

# INSTITUT DES HAUTES ETUDES DE DEFENSE NATIONALE



## 51<sup>e</sup> session nationale Armement et économie de défense

2014/2015  
Comité n° 5

**« Les missiles hypervéloces : entre mythe et réalité ? »**

### Composition du comité :

Président : Thierry LECLERCQ (MBDA)  
Rapporteur : Olivier MAHLER (DGA)  
Secrétaire : Marcel DAVID (CGA)  
Membres : Sébastien BERTHOMIEU (DGA)  
Raphael CUISINIER (ONERA)  
Patrice MAILLARD (Dassault Aviation)  
David NACCACHE (Enseignant Chercheur)  
Alexandre NIMSER (EMAT)  
Conseillers : Vincent PERY (Airbus Defense And Space)  
Gilles FOULTIER (Sabena Technics)

# Table des matières

Remerciements .....	4
Résumé .....	5
Note de position.....	6
Abstract .....	8
Introduction .....	9
1. La France ne peut être absente de la dynamique mondiale visant à maîtriser l’hypervélocité et à s’en protéger .....	11
1.1. Il existe une dynamique mondiale autour des armes hypervéloces et des moyens de s’en protéger.....	11
1.1.1. Quelques définitions autour de la notion d’hypervélocité.....	11
1.1.2. Les défenses contre les missiles progressent en permanence.....	12
1.1.3. Les missiles hypervéloces poseraient de sérieux défis aux systèmes de défense antimissile.....	13
1.1.4. De nombreuses nations travaillent au développement d’armes ou de véhicules hypervéloces.....	14
1.2. Ce panorama n’est pas sans conséquence pour la France .....	16
1.2.1. Les missiles de la prochaine génération devront être plus rapides.....	16
1.2.2. En complément, une approche système d’armes est nécessaire .....	17
1.2.3. Une évolution des systèmes de défense français sera probablement nécessaire à long terme .....	18
2. Les missiles hypervéloces aérobie en France : de l’ambitieux défi de R&T à la réalisation industrielle.....	21
2.1. Les défis techniques sont nombreux et divers.....	21
2.1.1. La propulsion.....	21
2.1.2. Les conditions d’environnement .....	22
2.1.3. Les senseurs, la chaîne de navigation, guidage et pilotage et la chaîne pyrotechnique.....	23
2.1.4. Les logiques et moyens de validation.....	23
2.1.5. La capacité de pénétration ou survivabilité .....	26

2.1.6.	L'adaptation au porteur .....	27
2.2.	La France est dans le peloton de tête.....	28
2.3.	Les ambitions françaises s'inscrivent dans une trajectoire financière et industrielle soutenable.....	29
2.4.	Le tissu industriel, entre recherche, grands groupes et PME, est bien organisé et apte à satisfaire cette ambition.....	30
2.5.	Une dualité civilo-militaire existe dans ce domaine.....	31
3.	Les enjeux politiques et stratégiques liés à l'émergence des systèmes d'armes hypersoniques ..	33
3.1.	L'hypersonique ouvre des perspectives opérationnelles nouvelles .....	33
3.2.	L'apparition de ces armes constituera(it) un fait stratégique majeur .....	34
3.3.	L'émergence de telles armes n'est pas exempte de risques.....	35
3.4.	L'acceptabilité sociétale de ces armes reste à démontrer .....	37
3.5.	La France pourrait promouvoir (prudemment) une évolution du droit international .....	38
	Conclusion.....	40
	Rappel des recommandations, par grandes thématiques .....	41
	Glossaire.....	43
	Liste des organismes rencontrés.....	45

## **Remerciements**

Nous souhaitons adresser ici tous nos remerciements aux personnes qui nous ont apporté une aide précieuse dans la compréhension des problématiques multiples liées aux armes hypervéloces.

Nous exprimons en particulier notre gratitude à toutes les personnes rencontrées lors des entretiens, visites et recherches effectuées, qui ont accepté de répondre à nos questions avec obligeance.

Merci enfin à nos conseillers des études, pour l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer.

## Résumé

A un horizon d'une vingtaine d'années, les missiles mis en œuvre par les forces françaises, notamment par les forces aériennes stratégiques, pourraient voir leur efficacité militaire contestée par l'amélioration continue des systèmes de défense adverses. Au-delà de leur modernisation périodique, les travaux visant à développer les générations suivantes ont donc débuté. Même si la vitesse du missile n'est que l'un des nombreux éléments qui font l'efficacité d'un système offensif, l'hypervélocité est de plus en plus considérée comme l'avantage stratégique de demain.

La plupart des grandes puissances conduisent d'ores et déjà des travaux dans ce domaine, et les premiers systèmes militaires opérationnels hypervéloces seront probablement mis en service à l'horizon d'une dizaine d'années. Forte de son expérience avec l'air-sol moyenne portée (ASMP) et ses évolutions, la France est bien placée dans le domaine des statoréacteurs. Elle dispose d'un tissu d'organismes de recherche et d'industries cohérent et habitués à coopérer. Cependant, dans ces domaines, le savoir-faire des chercheurs, des bureaux d'études et des industriels dépendent de la régularité des investissements humains et financiers.

Le principal enjeu, rappelé régulièrement par nos plus hautes autorités civiles et militaires, est le maintien dans la longue durée de la crédibilité de notre dissuasion. Notre liberté d'action, y compris celle de mener des opérations conventionnelles sur des théâtres extérieurs, est à ce prix. Elle conditionne largement notre rang politique et stratégique sur la scène internationale.

Le développement de telles capacités, surtout dans le domaine conventionnel, n'est pas exempt de risques. De telles armes sont en effet susceptibles de nourrir une nouvelle course aux armements. Elles pourraient également être déstabilisatrices car leur seuil d'emploi est plus faible.

Dans ce contexte, nos recommandations visent quatre axes principaux :

- Poursuivre l'effort de recherche et de développement, donc l'effort humain et financier, jusqu'à faire de l'hypervélocité une réalité militaire opérationnelle en France à un horizon de 15 à 20 ans.
- Avoir une vision « système » du sujet, en travaillant sur l'environnement technico-opérationnel du missile et en ne se focalisant pas excessivement sur la seule vitesse.
- A plus long terme, face au risque de prolifération future de cette nouvelle arme, faire évoluer nos systèmes de défense de manière adaptée.
- Mener une manœuvre diplomatique adaptée à nos intérêts et aux enjeux planétaires.

En conclusion, les missiles hypervéloces apparaissent d'ores et déjà comme une réalité en termes de besoin militaire et de faisabilité technique. Ils seront probablement en service dans 10 à 20 ans chez les grandes puissances militaires.

## Note de position

L'amélioration continue des systèmes de défense adverses fragilise nos systèmes offensifs. Ainsi, à un horizon d'une vingtaine d'années, les missiles mis en œuvre par les forces françaises, notamment par les forces aériennes stratégiques, pourraient voir leur efficacité militaire contestée. Au-delà de leur modernisation périodique, les travaux visant à développer les générations suivantes ont donc débuté.

La vitesse du missile n'est que l'un des nombreux éléments qui font l'efficacité d'un système offensif. C'est cependant dans ce domaine que les perspectives techniques sont les plus prometteuses. C'est donc probablement de là que viendront les progrès opérationnels les plus significatifs pour les prochaines décennies. De fait, pour la survivabilité des missiles, l'hypervélocité est de plus en plus considérée comme l'avantage stratégique de demain.

