'augmentation des coûts unitaires et de la réduction des commandes, aussi appelé « spirale de la mort de la

1. H. Fayet et L. Péria-Peigné, « La frappe dans la profondeur : un nouvel outil pour la compétition stratégique ? », *Focus Stratégique*, n° 121, Ifri, novembre 2024 ; J. Watling, « Long-range Precision Fires in the Russo-Ukrainian War », in D. Henriksen et J. Bronk (dir.), *The Air War in Ukraine – The First Year of Conflict*, New York, Routledge, 2024, p. 66-85.

2. A. Macaskill, « Israel's Defences Would Trump Iran's in Any Air War, But at a High Cost », Reuters, 18 avril 2024, disponible sur : www.reuters.com ; U. Ezion, « "Defense Is More Expensive Than Offense": The Cost of Iran's Missile Attack and Israel's Defense », *The Jerusalem Post*, 4 octobre 2024 ; D. Gritten, M. Murphy et P. Jackson, « What We Know About Iran's Missile Attack on Israel », BBC News, 3 octobre 2024, disponible sur : www.bbc.com.

3. R. Briant, « La filière munitions française face à la haute intensité. Des équilibres à redéfinir », *Briefing de l'Ifri*, Ifri, 17 janvier 2022 ; J. A. Drezner et al., « An Analysis of Weapons System Cost Growth », *Project Air Force*, RAND, 1993.

défense⁴ », appliqué aux munitions conventionnelles, et regagner un ascendant à la fois offensif et défensif ?

Une réponse partielle à cette question, appliquée aux capacités françaises, appuyées par celles de leurs alliés européens, passe par un inventaire sous le prisme économique, puis par la revue des tendances capacitaires à court et moyen termes, avant d'ouvrir des pistes de réflexion au profit des armées.

4. D. Grazier, « Welcome to the Defense Death Spiral », Stimson Center, 21 octobre 2024.

Les échanges de salves : une nouvelle réalité de la guerre moderne

La période 1980-2020 a vu une tendance mondiale à l'augmentation de la complexité des munitions de frappe et de défense, permise par les progrès de l'électronique embarquée et la généralisation du positionnement par satellite de la Second Offset Strategy⁵. Ces missiles complexes, qu'ils soient de croisière, balistiques ou antimissiles, affichent des performances en termes de vitesse, de précision et de portée qui contrastent fortement avec les bombes non guidées et les missiles balistiques à guidage inertiel qui ont dominé l'arsenal mondial de frappe dans la profondeur jusqu'à la fin des années 1980. Elles contrastent également avec le développement de munitions de frappe de précision à longue portée beaucoup plus rustiques, issues des technologies de dronisation de masse de la fin des années 2010.

Après un inventaire des enjeux et des capacités défensives puis offensives, une étude économique rapide montre l'écart d'investissement entre les pays européens et d'autres pays comme la Russie dans le domaine des munitions complexes.

Approche défensive

Le problème défensif est soumis à de fortes contraintes technico-opérationnelles, car le défenseur n'a, par définition, ni l'initiative du lieu, ni celui du moment de l'engagement, et est contraint à une posture réactive permanente⁶. L'adage de Frédéric II, « celui qui veut tout défendre ne défend rien », oriente les grandes questions qui définissent cette posture défensive :

- ▀ S'agit-il de défendre une zone ou un ensemble de points ? Pour quelle durée ?
- ▀ Contre quels types de menaces faut-il protéger le théâtre ?
- ▀ Où est-il acceptable de laisser survenir des frappes, et quels sont les points à défendre absolument ?

5. R. Grant, « The Second Offset », *Air & Space Magazine*, 24 juin 2016.

6. M. Gunzinger et B. Clark, « Winning the Salvo Competition – Rebalancing America's Air and Missile Defense », CSBA, 2016.

Au-delà d'une tentative de modélisation mathématique dans le domaine naval par le Center for International Maritime Security (CINSEC)⁷, un premier constat fait apparaître que le prix des missiles de défense aérienne est en moyenne significativement plus élevé que celui des missiles qu'ils sont conçus pour détruire⁸. Ce constat est pondéré par la prise en compte de la valeur de l'objet défendu en plus des valeurs des missiles⁹. Cet argument très discutable n'empêche pas de réfléchir à une différenciation des armements pour réduire les coûts de l'engagement défensif, avec un segment de basse complexité permettant de traiter les menaces les moins performantes avec des munitions simples¹⁰.

Tableau 1 : Ordres de grandeur des prix unitaires des principales munitions antimissiles occidentales et russes

	Munitions antimissile	Ordre de grandeur du prix unitaire
Segment antibalistique	RIM-161 SM-3	10-30 M\$
	THAAD	8,3 M\$
	Arrow 3	2,2 M\$
Segment longue portée	RIM-174 SM-6	4-4,2 M\$
	MIM-104 Patriot PAC-3MSE	3,8 M\$
	48N6 (S-300 PMU1/2 – SA-20A/B)	1 M\$
	RIM-156 SM-2ER	2-2,5 M\$
Segment moyenne portée	ASTER 15 et 30	2-3 M€
	RIM-162 Evolved Sea Sparrow (ESSM)	1,5-2 M\$
	5v55R (S-300PS – SA-10B)	500 000 \$
Segment courte portée	NASAMS (AIM-120 AMRAAM)	1 M\$
	VL-MICA	1 M€
	IRIS-T SLS	540 000 €
	Hyper Velocity Projectile (HPV)	100 000 \$

7. A. Cowden, « Distributed Maritime operations – A Salvo Equation Analysis », Center for International Maritime Security, 23 mars 2023, disponible sur : <https://cinsec.org>.

8. L. C. Williams, « Mideast Missile Duels Have Cost US Navy Nearly \$1B, Secretary Says », Defense One, 16 avril 2024, disponible sur : www.defenseone.com.

9. L. Lagneau, « Mer Rouge : la Marine nationale justifie l'emploi de missiles Aster 15 pour détruire des drones bon marché », Zone militaire, 13 janvier 2024, disponible sur : www.opex360.com.

10. L. Seligman et M. Berg, « A \$2M Missile vs. a \$2,000 Drone: Pentagon Worried over Cost of Houthi Attacks », Politico, 19 décembre 2023, disponible sur : www.politico.com ; V. Groizeleau, « La Lorraine abat un drone houthi dans la région du détroit de Bal el-Mandeb », Mer et Marine, 6 mai 2024, disponible sur : www.meretmarine.com.

Segment très courte portée	NASAMS (AIM-9X Sidewinder)	1,1 M\$
	RIM-116 RAM	950 000-1 M\$
	FIM-92 Stinger	480 000 \$
	Mistral 3	300 000 €
	Coyote C-UAS Block 2	100 000 \$
	Advanced Precision Kill Weapon System II (APKWS)	25 000-50 000 \$
Artillerie anti-aérienne à tir rapide	Salve C-RAM de 20 mm (Phalanx)	~ 8 000 \$
	Salve de 5 obus de 40 mm	~ 7 500 €
	Salve de 5 obus de 76 mm	~ 5 000 €
	Salve de 10 obus de 30x113 mm	~ 1 500 €

Source : MBDA France ; KNDS ; W. Rumbaugh, « Cost and Value in Air and Missile Defense Intercepts », CSIS, 13 février 2024 ; « Missile Interceptors by Cost », Missile Defense Advocacy Alliance, février 2024 ; U. Ezion, « "Defense Is More Expensive Than Offense": The Cost of Iran's Missile Attack and Israel's Defense », The Jerusalem Post, 4 octobre 2024 ; « Ukraine: Deutscher Nachschub für die Offensive », Focus Online, 12 mai 2023 ; S. Largone, « Navy Quietly Fires 20 Hyper Velocity Projectiles Through Destroyer's Deckgun », USNI News, US Naval Institute, 8 janvier 2019 ; T. Rogoway, « What The Navy's Ship-Launched Missiles Actually Cost », The War Zone, 21 mai 2024 ; J. Trevithick, « Drastic Increase in Army Coyote Drone Interceptor Purchase Plans », The War Zone, 20 décembre 2023.

Dans cette optique, l'enjeu est de dépasser le paradigme du « tout missile » pour conserver une capacité d'engagement des cibles les plus rapides et/ou les plus manœuvrantes avec les missiles les plus performants. En parallèle, la destruction des menaces les moins survivables et les moins rapides doit se faire avec des armes meilleur marché comme l'artillerie anti-aérienne, dont les armées françaises ne sont pour l'instant pas ou peu équipées¹¹. Plus fondamentalement, cette question rejoint celle de l'équilibre entre les ressources à affecter à la défense et à l'attaque. La doctrine et l'expérience occidentale, en particulier en matière de bombardement puis de frappe dans la profondeur, consacrent l'efficacité économique et militaire de la frappe sur les moyens de production et de tir de l'adversaire avant qu'il ne puisse faire usage de ses armes¹².

Approche offensive

La question offensive est très ouverte en raison de l'initiative qui la caractérise. Là encore, l'arsenal des pays européens est composé d'un stock limité de missiles de croisière de haute technologie, dont le prix unitaire varie autour de 2 M€ (cf. tableau *infra*). Leur renouvellement à venir, par des armes plus performantes, mais aussi plus complexes et donc plus

11. L. Lagneau, « L'armée de Terre recycle son canon de 20 mm sur affût tracté 53T2 dans un nouveau système de lutte antidrone », Zone militaire, 25 janvier 2025, disponible sur : www.opex360.com.