La plupart des grandes puissances conduisent d'ores et déjà des travaux dans ce domaine. Les Etats-Unis, la Chine, la Russie et l'Inde conduisent des programmes de recherche militaires de maturité variable, mais les deux premiers y consacrent des moyens financiers considérables. Les premiers systèmes militaires opérationnels hypervéloces seront probablement mis en service à l'horizon d'une dizaine d'années.

Forte de son expérience avec l'ASMP et ses évolutions, la France est bien placée dans le domaine des statoréacteurs, qui fournissent la propulsion des systèmes hypervéloces aérobies. Elle dispose d'un tissu d'organismes de recherche et d'industries cohérent et habitués à coopérer.

Le principal enjeu, rappelé régulièrement par nos plus hautes autorités civiles et militaires, est le maintien dans la longue durée de la crédibilité de notre dissuasion. Il s'agit de disposer en tout temps d'un missile opérationnel, capable d'être emporté par les avions militaires français et de franchir tous les systèmes de défenses adverses susceptibles de lui être opposés.

Notre liberté d'action, y compris celle de mener des opérations conventionnelles sur des théâtres extérieurs, est à ce prix. Elle conditionne largement notre rang politique et stratégique sur la scène internationale.

La base industrielle et technologique de défense construite pour l'ASMP et ses versions successives est à la fois forte et fragile. Dans ces domaines de très hautes technologies, le savoir-faire des chercheurs, des bureaux d'études et des industriels dépendent de la pérennité des équipes, donc de la régularité des investissements humains et financiers. Cette dimension est un constituant à part entière de l'autonomie stratégique durable de la France.

Enfin, des synergies peuvent exister avec la propulsion spatiale. Un statoréacteur permettant d'atteindre des vitesses hypersoniques pourrait ainsi par exemple propulser jusqu'à la haute atmosphère un système spatial réutilisable.

Il reste cependant de réels défis techniques à relever, dont : la propulsion et la maîtrise du bilan propulsif, les conditions d'environnement, les contraintes d'intégration au porteur, les logiques et moyens de validation.

Le développement de telles capacités, surtout dans le domaine militaire, n'est pas exempt de risques. Certes, dans le domaine nucléaire, cela ne constituerait pas une rupture en termes de concept d'emploi par rapport aux missiles actuels (à moduler selon le porteur retenu). Il s'agirait essentiellement d'une actualisation de la compétition immémoriale entre épée et bouclier.

Au contraire, la possibilité de frapper n'importe quel point de la planète très rapidement à partir du territoire national, par une arme conventionnelle capable de franchir la quasi-totalité des systèmes de défense existants, serait un fait stratégique majeur. En effet, une telle arme pourrait faire peser une menace sur les arsenaux nucléaires terrestres ou les centres de commandement, précipitant une frappe nucléaire préventive. De telles armes sont également susceptibles de nourrir une nouvelle course aux armements, la quantité étant un facteur de moindre vulnérabilité.

Elles pourraient également être déstabilisatrices en ce qu'elles rendent possible une frappe intercontinentale sans avoir à payer le coût politique d'une frappe nucléaire : leur seuil d'emploi est plus faible.

Les armes hypervéloces placent donc la France dans une situation contradictoire, proche de celle induite par le nucléaire : il apparaît inconcevable de ne pas être doté de cette capacité militaire mais il faut en parallèle tenter de contenir autant que possible son effet déstabilisant.

Dans ce contexte, nos recommandations visent quatre axes principaux :

- Poursuivre l'effort de recherche et de développement, donc l'effort humain et financier, jusqu'à faire de l'hypervélocité une réalité militaire opérationnelle en France à un horizon de 15 à 20 ans.
- Avoir une vision « système » du sujet, en travaillant sur l'environnement technico-opérationnel du missile et en ne se focalisant pas excessivement sur la seule vitesse.
- A plus long terme, face au risque de prolifération future de cette nouvelle arme, faire évoluer nos systèmes de défense de manière adaptée.
- Mener une manœuvre diplomatique adaptée à nos intérêts et aux enjeux planétaires.

En conclusion, les missiles hypervéloces apparaissent d'ores et déjà comme une réalité en termes de besoin militaire et de faisabilité technique. Ils seront probablement en service dans 10 à 20 ans chez les grandes puissances militaires.

## Abstract

In about twenty years, the missiles operated by the French Forces, in particular by the Strategic Air Forces, could see their military effectiveness disputed by the continuous improvement of the defense systems. Beyond their periodic modernization, work aiming at developing the next generation has begun. Even if the speed of the missile is only one of the many elements which make the effectiveness of an offensive weapon system, hypervelocity is more and more considered as the strategic advantage of tomorrow.

Most of the big nations have started working in that domain, and the first “very high speed” operational weapon systems will probably enter into service in about ten years. Thanks to the experience acquired on ASMP and its evolutions, France is well placed in the ramjets domain. It has a comprehensive network of research organizations and industries used to cooperate. However, in these domains, the researchers’ and the design and manufacturing departments’ know-how depend on the regularity of human and financial investments.

The main issue, recalled regularly by French civil and military high level authorities, is the capability to maintain in the long term the credibility of our deterrence. Our freedom of action, including that to conduct conventional operations on external theatres, is at this price. It largely conditions our political and strategic position on the international scene.

The development of such capacities, especially in the conventional domain, is not free from risks. Such weapons could lead to a new arms race. They could also be destabilizers because their threshold of employment is lower.

In this context, our recommendations aim four main axes:

- Continue the research and development effort, therefore the human and financial effort, until making hypervelocity an operational military reality in France in about 15 to 20 years.
- Have a system approach, by working on the technical and operational environments of the missile and not focusing excessively on speed alone.
- In a longer term, considering the risks of future proliferation, make our defense systems evolve in order to get them able to cope with this new threat.
- Carry out a diplomatic action adapted to our interests and to the geo-political challenges.

In conclusion, the “very high speed” missiles seem right now to be a reality in terms of military need and technical feasibility. They will be probably in service in 10 to 20 years in most of the main military nations.



## Introduction

Ce rapport présente les travaux du comité n° 5 de la 51<sup>e</sup> session nationale « Armement et économie de défense » de l'institut des hautes études de la défense nationale (IHEDN) sur le sujet suivant : « Les missiles hypervéloces : entre mythe et réalité ? ».

Le 20 août 1998, après la double attaque sur les ambassades du Kenya et de Tanzanie, les Etats-Unis ont tiré plus de 60 Tomahawk sur des camps d'entraînement terroristes présumés. Ces missiles ont mis plus d'une heure à atteindre leur cible, permettant à Oussama ben Laden de quitter la zone peu avant la frappe. Le ministère de la défense des Etats-Unis (DOD) identifie donc en 2003 un nouveau concept, le PGS (pour « *Prompt Global Strike* »), dont le but est de fournir aux Etats-Unis la capacité de frapper des cibles n'importe où sur la planète avec une arme conventionnelle en une heure maximum, sans dépendre de forces prépositionnées.

En France, la vitesse est également considérée comme une performance discriminante. Ce point a d'ailleurs été récemment<sup>1</sup> évoqué par le président de la République pour la composante stratégique : « Des études ont été également réalisées pour explorer ce que pourra être le successeur de l'ASMP-A. Les technologies les plus exigeantes seront mises en œuvre pour, en particulier, être encore plus efficaces dans les domaines de la vitesse, des matériaux et de la furtivité. ». Pour le chef d'état-major de l'armée de l'air (CEMAA) français<sup>2</sup>, « ce thème de l'hypervélocité est au cœur de la réflexion actuelle de l'armée de l'air », car « les missiles hypervéloces seront des armes de rupture qui offriront un challenge élevé aux futurs systèmes anti-missiles ».