12. J. A. Warden, *The Air Campaign*, Lincoln, iUniverse, 2000.

chères, fait peser le risque de perdre leur pertinence opérationnelle. Sans diversification, la quantité d'armes pourrait en effet passer sous un seuil qui ne permettrait pas de traiter un assez grand nombre de cibles et donc qui ne pourrait pas obtenir d'effet militaire significatif dans les premières semaines d'une guerre de haute intensité, d'autant que leur pénétration des IADS adverses va être de plus en plus difficile¹³. La décision d'engagement de ces munitions risquerait d'être retenue à un très haut niveau en raison de leur rareté et non de leurs effets, loin de la flexibilité opérationnelle et de la rapidité souhaitables dans un conflit de haute intensité¹⁴.

Le problème peut être réduit à une optimisation sous contrainte, le rapport coût/efficacité d'une salve dépendant de plusieurs paramètres :

- le coût unitaire de la munition considérée, ainsi que les coûts associés à sa mise en œuvre (comme le coût global de l'heure de vol d'un aéronef porteur) ;
- la capacité de la munition à pénétrer les défenses adverses, en particulier face aux missiles et à l'artillerie anti-aérienne (AAA) et face à la guerre électronique adverse (comme le brouillage GPS et l'attaque électronique des fusées de détonation des charges militaires¹⁵) ;
- l'effet et la précision de la charge militaire de chaque munition au regard des cibles visées ;
- la fiabilité des munitions et des porteurs.

Cette approche simple de l'équilibre pénétration/saturation doit aussi prendre en compte l'effet démultiplicateur du phénomène de saturation cognitive créé par la multiplication des profils de vol de différentes munitions et de différents vecteurs, coordonnées dans le temps et dans l'espace pour menacer un même groupe de cibles, qui permet de tirer moins de munitions complexes pour le même effet militaire si elles sont panachées avec des munitions plus rustiques ou des leurres.

13. M. Fornusek, « In Historic Record, Ukrainian F-16 Pilot Downs 6 Cruise Missiles in Single Mission, Air Force Claims », *The Kyiv Independent*, 7 janvier 2025.

14. H. Fayet et L. Péria-Peigné, « La frappe dans la profondeur : un nouvel outil pour la compétition stratégique ? », *op. cit.*

15. « Pole-21E Russian RF Jammer », ODIN, Worldwide Equipment Guide, TRADOC, US Army, disponible sur : <https://odin.tradoc.army.mil> ; T. Withington, « Jamming JDAM: The Threat to US Munitions from Russian Electronic Warfare », RUSI, 6 juin 2023.

**Tableau 2 : Prix unitaires des principales munitions de frappe
à longue portée occidentales et russes**

	Missile	Ordre de grandeur du prix unitaire
Missiles hypervélocés	LRHW Dark Eagle	40 M\$
	AGM-183 ARRW	15-18 M\$
Missiles balistiques	Kh-47M2 / 9S7760 Kinzhal	10-15 M\$
	9M723 Iskander-M	2-3 M\$
	PrSM	1,5-3,5 M\$
	MIM-140 ATACMS	1,5 M\$
Missiles de croisière	Kh-101	1,5 M\$
	3M54 Kalibr	1-6,5 M\$
	9M728 Iskander-K (R-500)	1 M\$
	AGM-158 JASSM	1-1,5 M\$
	SCALP / Storm Shadow / MdCN	2-3 M€
	Taurus	3,5 M€
	BGM-109 Tomahawk Block V	1,9 M\$
Missiles antnavires	MM-40 et AM-39 Block 3	3 M€
	AGM/RGM-84 Harpoon Block II	1-1,5 M\$
	AGM-158C LRASM	3,2 M\$
	RGM-184A Naval Strike Missile	1,9 M\$
	Kh-22	1 M\$
	P-800 Oniks	1,25-3 M\$
Missiles antiradar	AGM-88E AARGM	1,2 M\$
	SPEAR-3	1 M€
	AGM-88G AARGM	2,5-3,7 M\$
Munitions OWA	Shahed-136 / Geran-2	20 000-200 000 \$
	Batyar	25 000 \$
	Banshee 80	150 000 €
	AQ-400 Scythe	30 000 \$
	Trembita	10 000 \$
	A-22 Foxbat	60 000 \$
	UJ-26 Beaver	> 100 000 \$
Leurres	ADM-160 MALD	120 000 \$
	Gerbera	10 000 \$

Sources : T. Rogoway et T. Trevithick, « Army's New PrSM Ballistic Missile Should Be Adapted into An Air Launched Weapon », *The War Zone*, 10 juin 2024 ; B. Glowacki, « Poland Adds Long-range Strike to its F-35 Fleet with AARGM-ER Missiles », *Breaking Defense*, 29 janvier 2025 ; D. Shulzhenko, « Forbes Estimates Jan. 2 Mass Attack Cost Russia Nearly \$620 Million », *The Kyiv Independent*, 2 janvier 2024 ; « What Is the Real Price of Russian Missiles: About the Cost of 'Kalibr', Kh-101 and 'Iskander' Missiles », *Defense Express*, 1^{er} novembre 2022 ; N. Hollenbeck, M. Hamza Altaf, et al., « Calculating the Cost-Effectiveness of Russia's Drone Strikes », *CSIS*, 19 février 2025 ; B. W. Everstine, « USAF to Start Buying "Extreme Range" JASSMs in 2021 », *Air & Space Forces*, vol. 103, n° 1, février 2020 ; J. A. Tirpak, « Navy Shoots Four LRASMs in "Graduation Exercise", as Air Force Ramps Up Multiyear Buy », *Air & Space Forces*, vol. 107, n° 3, avril 2024 ; I. Vock, « Atacms: What We Know About Missile System Ukraine Has Used to Strike Russia », *BBC*, 20 novembre 2024 ; A. Hollings, « Images Surface of Secretive US MALD Flying Decoy Used in Ukraine. But What Is MALD? », *Sandboxx*, 15 mai 2023 ; T. Rogoway, « What the Navy's Ship-Launched Missiles Actually Cost », *The War Zone*, 21 mai 2024 ; P. L. Swagel « U.S. Hypersonic Weapons and Alternatives », *Congressional Budget Office*, janvier 2023 ; « They Can't Even Make a Foam Drone Without China: Skywalker Technology Developed Gerbera Killer Drones for Russia », *Defense Express*, 18 novembre 2024 ; « As Trump Suspends Military Aid, What Are

the Chokeholds on Ukraine? », The Economist, 4 mars 2025 ; « Ukraine Launches Mass Production of UJ-26 Beaver Drones Targeting Russia », Airmobi, 3 janvier 2024 ; D. Hambling, « Scythe Attack Drone Is Ukraine's Answer to Russia's Shaheds », Forbes, 17 décembre 2023 ; « Trembita Cruise Missile », Army Recognition, 5 janvier 2025 ; « Germany through the NATO Support and Procurement Agency (NSPA) – AGM-88E AARGM Missiles », Defense Security Cooperation Agency, 28 juin 2019 ; « German Defence Minister Seeks To Develop Advanced Taurus Missiles, Source Says », Reuters, 25 octobre 2024.

Considérations économiques

Malgré le tir de plusieurs milliers de missiles sur l'Ukraine depuis le 24 février 2022, les forces armées de la Fédération de Russie ont reconstitué un stock stratégique de missiles de frappe dans la profondeur, tout en soutenant l'attrition et la consommation de munitions de leur IADS¹⁶. Leur production annuelle excède aujourd'hui de loin celle des pays européens de l'Organisation du traité de l'Atlantique nord (OTAN). La frappe dans la profondeur est en effet un élément clé de la doctrine russe, dont l'emploi permet de compenser en partie son infériorité structurelle en termes de puissance aérienne¹⁷.

Le budget de défense russe pour 2025 a certes augmenté, atteignant environ 115 Md\$ pour 2024, soit 461 Md\$ en parité de pouvoir d'achat¹⁸, comparable aux 457 Md\$ que les Européens dépensent annuellement dans leur défense¹⁹. Le rattrapage de la Russie en termes de parité de pouvoir d'achat n'explique pas les différences de volumes d'achat des munitions : en 2025, la Fédération de Russie consacre 8 % de sa richesse nationale à ses armées, alors que les principaux pays d'Europe occidentale peinaient à dépasser 2 % avant l'élection de Donald Trump.

En Europe, la décennie 2010 a été marquée par une absence de priorisation sur les munitions, avec un recours à des acquisitions en « urgence opérations » lorsque c'était nécessaire. Par contraste, l'effort annuel russe vers les seules munitions de frappe dans la profondeur, chiffré ci-dessous, est situé entre 3,8 et 9,8 Md\$, bien supérieur à l'effort français, généralisable à la majorité des pays européens, de 1,9 Md€ réparti sur tout le spectre des munitions²⁰.

16. « Russia Boosts Missile Production, Stockpiles At Least 1,500 for Ukraine Strikes », *Kyiv Post*, 21 novembre 2024 ; « Ukrainian Intelligence Reveals Russia's Missile Production Surge Despite Sanctions », *Army Recognition Group*, 30 décembre 2024, disponible sur : <https://armyrecognition.com>.

17. H. Fayet et L. Péria-Peigné, « La frappe dans la profondeur : un nouvel outil pour la compétition stratégique ? », *op. cit.* ; M. Kofman *et al.*, « Russian Military Strategy: Core Tenets and Operational Concepts », *CNA Research Memorandum, Center for Naval Analyses*, août 2021, disponible sur : www.cna.org.

18. *Military Balance 2025*, IISS, 2025, p. 161.

19. C. Marangé, « Après l'Ukraine, la Russie prépare la guerre d'Europe », *Le Grand Continent*, 24 février 2024 ; A. Narix, « Europe de la Défense : des budgets et des capacités opérationnelles en progrès, mais encore loin d'être suffisants », *L'Echo*, 8 mars 2025.