Ce besoin opérationnel dépasse la capacité de frapper les *Time Sensitive Targets*. Ainsi, le CEMAA français affirmait<sup>3</sup> encore le 03 novembre 2014 que « l'enjeu opérationnel principal porte sur la capacité à pénétrer les systèmes de défense qui ne cesseront d'évoluer posant un problème central dans les conflits du futur : le déni d'accès ».

Dans ce contexte, les armes possédant une vitesse très élevée pourraient offrir aux nations s'en trouvant dotées une supériorité stratégique face aux autres.

De nombreux pays, et en particulier les Etats-Unis, la Chine ou encore la Russie mènent des travaux dans le domaine de l'hypervélocité avec en perspectives des applications dans la Défense, mais aussi dans les domaines civils et spatiaux. Aux Etats-Unis, Lookeed Martin déclarait en 2013 « Speed is the new stealth », tandis que la DARPA<sup>4</sup> proposait en juillet 2012 le slogan : « Hypersonic – the new stealth ».

Après un rapide rappel des concepts scientifiques et techniques attachés à l'hypervélocité, nous réaliserons un tour d'horizon des armes hypervéloces en cours de développement à travers le monde et analyserons la problématique des systèmes de défense à mettre en place face à ce type d'armes (§ 1). Nous examinerons ensuite les atouts et défis à relever pour la

---

<sup>1</sup> « Discours sur la dissuasion nucléaire » du président de la République à Istres du 19 février 2015.

<sup>2</sup> Colloque du 03 novembre 2014 à l'Ecole militaire à Paris : « Les armes hypervéloces sont-elles l'avenir ? »

<sup>3</sup> Id.

<sup>4</sup> *Defense Advanced Research Projects Agency* (Etats-Unis).

France dans ce domaine (§ 2). Enfin, les enjeux politiques et stratégiques liés à l'émergence des systèmes d'armes hypervéloces seront abordés en fin de rapport (§ 3).

La question « Mythe ou Réalité ? » sera au centre de cette analyse et des recommandations seront émises visant pour les unes à permettre à la France de sécuriser le développement d'une capacité hypervélocité et, pour les autres, à se préparer à l'émergence de cette capacité chez nos adversaires potentiels ainsi que nos alliés (capacité à participer aux actions de première frappe).

Ce rapport s'inscrit dans une démarche de type « Armement et Économie de Défense » et s'attache à en couvrir les différentes facettes (technique, économique, concept d'emploi, base industrielle et technologique de défense (BITD), stratégiques, sociétaux et politique).

# 1. La France ne peut être absente de la dynamique mondiale visant à maîtriser l'hypervélocité et à s'en protéger

## 1.1. Il existe une dynamique mondiale autour des armes hypervéloces et des moyens de s'en protéger

### 1.1.1. Quelques définitions autour de la notion d'hypervélocité

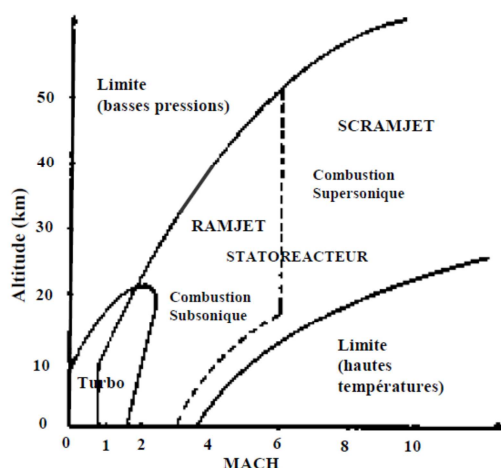
Il convient en préambule de noter que le terme d'hypervélocité est utilisé pour parler de « très grande vitesse ». Une classification généralement admise des domaines de vitesse est la suivante :

- vol subsonique (Mach inférieur à 1),
- vol transsonique (Mach proche de 1),
- vol supersonique (Mach compris entre 1 et 5),
- vol hypersonique (Mach supérieur à 5).

La transition entre vol supersonique et hypersonique, autour de Mach 5, est liée à un seuil de température qui dépasse 1 500 °K, parfois appelé « mur de la chaleur » bien qu'il n'y ait pas de discontinuité. A partir de cette température, la résistance thermo-structurale des matériaux permis par les technologies actuelles devient critique.

Deux principaux types de propulsion sont à distinguer dans l'aéronautique et le spatial :

- Le fonctionnement aérobique utilise l'oxygène de l'air environnant comme comburant pour brûler le combustible embarqué, hydrocarbure ou hydrogène. Les moteurs les plus connus dans cette catégorie sont les turboréacteurs. A haute vitesse, le rendement propulsif des turboréacteurs s'effondre et il faut recourir à des statoréacteurs (Ramjet), dans lesquels la combustion du carburant se fait dans une chambre ne comportant aucun élément mobile. Si la vitesse de l'air dans cette chambre de combustion est supersonique, on parle de superstatoréacteur (Scramjet).



- Dans le fonctionnement anaérobie, le comburant et le combustible sont embarqués dans le véhicule. C'est le modèle retenu pour les moteurs fusée, pour les lanceurs spatiaux ou pour certains missiles. Dans beaucoup d'applications missiles, le carburant et le comburant sont sous forme solide, avec un temps de fonctionnement limité et donc non adapté aux systèmes d'attaque dans la profondeur.

Chaque type de propulseurs possède ses propres caractéristiques. Ils sont adaptés à des besoins différents selon l'altitude ou la vitesse de vol et la masse de l'engin notamment.

Les armes hypervéloces considérées dans ce rapport sont essentiellement les planeurs placés sur leur trajectoire par des moteurs fusées et les missiles aérobies ayant une vitesse au moins égale à Mach 5.

Les missiles balistiques ne sont abordés que sommairement car ils relèvent déjà de la réalité. Pour mémoire, les missiles balistiques intercontinentaux atteignent des vitesses de l'ordre de Mach 20 lors de leur retour dans l'atmosphère. De même, de nombreuses armes de plus courte portée qui atteignent des vitesses supérieures à Mach 5, comme les obus flèche du char Leclerc ou les projectiles tirés par les canons électromagnétiques (*Rails Guns*) en expérimentation aux Etats-Unis, ne sont pas abordées.

### **1.1.2. Les défenses contre les missiles progressent en permanence**

Outre l'amélioration continue des effecteurs<sup>5</sup> et des radars de détection et de poursuite, plusieurs tendances caractérisent l'évolution des systèmes de défense : la diversification des moyens d'alerte, l'intégration et la mise en réseau des moyens, l'émergence de nouveaux paradigmes.