20. *Ibid.*

Tableau 3 : Stock et production mensuelle russe de missiles de frappe à longue portée

	Missile	Stock fin 2024	Production mensuelle 2024	Effort budgétaire mensuel
Missiles balistiques	Kh-47M2 / 9S7760 Kinzhal	50-70	12	120-180 M\$
	9M723 Iskander-M	130-350	40-70	80-210 M\$
Missiles de croisière	Kh-55/101	220-400	50	75-150 M\$
	3M54 Kalibr	350-390	30-50	30-150 M\$
	9M728 Iskander-K (R-500)	210	12	12 M\$
Missiles antinavires	Kh-22 convertis en Kh-32	230	12	N/C
	P-800 Oniks	500	N/C	N/C

Sources : « Russia Boosts Missile Production, Stockpiles at Least 1,500 for Ukraine Strikes », Kyiv Post, 21 novembre 2024 ; « Ukrainian Intelligence Reveals Russia's Missile Production Surge Despite Sanctions », Army recognition Group, 30 décembre 2024, disponible sur : www.armyrecognition.com.

Tendances capacitaires sur la décennie à venir

Le haut du spectre : missiles balistiques et hypervéloces contre intercepteurs haut de gamme

Depuis les années 1980, les vecteurs de frappe de précision dans la profondeur présentent des profils de vol de plus en plus variés et extrêmes, du missile de croisière équipé de contre-mesures volant en très basse hauteur aux armes hypervéloces ou balistiques manœuvrantes. Cette augmentation des performances, dont le SCALP/*Storm Shadow* franco-britannique et le Kh-47M2 *Kinzhal* russes sont emblématiques dans leurs catégories respectives, laissent peu d'options au défenseur, bien que le prix unitaire de ces armes soit très élevé, et que par conséquent les nombres d'armes disponibles soient faibles²¹. En particulier, les missiles balistiques ou aéro-balistiques manœuvrants affichent une excellente capacité individuelle à pénétrer les IADS, démontrée en Ukraine et au Moyen-Orient²². Leur emploi le plus pertinent pourrait donc être la destruction de segments critiques de l'IADS adverse pour faciliter la pénétration synchronisée d'un nombre plus élevé et panaché d'armes moins performantes mais moins onéreuses, comportant des missiles de croisière et des munitions simples dites *One-Way Attack* (OWA).

Face à ce mode d'action de l'adversaire, deux réactions peuvent être combinées. La première serait d'accepter que ces missiles ne puissent pas tous être interceptés et de préparer une défense passive (durcissement, dispersion, dissimulation, et redondance des forces) adaptée à leur impact sur les forces militaires et les infrastructures du défenseur. La seconde consiste à acquérir des systèmes de missiles sol-air toujours plus performants, comme l'ASTER 30 B1NT, avec le risque d'une augmentation du prix des missiles intercepteurs selon un schéma augustinien classique²³. Leur emploi n'est donc rentable que pour contrer les missiles adverses les

21. « Kh-47M2 Kinzhal », CSIS Missile Defense Project, 23 avril 2024, disponible sur : missilethreat.csis.org.

22. T. Newdick, « Israeli Strikes Knocked Out All Of Iran's S-300 Air Defense Systems: Officials », *The War Zone*, 28 octobre 2024, disponible sur www.twz.com.

23. N. Augustine, *Augustine's Laws*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1997 ; M. Gunzinger et B. Clark, « Winning the Salvo Competition – Rebalancing America's Air and Missile Defense », CSBA, 2016 ; « Missile Interceptors by Cost », Missile Defense Advocacy Alliance, février 2024.

plus performants, et pour protéger certaines cibles à très haute valeur militaire ou politique, d'autant que la couverture géographique d'une arme antimissile décroît fortement face à une menace balistique.

Tableau 4 : Domaine de tir du Patriot contre des cibles aérobies et balistiques

Missile	Portée sur cible aérobie	Portée antibalistique
PAC-2 GEM-T	99 milles nautiques (Nm)	N/C
PAC-3 MSE	75 Nm	44 Nm
PAC-3 CRT	40 Nm	22 Nm

Source : A.Hollings, « The Ultimate Guide to the Patriot Air Defense System », *Sandboxx News*, 5 mars 2025, disponible sur : www.sandboxx.us.

Le bas du spectre : la saturation par les moyens de frappe *low cost* et le nécessaire *Hi-Lo mix* défensif

À l'autre extrémité du spectre, l'avènement des munitions OWA et leurs leurre associés, comme la combinaison *Shahed-136/Geran-2* et leurre *Gerbera*, offre désormais à l'assaillant des options de frappe de précision saturante pour des prix unitaires dix à cent fois inférieurs à ceux des moyens de frappe dans la profondeur classique. Ces drones OWA profitent de la mondialisation des technologies de précision et offrent, en échange d'une charge utile, d'une vitesse et d'une survivabilité limitées, une portée comparable ou supérieure aux missiles de croisière.