En effet, pour détecter au plus tôt les menaces (et donc disposer de préavis suffisants), mais aussi pour faire face aux menaces furtives, les moyens d'alerte tendent à se diversifier. Ainsi, les radars sol longue portée « classiques » sont ou peuvent être complétés par :

- des satellites d'alerte avancée (détection infrarouge),
- des capteurs aéroportés (AWACS<sup>6</sup>, drone, aérostat),
- des radars d'alerte avancée à très longue portée,
- des radars transhorizon (RTH) permettant d'éclairer la cible « par le dessus »,
- des radars à ondes de surface exploitant la capacité des ondes à se propager sur l'océan,
- des radars passifs qui profitent d'émetteurs d'opportunité (Radio FM/Télévision),
- des radars bande basse travaillant dans la zone de Rayleigh, avec une longueur d'onde supérieure à l'envergure de l'objet. A ces longueurs d'onde, ils ne sont pas sensibles aux formes spécifiques des cibles furtives. Ils permettent de détecter mais n'offrent pas *a priori* une localisation très précise,
- des systèmes radar multi bandes (VHF, L et S),

<sup>5</sup> Par exemple des missiles anti-missiles.

<sup>6</sup> Avions radar.

- des radars mobiles, dont la position ne peut donc être anticipée facilement par les systèmes assaillants.

Parallèlement, pour améliorer leur efficacité et leur couverture, les systèmes de missiles sol-air (SAM) sont mis en réseau dans une architecture de défense intégrée dite IADS<sup>7</sup>. L'architecture globale est constituée d'un ensemble de moyens de surveillance aérienne et d'un ensemble de systèmes d'armes, le tout étant commandé par un même centre de commandement et de contrôle (C3I). Cette mise en réseau permet d'envisager de nouveaux paradigmes d'utilisation des moyens tels que les concepts de « *Launch On Remote* » et d'« *Engage On Remote* »<sup>8</sup>.

Enfin, de nouveaux effecteurs sont mis régulièrement en service, tel le S500, dont les Russes ont annoncé en juin 2014 le premier tir, et qui est sensé pouvoir contrer les missiles les plus récents au moment de son déploiement, attendu en 2016. Les systèmes S400 et S300, disposant d'une efficacité moindre mais réelle, sont quant à eux susceptibles d'être exportés. La Chine réalise également des investissements conséquents dans ses systèmes de défense face à ces menaces émergentes.

L'amélioration continue des capacités défensives face aux missiles impose l'amélioration de la survivabilité des missiles.

### **1.1.3. Les missiles hypervéloces poseraient de sérieux défis aux systèmes de défense antimissile**

Un système de défense antimissile doit être en mesure, dans un temps très réduit, de :

- détecter la menace et l'identifier ;
- déterminer sa trajectoire ;
- décider l'engagement ;
- détruire le missile.

La haute vitesse présente dès lors un certain nombre d'avantages par rapport aux systèmes de défense adverse :

- elle permet de voler à plus haute altitude, ce qui permet d'échapper aux capacités d'interception de bon nombre de systèmes de défense courte ou moyenne portée ;
- elle permet d'envisager des profils de vol de croisière à haute altitude intégrant des changements de trajectoire, que les systèmes de défense auraient du mal à anticiper ;
- elle offre au missile une réserve d'énergie plus importante lors de son retour dans les basses couches de l'atmosphère, ce qui peut lui permettre d'être très manœuvrant dans la phase terminale de son vol. Il faut donc idéalement l'intercepter au moment où il

---

<sup>7</sup> Pour *Integrated Air Defense System*.

<sup>8</sup> Dans le concept de « *Launch On Remote* », l'intercepteur est tiré sur la base d'informations fournies par un système de détection distant. La cible est acquise après tir par le radar de conduite de tir colocalisé avec la batterie. Dans le concept d'« *Engage On Remote* », l'intercepteur est tiré sur la base des informations provenant d'un système de détection distant et guidé par un radar de conduite de tir distant.

- s'est rapproché mais n'a pas encore commencé à manœuvrer, ce qui laisse un créneau temporel restreint et nécessite d'intercepter le missile à grande distance ;
- toutes choses étant égales par ailleurs, elle laisse enfin moins de temps aux systèmes de défense pour les phases de détection et d'engagement.

Une phase de croisière hypervélocité diminue le temps de réaction de la défense. La chaîne d'engagement va donc devoir réagir bien plus rapidement. Un préavis peut être fourni soit par la connaissance du départ d'un missile et de ses caractéristiques essentielles (classe de trajectoire et azimut probable d'arrivée), soit par des radars disposés sur la trajectoire et permettant, seuls ou dans une logique de réseau, d'acquérir suffisamment d'information, dans un temps suffisamment bref, pour permettre à un radar de désignation d'acquérir au plus tôt les éléments nécessaires à la prise de décision et au tir d'un intercepteur. La boucle décisionnelle est également essentielle. Face à une telle arme, un système entièrement automatique semble nécessaire en première approche, ce qui n'est pas nécessairement le choix de tous les pays. Par exemple, la France a pour l'instant toujours privilégié de ne pas écarter l'homme de la boucle décisionnelle.

Toutes ces difficultés peuvent évidemment être augmentées par une attaque multiple, voire saturante, et de la furtivité.

#### **1.1.4. De nombreuses nations travaillent au développement d'armes ou de véhicules hypervélocité**

Même s'il est difficile de disposer de beaucoup de données sur les développements de systèmes hypervélocité et bien qu'il y ait aussi probablement un certain nombre d'effets d'annonce, il ressort qu'outre la France, de nombreuses nations travaillent sur le sujet : principalement les Etats-Unis, la Chine et la Russie.

Il faut cependant préciser que le terme d'hypervélocité ou hypersonique est un terme fréquemment utilisé car porteur, mais qu'il peut être en réalité utilisé pour présenter comme « modernes » des systèmes balistiques relativement anciens auxquels des fonctionnalités de manœuvrabilité terminale ont pu être ajoutées.

**La France** travaille sur la propulsion hypervélocité depuis de nombreuses années, avec des applications visées dans le domaine de la Défense mais aussi dans les transports, le spatial par exemple (lanceurs réutilisables notamment).

La maturité de la France dans ce domaine sera exposée plus loin dans le rapport.

**Les Etats-Unis** ont mis en œuvre des moyens significatifs depuis plus de 10 ans et s'inscrivent dans un concept de frappe globale (PGS), dont le but est de leur fournir la capacité de frapper des cibles n'importe où sur la planète avec une arme conventionnelle en une heure maximum, sans dépendre de forces prépositionnées. Les budgets mis en place sont conséquents et différentes solutions sont étudiées en parallèle.

Les Américains travaillent principalement sur deux approches depuis les années 2000 :

- le planeur hypersonique manœuvrant lancé à partir d'un vecteur balistique, avec les programmes Falcon (DARPA), CSM (Air Force), AHW (Army). Ces programmes affichent l'ambition de parvenir à des démonstrateurs dans les 10 prochaines années, l'AHW étant le plus avancé avec un démonstrateur envisagé à l'horizon 2017 ;
- le missile de croisière hypersonique à propulsion aérobie. Les deux principaux programmes sont le X-43A et le X-51. Même si un missile opérationnel n'est pas encore disponible, l'atteinte de cet objectif dans une dizaine d'années semble accessible, sans doute au prix d'une réduction des ambitions initialement affichées.

**La Chine** conduit semble-t-il des recherches et études substantielles dans les différents domaines de l'hypersonique (planeurs et missiles à statoréacteurs). Si, il y a 10 ans, les publications chinoises n'apportaient pas de grande valeur ajoutée, elles font désormais partie des éléments de référence dans certains domaines. Des moyens d'essais sont par ailleurs en développement, dont des souffleries hypersoniques.