Leur pertinence tactique, industrielle et économique pose question car, sans préjuger de leurs effets stratégiques ou médiatiques, peu d'entre eux atteignent leurs cibles ou y produisent des effets militaires. Leurs cinématiques relativement linéaires permettent une interception par la majorité des armes de défense sol-air, même par les plus rustiques, comme l'artillerie anti-aérienne (AAA) non guidée, ou, au-delà de la portée des armes sol-air de l'adversaire, par les hélicoptères pourtant non pensés pour ce rôle²⁴. Leur efficacité opérationnelle dépend donc avant tout de leur densité dans le temps et dans l'espace pour saturer ou épuiser la défense adverse, et de la capacité de l'agresseur à exploiter les vides dans le dispositif adverse. Leur efficacité économique, en revanche, dépend en plus

24. V. Romanenko, « Russia's Largest Attack: Ukraine's Defence Forces Destroy over 200 out of 236 Russian Missiles and Drones », *Ukrainska Pravda*, 26 août 2024 ; G. Powis, « Un hélicoptère de la Marine nationale abat un drone houthi », *Air & Cosmos*, n° 2868, 21 mars 2024 ; J. Gray, « U.S. Navy MH-60R Seahawk Helicopter Shoots Down Houthi Drone for the First Time », *The Aviationist*, 21 janvier 2025, disponible sur : <https://theaviationist.com>.

de leur affectation sur des cibles suffisamment critiques pour forcer le défenseur à les abattre avec des missiles du haut de spectre.

La réponse optimale face à ces munitions OWA pourrait être une défense en profondeur et différenciée, appuyée sur un réseau de détection radar et acoustique, une guerre électronique ciblant les systèmes de navigation par satellite, et des capacités d'engagement basées sur un grand nombre de systèmes mobiles et distribués, utilisant principalement de l'AAA de calibre 30 mm ou inférieur, à l'instar des *Mobile Fire Teams* ukrainiens²⁵. L'aviation (chasseurs, hélicoptères ou avions légers), armée de mitrailleuses ou de canons et de roquettes guidées laser pourrait également jouer un rôle important en amont des zones à défendre²⁶.

Dans le domaine des armes à énergie dirigée, les armes Laser présentent toujours des contraintes opérationnelles et technologiques fortes, en particulier les puissances effectives, pour l'instant comprises entre 2 et 100 kilowatts (kW), alors que 500 kW à 1 mégawatt (MW) seraient nécessaires pour détruire des missiles²⁷. Leur emploi opérationnel est donc limité à la lutte anti-drone par temps clair, ce qui impose une duplication de capacité avec des systèmes cinétiques par mauvaise météo.

25. H. Altman et T. Rogoway, « Ukraine's Acoustic Drone Detection Network Eyed By U.S. As Low-Cost Air Defense Option », *The War Zone*, 24 juillet 2024, disponible sur : www.twz.com ; « Zelensky: Ukraine has 1,500 mobile fire teams, but more are needed », *Ukrinform*, 17 décembre 2024 ; « Hundreds of Mobile Fire Groups Protect Ukraine's Critical Infrastructure — National Guard », *The New Voice of Ukraine*, 27 décembre 2024.

26. J. Trevithick, « Laser-Guided Rockets Shown Shooting Down Houthi Drones for First Time », *The War Zone*, 19 mars 2025, disponible sur : www.twz.com.

27. J. Trevithick, « U.S. Military Laser Weapon Programs Are Facing A Reality Check », *The War Zone*, 21 mai 2024, disponible sur : www.twz.com ; P. Gros, « Les armes à énergie dirigée », Observatoire des conflits futurs, Note n° 2, FRS, juillet 2018.

Pistes de réflexion pour les armées françaises

Les pistes de réflexion qui suivent visent à proposer des options pour améliorer le rapport coût/efficacité des forces armées françaises par une différenciation des moyens de défense et de frappe. Cette différenciation représente un effort capacitaire significatif car il suppose de continuer le développement et la production des armements de décision, tout en produisant en masse des munitions peu onéreuses mais dont la R&D et surtout l'industrialisation restent à financer. Elle ne peut raisonnablement s'envisager que dans le contexte d'une augmentation marquée du budget de la défense.

Segment défensif

Dans l'approche défensive, les principales pistes de rationalisation économique pour les armées françaises concernent le segment le moins complexe des munitions, avec un effort à fournir sur l'artillerie anti-aérienne, les capacités air-air à bas coût et un effort notable sur les capacités de détection dans le haut et le bas du spectre :

- ▀ Réfléchir à la priorisation des infrastructures critiques (territoire national, aéroports et ports d'entrée sur le théâtre, poste de commandement de corps d'armée, etc.), à protéger absolument avec des plots de défense ponctuelle multicouche articulés autour des systèmes SAMP et VL-MICA, de MANPADS Mistral, d'artillerie anti-aérienne guidée radar et d'armes à énergie dirigée. Disperser les dépôts logistiques lourds de manière raisonnée à proximité de ces plots pour bénéficier de leur protection.
- ▀ L'AAA à tir rapide et à guidage radar pourrait être priorisée, déployée à la fois en défense ponctuelle d'infrastructures sensibles et de navires de guerre en complément des couches ASTER et VL-MICA, et dans une optique plus mobile d'accompagnement des forces terrestres. Pour ce dernier objectif, déployer des systèmes d'AAA mobile, sur des lignes perpendiculaires à la direction d'arrivée de la menace, et les déplacer en temps réel en fonction des trajectoires de munitions OWA détectées par un système de surveillance radar et acoustique couvrant l'intégralité du territoire à défendre. L'objectif opérationnel de générer une masse cohérente de feux anti-aériens suppose de maintenir le prix des munitions à un niveau soutenable, ce qui plaide pour des systèmes basés sur des armes disponibles sur étagère et interopérables.

- Disperser et camoufler au maximum les forces terrestres, aériennes et maritimes et leurs échelons logistiques de proximité pour compliquer le ciblage adverse, et protéger les principaux sites avec de l'AAA guidée radar et des MANPADS, tout en recourant au leurrage de manière systématique. Déployer des systèmes de drone anti-drone pour une couverture de zone efficace²⁸.
- Après avoir arrêté son programme de canon électromagnétique en 2021, l'US Navy a relancé fin 2024, des programmes de projectiles guidés HVP de 76 et de 155 mm à des fins anti-aérienne²⁹. Cette solution technologique propose des prix de munitions très compétitifs avec les missiles longue portée³⁰. L'obus guidé radar *Dart* de 76 mm installé sur les FREMM italiennes pourrait par exemple en constituer une première brique technologique à développer de manière incrémentale en coopération européenne bilatérale ou multilatérale³¹.
- Afin d'engager avec un maximum de flexibilité et d'économie des salves d'effecteurs OWA, il semble pertinent d'acquérir un armement air-air *low cost*, avionnable sur voilures fixes et tournantes.
- L'emploi des hélicoptères de combat en air-air, au-delà de la portée de l'IADS adverse, mériterait également une réflexion en profondeur vu le retour d'expérience très positif de l'Ukraine sur ce sujet, tout comme l'expansion et l'armement d'une flotte d'avions légers³².
- Développer une chaîne de détection acoustique déployable et de radars passifs dédiée au suivi des effecteurs OWA, en s'assurant de sa compatibilité avec le C2 air français.
- Développer une chaîne de détection balistique nationale ou européenne autonome, similaire en fonctionnalités à l'architecture SBIRS américaine, dont l'intégration dans le C2 permette la discrimination des

28. J. Trevithick et H. Altman, « Army Coyote Drone Hunting Drones Have Scored 170 Combat Kills », *The War Zone*, 1^{er} novembre 2024, disponible sur : www.twz.com ; A. Holling, « Anduril's Roadrunner is a unique reusable missile interceptor », *Sandboxx News*, 10 mars 2025, disponible sur www.sandboxx.us.

29. J. Trevithick, « Long in Development Hypervelocity Rounds for Navy Railguns and Deck Guns Killed Off in Budget », *The War Zone*, 5 juin 2021, disponible sur : www.twz.com ; C. Johnson, « U.S. Navy Resumes At-Sea Testing of BAE Systems' Hypervelocity Projectile », *Naval News*, 21 octobre 2024, disponible sur : www.navalnews.com ; J. Keller, « Army Putting Pieces Together for Cannon That Fires Hypervelocity Projectiles for Battlefield Air Defense », *Military & Aerospace Electronics Magazine*, 23 juillet 2024, disponible sur www.militaryaerospace.com.

30. S. Largone, « Navy Quietly Fires 20 Hyper Velocity Projectiles Through Destroyer's Deckgun », *USNI News*, US Naval Institute, 8 janvier 2019, disponible sur : <https://news.usni.org>.

31. « The Strales 76mm System with DART Guided Ammunition », Brochure de presse, Leonardo, 18 avril 2014, disponible sur : www.leonardo.com.

32. G. Powis, « En vidéo : un hélicoptère de transport ukrainien détruit en vol un drone russe », *Air & Cosmos*, n° 2887, 23 août 2024.

trajectoires pour sélectionner les engagements sur le modèle israélien, même si celui-ci, par la taille du territoire à défendre, n'est pas transposable directement à l'échelle européenne³³.

Segment offensif

Dans l'approche offensive, l'enjeu principal est de différencier l'arsenal de frappe à longue portée pour permettre à la fois une flexibilité des emplois et la saturation locale des IADS adverses à moindre coût.