Ces efforts sont en cohérence avec l'ambition affichée de la Chine de disposer à l'horizon 2025 d'un missile de croisière hypersonique opérant dans des gammes de vitesse de l'ordre de Mach 5 – 7 et une portée de quelques milliers de kilomètres. Ces travaux s'inscrivent aussi dans la perspective d'aboutir à un avion hypersonique à l'horizon de 2030.

**La Russie** : les travaux russes dans le domaine de la propulsion supersonique sont anciens. La Russie serait parvenue à faire voler un Scramjet au début des années 1990 (KhloD, utilisation d'hydrogène cryogénique), avec une coupure entre 2000 et 2008 et un redémarrage fort depuis. En 2012, le président Vladimir Poutine a décidé :

- la création d'une agence de recherche et développement (type DARPA) dans le domaine de la Défense ;
- une consolidation industrielle dans les missiles avec la création de TMC<sup>9</sup>, avec une part dédiée au domaine de l'hypersonique et dont l'objectif affiché est de concurrencer les Etats-Unis.

Les études actuelles sont réalisées dans la continuité du missile Brahmos (Zircon-C). Des essais auraient été faits en 2013/2014.

**L'Inde** bénéficie de l'expérience acquise avec les Russes avec le programme de missile anti navire supersonique Brahmos dans les années 1990/2000. L'Inde poursuit les études dans le domaine de l'hypersonique aérobie, toujours en coopération avec la Russie (Brahmos II), avec à la clé des investissements significatifs en moyens.

Elle possède également un missile hypersonique (le Shaurya), capable de réaliser des profils de vols balistiques et/ou des profils de vol de planeur hypersoniques avec manœuvres terminales (portée de plusieurs centaines de km, altitude classe 50 km et vitesse classe Mach 7). L'Inde travaillerait désormais sur un successeur, le K-4, d'une portée de 3 000 km.

---

<sup>9</sup> *Tactical Missiles Corporation*, qui travaille dans les domaines de la propulsion, des matériaux, des charges, ...

### **Les autres acteurs :**

Même si elles ne sont pas sur le même plan en termes d'engagements financiers et/ou de maturité technologique, d'autres nations peuvent également être mentionnées :

- **Le Japon**, avec des études dans le domaine de l'hypervélocité, également portées par le domaine civil et l'ambition de développer un avion de transport hypersonique.
- **L'Allemagne**, qui aurait conduit un test hypersonique (Mach 7) le 27 juin 2012. Il s'agit d'un programme civil.
- **L'Australie**, qui a expérimenté un Scramjet avec succès en juin 2007 (HyShot).
- **Le Brésil**, qui a également un programme de démonstrateur de missile hypersonique à superstatoréacteur (14-X).
- **L'agence spatiale européenne (ESA)**, quant à elle, a réussi le 11 février 2015 l'essai du véhicule de rentrée hypersonique IXV. À vocation purement civile, ce test a montré la maîtrise de nombreux éléments nécessaires à la réalisation d'un planeur hypersonique de portée intercontinentale.

## ***1.2. Ce panorama n'est pas sans conséquence pour la France***

Ce panorama oblige la France, si elle veut préserver sa crédibilité sur la scène internationale, à travailler dans deux domaines principaux : l'amélioration de ses vecteurs et l'amélioration de ses défenses.

### **1.2.1. Les missiles de la prochaine génération devront être plus rapides**

Le 3 novembre 2014<sup>10</sup>, le CEMAA a estimé que, de même que le SR-71 avait en son temps été mis hors d'atteinte de toute défense adverse par sa vitesse, « l'hypervélocité d'un missile sera [...] probablement un élément clé en offrant une allonge accrue mais aussi une capacité de pénétration qui sera particulièrement complexe à interdire en raison non pas de la furtivité mais de la vitesse ». Selon lui : « La maîtrise de l'hypervélocité apparaît d'ores et déjà comme une donnée centrale. J'observe à cet égard qu'aux États-Unis, en Russie, en Chine, en Inde, des programmes expérimentaux de véhicules hypervéloces sont conduits. J'imagine avec peine que la France, pays qui jouit d'une avance incontestable en matière de statoréacteur, reste en marge de ces développements. »

Ainsi, alors qu'il y a plus de 15 ans le débat sur les bénéfices respectifs de la vitesse et de la furtivité a pu conduire à la réalisation d'un missile subsonique furtif, l'accroissement des capacités des systèmes de détection conduit de nombreux experts à considérer que la vitesse deviendra un facteur clé de performances des missiles de frappe dans la profondeur (conventionnel et stratégique).

---

<sup>10</sup> Colloque du 3 novembre 2014 à l'École militaire à Paris : « Les armes hypervéloces sont-elles l'avenir ? »



Pour la France, dans un contexte général où les systèmes de défense adverses deviendront vraisemblablement de plus en plus performants en termes de détection et de suivi des cibles, l'enjeu principal est le maintien de la crédibilité de sa dissuasion.

**R 1 :** Poursuivre les travaux visant à doter les forces aériennes stratégiques de missiles plus rapides, le cas échéant hypervéloces.

Pour continuer de peser sur la scène internationale, la France doit également réfléchir aux différentes solutions lui permettant de disposer de systèmes de missiles sol-sol ou air-sol conventionnels performants face aux futurs systèmes de défense adverses.

**R 2 :** Analyser les options permettant de faire bénéficier les missiles conventionnels de frappe dans la profondeur des travaux relatifs à l'hypervélocité.

Les efforts français portent en premier lieu sur les missiles aérobies. Cependant, le développement d'un planeur hypervélocé, dérivé du véhicule testé par l'ESA en février 2015, pourrait également enrichir la palette des options. Quand bien même cette option ne serait pas retenue, une réflexion est nécessaire pour anticiper les modes d'action ennemis.

**R 3 :** Analyser le besoin et le concept d'emploi d'un planeur hypervélocé militaire.

### **1.2.2. En complément, une approche système d'armes est nécessaire**

Le général Cartwright, commandant de STRATCOM entre 2004 et 2007, rappelait que la capacité de frappe globale inclut beaucoup plus que la seule délivrance d'une arme sur une cible. Il faut à la fois la capacité d'orienter et recueillir rapidement le renseignement, celle de déterminer la cible et les effets militaires à obtenir sur cette cible et celle de planifier rapidement. La plupart des observateurs estiment que les Etats-Unis ont déjà les capacités de renseignement imposées par le concept PGS.

De même, selon le CICDE<sup>11</sup>, la liberté d'action repose sur :

- la qualité du renseignement : précision et sûreté des informations et de leur analyse et permettant également une évaluation des effets des frappes<sup>12</sup> ;
- la performance du processus de ciblage : ciblage générique, d'anticipation et en cours d'action avec un *tempo* soutenu, permettant ainsi la réactivité ;
- la complétude et la cohérence de la chaîne de commandement<sup>13</sup> : décision du niveau politico-militaire, transmissions fiables des ordres et des données, confidentialité, compatibilité avec le processus de planification et permettant la réversibilité ;
- la crédibilité du système dans la durée : adaptation aux évolutions du contexte géopolitique, amélioration de sa réactivité globale et des « qualités intrinsèques des

<sup>11</sup> Réflexion doctrinale du centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations (CICDE) n° 67/DEF/CICDE/NP du 31 mars 2010 : « emploi des missiles de croisière ».

<sup>12</sup> Dans les champs physique et informationnel.

<sup>13</sup> Depuis le niveau décisionnel jusqu'au niveau tactique de tir.

missiles et porteurs en termes d'allonge, de diversité des charges et de souplesse d'emploi ».