- Poursuivre le développement de munitions antiradar survivables, utilisant la vitesse et la manœuvrabilité pour détruire les composants critiques de l'IADS adverse. En attendant la mise en service du RJ-10 de MBDA³⁴, étudier le développement de missiles aérobalistiques dans le cadre de l'initiative ELSA³⁵.
- Développer pour cibler les objectifs opérationnels et stratégiques des munitions guidées à longue portée moins chère, plus simples et avec des performances inférieures au SCALP, telles que les projets *Smart Glider* et *Smart Cruiser* de MBDA, capables de saturer par le nombre et dans une moindre mesure par la trajectoire les défenses adverses tout en conservant l'effet militaire de charges utiles aériennes traditionnelles, de plusieurs centaines de kilogrammes³⁶.
- Développer ou acheter sur étagère, à raison de quelques unités par missile de croisière, des aides à la pénétration similaires à l'ADM-160 MALD³⁷.
- Développer des armes OWA dont les critères déterminants doivent être le prix, le temps de production et la portée. Concentrés dans le temps et dans l'espace, ils auraient vocation à cibler à la fois les principaux composants de l'IADS sur la route des missiles de croisière, les objectifs principaux de la frappe, et au moins un axe de diversion.
- Multiplier le volume de tir offert par les chasseurs en développant des kits de largage de missiles de croisière à partir d'A400M, à l'instar du

33. « Space-based Infrared System (SBIRS) », *CSIS Missile Defense Project*, CSIS, 26 juillet 2021.

34. L. Lagneau, « Le futur missile antiradar de l'armée de l'Air et de l'Espace sera basé sur le RJ-10 de MBDA », *Zone militaire*, 27 février 2025, disponible sur www.opex360.com.

35. T. Wright, « Europe's Missile Renaissance », *IISS*, 25 novembre 2024 ; « ROCKStm Autonomous Extended Stand-Off Range Air-to-Surface Missile », *Rafael*, 2024, disponible sur : www.rafael.co.il.

36. MBDA, « SmartGlider », fiche de concept, 2018 ; J. A. Tirpak, « Anduril Unveils New Low-Cost Cruise Missiles Meant for Large-Scale Production », *Air & Space Forces*, vol. 107, n° 9, 12 septembre 2024.

37. T. Newdick, « ADM-160 Miniature Air Launched Decoy Spotted On Ukrainian MiG-29 », *The War Zone*, 21 mai 2024, disponible sur : www.twz.com.

projet Rapid Dragon de l'USAF³⁸.

- Étudier des doctrines et préparer les forces aériennes à appuyer les munitions avec des simulacres répétés de pénétration suivis de dérobades, par les chasseurs ayant déjà tiré leurs missiles et leur escorte, pour forcer les systèmes à longue portée adverse à épuiser sur eux leurs munitions, tout en brouillant leurs radars.
- Développer des solutions de brouillage offensif portées par des vecteurs non dédiés, à l'instar du pod Angry Kitten ALQ-167³⁹.

38. « RAPID DRAGON », fiche technique, Air Force Research Laboratory, 2024, disponible sur : <https://afresearchlab.com>.

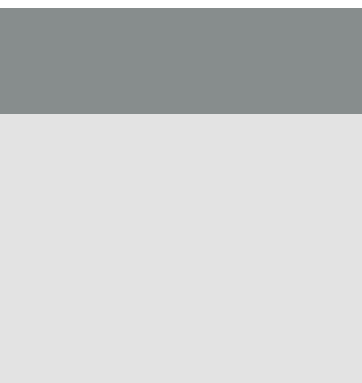
39. K. Greet, « USAF Testing Angry Kitten EW Pod on C-130 as F-16 Integration Progresses », The Aviationist, 13 mars 2025, disponible sur : <https://theaviationist.com>.

Conclusion

L'enjeu des échanges de salves, pour les pays européens, est paradoxal. En effet, arrêter la spirale inflationniste des munitions et maîtriser le coût des salves implique un investissement pour créer des filières, pour l'instant inexistantes ou balbutiantes, et produire des effecteurs à bas prix, rapides à produire, tout en maintenant la production de munitions complexes dont le financement est d'ores et déjà compliqué. Le rôle opérationnel de ce segment de basse complexité, symétrique dans l'offensive et dans la défensive, serait de traiter de manière raisonnée les cibles pour n'avoir à utiliser les munitions les plus performantes que là où elles seront absolument nécessaires.

Dans le domaine défensif, la remontée en puissance de la défense sol-air doit faire l'objet d'une approche différenciée avec un segment de basse complexité (AAA) plus massif que le parc de missiles sol-air prévu en loi de programmation militaire. Dans le domaine offensif, il faut là aussi un *Hi-Low mix* de munitions avec des armes à hautes performances pour détruire les cibles les plus critiques en synchronisation avec des armes de saturation pour tenir dans la durée et forcer l'adversaire à une accumulation de dilemmes tactiques, opératifs, stratégiques et économiques intenable.

Enfin, l'expérience ukrainienne, même si elle n'est pas systématiquement généralisable, démontre l'inaccessibilité économique d'une défense de zone étendue hermétique. Un des enjeux de la guerre de salves est l'acceptation du fait, brutal et inconfortable pour des sociétés occidentales, que tous les coups de l'adversaire ne pourront pas systématiquement être parés, ce qui plaide pour une réflexion en profondeur sur la défense passive.



27 rue de la Procession 75740 Paris cedex 15 – France

Ifri.org