En première analyse, la mise en œuvre d'un missile hypervélocé ne devrait pas modifier les moyens mis en place pour satisfaire ces critères, mais il convient de s'en assurer.

**R 4 :** S'assurer que la mise en œuvre d'un missile hypervélocé ne nécessite pas d'évolution de nos systèmes de renseignement et de commandement.

### **1.2.3. Une évolution des systèmes de défense français sera probablement nécessaire à long terme**

A un horizon de 15 à 20 ans, un nombre limité de grandes puissances peuvent prétendre se doter de ce type d'armements (Etats-Unis, Chine, France, Russie voire Inde). Les risques de prolifération n'apparaîtront qu'ultérieurement. Ainsi, à long terme et de façon symétrique à la problématique de l'acquisition de ces capacités offensives, la question de la capacité de nos propres systèmes de défense à répondre à une future menace hypervélocé étrangère se pose.

Les systèmes de défense antimissile français (SAMP/T pour l'armée de terre, SAAM pour le porte-avions *Charles de Gaulle*, PAAMS pour les frégates Horizon, tous étant à base de missile ASTER) ont été dimensionnés pour réagir à certaines classes de menaces aériennes, excluant *a priori* les missiles hypervélocés. Il semble que ce soit aussi le cas pour la génération actuelle de systèmes de défense étrangers. Le missile hypervélocé étant susceptible de constituer un point faible des défenses anti-missile, il est important de déterminer les capacités de nos systèmes de défense actuels en la matière.

**R 5 :** Analyser l'efficacité du système ASTER vis-à-vis de la menace hypervélocé.

Il faut pour cela caractériser au mieux la menace. Cela implique un effort en matière de renseignement et d'études technico-opérationnelles.

**R 6 :** Etudier la menace que représente le missile hypervélocé aérobie ou le planeur hypervélocé afin de déterminer les systèmes de défense adaptés.

Plus généralement, le domaine des armes hypervélocés et des systèmes permettant de s'en défendre est en évolution constante. Les besoins de la fonction connaissance-anticipation dans ce domaine vont très au-delà de l'analyse ayant mené au présent rapport, largement fondée sur des sources ouvertes. Les capacités des services de renseignement français doivent donc être mises à contribution. L'inscription de ces domaines d'intérêt dans le plan national d'orientation du renseignement (PNOR) permettrait de mieux prioriser nos efforts.

**R 7 :** Introduire la veille sur les armes hypervélocés et des systèmes permettant de s'en défendre dans le plan national d'orientation du renseignement (PNOR).

Le LBDSN de 2013<sup>14</sup> abordait en ces termes la défense contre les missiles balistiques : « Conformément à la déclaration du Sommet de Chicago du 20 mai 2012, la France participe, dans le cadre de l'Organisation du traité de l'Atlantique nord (OTAN), au programme de développement commun d'un système de commandement visant à coordonner les moyens concourants à la défense contre les missiles balistiques. Cette capacité, purement défensive, ne saurait se substituer à la dissuasion. Sous un strict contrôle politique et au terme d'un effort raisonnable et partagé avec nos alliés, elle pourra, contre une menace balistique limitée, jouer un rôle complémentaire. À cet égard, la France considère comme une priorité la défense antimissile de théâtre et l'alerte avancée. Elle entend favoriser l'implication de l'industrie européenne dans ce projet. »

C'est donc dans ce cadre OTAN qu'il paraît nécessaire d'envisager les évolutions des systèmes de défense anti-missile qui permettraient de répondre aux menaces du type missiles hypervéloces de frappe dans la profondeur. Ainsi, un élément important est le centre de commandement dédié à la mise en œuvre de l'ACCS<sup>15</sup> qui se met en place pour la défense aérienne et la sûreté aérienne. Ce centre est le point de départ approprié pour la coordination de la défense contre les missiles de croisière. Il faut cependant aussi développer des systèmes de détection et d'interception adaptés, si possible en coopération avec les pays de l'Alliance. Ce sont sans doute là que se situent les plus grandes marges de progrès. Ces facteurs conditionnent en effet les marges laissées à l'effecteur une fois que celui-ci est en vol. Ils déterminent donc au moins autant les chances de réussite de l'interception que les qualités intrinsèques du missile intercepteur.

**R 8 :** Faire intégrer les spécificités de la menace hypervélocité aérobie dans les travaux de l'OTAN portés par la DAMB sur les dispositifs d'alerte avancée, sur l'élargissement de la bulle de détection, et sur la performance de la boucle de décision, notamment l'ACCS.

Il faut noter que depuis une quinzaine d'années, l'OTAN porte ses efforts sur la défense anti-missile balistique. Les missiles de croisière ne sont pas apparus jusqu'à aujourd'hui comme une menace justifiant des actions spécifiques de défense autres que celles mises en place dans le cadre de la défense aérienne. Pourtant, la prolifération des missiles de croisière (à la fois subsoniques et supersoniques) est aujourd'hui une réalité et leurs performances progressent constamment.

**R 9 :** Prendre garde à ce que l'attention portée à la lutte contre les missiles balistique et peut-être à terme contre les missiles hypervélocité ne conduise pas à négliger les missiles de croisière non hypervélocité, qui ne cessent de progresser et restent une menace.

Il pourrait également être opportun de conduire des recherches sur des moyens d'interception alternatifs, comme les lasers ou les armes à effet dirigé, qui présenteraient l'avantage « d'annuler » quasiment la durée de l'interception d'un engin hypervélocité par l'effecteur. Il

<sup>14</sup> Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale - page 79.

<sup>15</sup> *Air Command and Control System* – Système de commandement et de contrôle aérien développé par l'OTAN.

faut cependant noter que ces armes sont très loin d'offrir de telles capacités à l'heure actuelle et qu'une mise en œuvre opérationnelle contre des missiles paraît peu crédible à ce stade.

**R 10 :** A plus long terme, poursuivre l'étude de l'utilisation de modes d'interception alternatifs (type laser) aux systèmes de défense « classiques » face à ce type de menace au cas où les missiles hypervéloces dépasseraient les capacités dynamiques des missiles anti-missiles.

## **2. Les missiles hypervéloces aérobies en France : de l'ambitieux défi de R&T à la réalisation industrielle**

Forte des briques technologiques acquises ces 20 dernières années dans le domaine de l'hypervélocité aérobie, la France figure aujourd'hui en bonne place sur la scène mondiale. Ce chapitre propose une synthèse des défis techniques et des activités en cours, devant permettre de lever les risques principaux et envisager un développement.

### ***2.1. Les défis techniques sont nombreux et divers***

L'hypervélocité dans le domaine aérobie nécessite de relever un certain nombre de défis, dont :

- la propulsion : le moteur et son intégration dans un missile (compacité), le bilan aéropulsif (prévision, méthode) ;
- les conditions d'environnement (thermique, vibration) à des vitesses élevées ;
- les senseurs et les chaînes de navigation, guidage et pilotage (temps de réaction, traitements, constante de temps de guidage...) ;
- le respect des contraintes d'intégration aux porteurs, entraînant des exigences de compacité globale du missile ;
- les logiques et moyens de validation, couplant moyens d'essais (au sol et en vol) et simulations.

#### **2.1.1. La propulsion**

Le système de propulsion est bien entendu la technologie clé de ce type de système d'armes hypervélocité aérobie.

##### ***La maîtrise du bilan aéropulsif***

Pour un système propulsif aérobie, la poussée nette disponible pour accélérer le porteur résulte de la différence entre la poussée en sortie de tuyère (résultant de la combustion) et la traînée générée lors de la capture du flux d'air par l'entrée d'air.

La précision de prédiction de la performance de poussée en sortie tuyère est donc de toute première importance. En effet, à Mach 8, une erreur de 5 % sur la performance de poussée en sortie de tuyère conduit mécaniquement à une perte de 35 % sur la poussée nette. La maîtrise de l'intégration du moteur dans le véhicule est également très importante, en raison du couplage entre la cellule et le système propulsif.

Les moyens de validation (moyens d'essais et/ou simulation) sont de ce fait de première importance et souvent spécifiques.

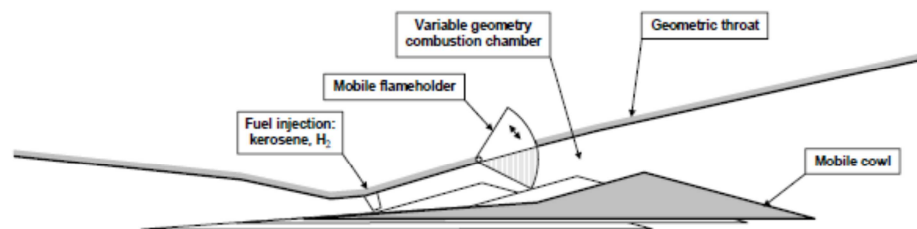
### ***La température dans la chambre de combustion***

Le refroidissement actif de la chambre de combustion est essentiel pour les applications hypervéloces à la fois pour garantir l'intégrité structurale de cette chambre de combustion, et pour améliorer le processus de mélange et de combustion : il constitue un enjeu essentiel pour la durée et la portée du vol.

### ***La chambre de combustion à géométrie variable du statomixte***

La France excelle dans le domaine de la compacité des systèmes de propulsion haute vitesse, répondant ainsi aux exigences de compatibilité avec les porteurs de type Rafale. Dans le cadre hypersonique, la France travaille sur le concept de statomixte permettant d'opérer dans une plage de Mach couvrant les domaines supersonique et hypersonique. Ce concept permet en effet d'éviter le recours à un accélérateur lourd et volumineux capable de faire passer le missile de la vitesse de largage à celle nécessaire à l'allumage d'un superstatoréacteur.

Un statomixte nécessite l'emploi d'une chambre de combustion à géométrie variable, qui permet notamment de gérer la transition autour de Mach 5/6 (passage d'une combustion subsonique à une combustion supersonique).



### **2.1.2. Les conditions d'environnement**

Le tableau suivant donne une indication de la température totale de l'air pour différents Mach (altitudes dans la tranche 20 000/35 000 m).

Mach 5	1 500 °K
Mach 6	1 650 °K
Mach 12	4 950 °K

Le vol hypersonique présente donc un enjeu pour la tenue des matériaux aux températures élevées, à la fois dans la chambre de combustion, mais également pour les revêtements externes et les architectures mécaniques permettant de protéger les équipements du missile, notamment dans un encombrement contraint.

Les environnements vibratoires doivent aussi être pris en compte et caractérisés au plus tôt dans le développement afin d'être intégrés dans les études d'architecture mécanique.

### **2.1.3. Les senseurs, la chaîne de navigation, guidage et pilotage et la chaîne pyrotechnique**

Les environnements (mécaniques, thermiques) seront un enjeu technique pour les senseurs, par ailleurs soumis à des exigences de compacité fortes.

L'augmentation de la vitesse constituera par ailleurs un enjeu pour les senseurs de détection à bord du missile. En effet, toutes choses égales par ailleurs, une vitesse plus élevée devrait nécessiter de détecter les cibles à plus grande distance, surtout si les missiles doivent atteindre des cibles mobiles<sup>16</sup> et ne peuvent donc être tirés uniquement sur coordonnées. Les augmentations significatives des capacités de calcul prévisionnelles dans les années à venir devraient à l'inverse faciliter l'implémentation des algorithmes temps réel.

La haute vitesse terminale pose par ailleurs des difficultés en matière pyrotechnique. La chaîne de mise à feu de la charge militaire doit en effet pouvoir déclencher l'explosion dans un délai très court.

Lorsque le domaine prévisionnel de Mach sera affiné, il faudra donc mener les études détaillées nécessaires sur l'ensemble des chaînes fonctionnelles du missile et senseurs associés compte-tenu des problématiques spécifiques liées à la haute vitesse.

### **2.1.4. Les logiques et moyens de validation**

La logique de validation sera construite autour :

- de moyens de simulation ;
- de moyens d'essais au sol (en particulier souffleries et moyens d'essais de combustion) ;
- de moyens d'essais en vol.

Comme pour tous les développements récents, une optimisation de la chaîne globale de validation devra être recherchée afin de réduire le nombre d'essais (notamment en vol).

#### ***Les moyens de simulation***

La simulation couvre un large spectre :

- l'analyse physique de la plateforme. La simulation numérique doit porter à la fois sur l'aérodynamique du vecteur complet, sur la zone arrière (couplage entre la cellule et la propulsion) et sur le fonctionnement de la chambre de combustion et le modèle de combustion (au sens phénoménologique) ;
- des études systèmes ciblées sur des points sensibles particuliers, comme l'étude de l'intégration et de la séparation avec le porteur ;  
les études technico-opérationnelles permettant d'évaluer l'efficacité du système dans le contexte global. Elles peuvent prendre la forme d'études de duels (traitant de l'affrontement entre un missile hypervélocé et un missile intercepteur). De façon

---

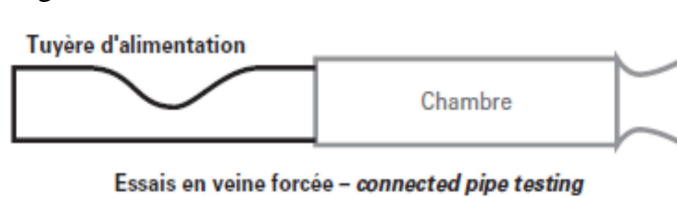
<sup>16</sup> Par exemple un porte-avions pour un missile hypervélocé conventionnel.

encore plus générale, elles doivent aussi permettre d'évaluer les capacités de pénétration du système face à une menace intégrée de type IADS.

### ***Les moyens d'essai au sol***

Trois types de moyens d'essais au sol sont nécessaires pour le développement d'un missile hypervélocé :

- Un banc moteur, permettant de valider la combustion (veine forcée) : l'office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA) dispose à ce jour d'un banc (ATD5), issu des études PREPHA ; tandis que MBDA dispose du banc METHYLE. Ce moyen a été développé dans un cadre général d'études sur l'hypervélocité et dans le cadre du développement de la région Centre.

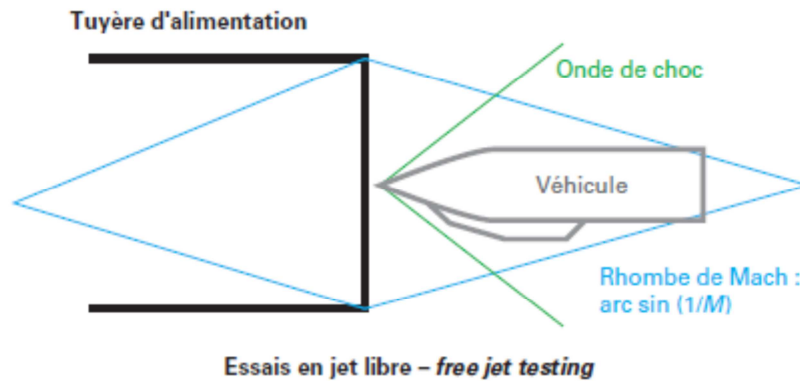


**Banc METHYLE**

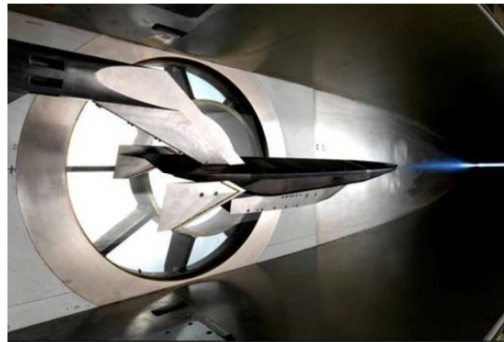
- Un moyen d'essais propulsion, avec la chambre de combustion mais aussi l'entrée d'air et l'avant corps du missile : à ce jour, un moyen d'essai jet libre « air pur », dérivé de la soufflerie S4 Modane, est utilisé. De son côté, MBDA étudie la possibilité pour la préparation du futur développement de mettre en place un moyen d'essais Jet Libre « air vicié »<sup>17</sup>, en complétant l'installation déjà existante à Bourges. Dans les deux cas, il est nécessaire de pouvoir utiliser le moyen d'essais dans un domaine de similitudes cohérent avec le domaine de Mach envisagé pour le missile.

<sup>17</sup> Il s'agit d'un air mélangé à des résidus de la combustion nécessaire pour réchauffer l'air injecté dans la soufflerie jusqu'à la température caractéristique du vol.





- Une soufflerie aérodynamique opérant dans le domaine de Mach considéré pour le missile hypervélocé. Selon le domaine de Mach visé, des évolutions seront nécessaires sur les souffleries existantes à l'ONERA/Modane. Il faut noter les investissements massifs et l'avance prise dans ce domaine par les Etats-Unis et la Chine.



**Soufflerie de l'ONERA**

Ces moyens sont suffisants pour les études en cours mais ne permettent pas d'explorer la totalité du domaine de fonctionnement prévisionnel du missile hypervélocé.

**R 11 :** Dans la perspective d'un développement, définir une stratégie cohérente entre l'État, les centres de recherche (ONERA) et les industriels en ce qui concerne les investissements en moyens d'essais dans le domaine de l'hypervélocité.

Cette stratégie devra prendre en compte les acquis et moyens déjà disponibles, les besoins requis pour le développement d'un missile hypervélocé, les opportunités d'utiliser ces moyens pour d'autres applications et l'efficacité industrielle.

## *Les moyens d'essais en vol*

L'hypervélocité telle que considérée dans les concepts actuels ne remet pas en cause la possibilité d'utiliser les moyens d'essais en vol disponibles en France dans le cadre d'un développement.

Des adaptations seront bien entendu nécessaires, par exemple sur les moyens de trajectographie, comme pour tout développement mais ne présentent *a priori* pas de risques particuliers.

Les vols d'essai nécessiteront cependant le placement du missile à une vitesse adaptée, par un moyen à déterminer. La France ne possède pas actuellement de moyen adapté. Il faudra donc soit en développer un, soit faire appel à des moyens étrangers.

### **2.1.5. La capacité de pénétration ou survivabilité**

La vitesse n'est pas le seul paramètre à prendre en compte car un système d'armes est toujours le résultat d'un ensemble de compromis.

La survivabilité est considérée comme étant la capacité à déjouer les défenses auxquelles le système (missile, avion, drone) sera confronté. Cette capacité est plus ou moins élevée en fonction des systèmes de défense déployés par l'adversaire et de la possibilité de combiner ou non plusieurs fonctions (vitesse, furtivité, manœuvrabilité, altitude, contre-mesures, leurrage, altitude, choix tactiques, etc.)<sup>18</sup>.

Des études technico-opérationnelles menées en France par l'ONERA, les industriels et la DGA pourraient permettre de disposer de résultats d'études mettant en exergue la performance de survivabilité sur des scénarios donnés en faisant jouer différents paramètres.

**R 12 :** Réaliser les études technico-opérationnelles en considérant l'ensemble des paramètres concourant à la survivabilité : vitesse, furtivité, altitude, manœuvrabilité, etc.

---

<sup>18</sup> Un comité créé en 2006 portant sur les besoins de l'US Air Force en matière de survivabilité à l'horizon 2018 a étudié diverses combinaisons de vitesse, furtivité, connaissance de la situation tactique, contre-mesures et choix tactiques. Il en conclut que les meilleures combinaisons, identiques contre les missiles air-sol, les intercepteurs et les systèmes de défense intégrés sont une forte furtivité aux vitesses subsoniques et une furtivité modérée aux vitesses proches de l'hypersonique. Parallèlement, il notait que ni l'US Air Force, ni l'industrie américaine n'avaient suffisamment étudié l'impact de la combinaison de la vitesse et de la furtivité vis-à-vis des menaces futures de missiles sol-air et d'intercepteurs, notamment sur la performance de leurs capteurs.

### 2.1.6. L'adaptation au porteur

Les caractéristiques physiques du missile considéré (dimensions et masse entre autres) doivent être compatibles avec le porteur. Dans l'absolu, plusieurs types de porteur peuvent être envisagés : Rafale<sup>19</sup> (version actuelle ou issue d'une rénovation), drone de combat, MRTT (avion ravitailleur), A400M, ou autre porteur non encore lancé.

Pour juger de la pertinence de ces options théoriques trois autres dimensions devront impérativement être étudiées :

- le concept d'emploi : organisation des forces (complémentarité des composantes sous-marine et aéroportée, visibilité et effet démonstratif), organisation du raid (préparation des forces, composition des « raids », vulnérabilité des porteurs, contrôle gouvernemental), distance à laquelle on veut pouvoir tirer (recherche d'une portée augmentée (survol de pays tiers) ou d'un préavis aussi court que possible pour les défenses adverses), situation tactique et de menaces, probabilité de réussite de la mission, adaptabilité des forces opérationnelles face à la situation tactique du moment ;
- le format des forces qui en résulte (parc machine, ressources humaines) ;
- le coût global de possession (acquisition, mise en œuvre et entretien).

S'agissant du missile, les principaux critères physiques identifiés sont :

- l'encombrement, la masse, le centrage du missile, la trainée ;
- la vitesse minimale et maximale du porteur au moment du tir ;
- les conditions de tir (séparation du vecteur ou aéro largage) ;
- la vitesse du missile (vol de croisière et phase terminale) ;
- la portée du missile tiré (en tenant compte de la phase terminale).

**Un missile supersonique à statoréacteur** atteignant des vitesses situées à la limite haute du domaine de fonctionnement de ce type de propulsion et à la limite basse de l'hypersonique (inférieur à Mach 5) s'inscrirait dans la continuité des configurations actuelles et serait compatible avec l'emport sous chasseur type Rafale

**Un missile hypersonique à superstatoréacteur** ne pouvant fonctionner qu'à partir d'un nombre de Mach élevé (supérieur à 5), nécessite un accélérateur de grande dimension. La taille du missile qui en résulte ne permettrait pas son emport sur un chasseur de type Rafale. Seule l'hypothèse d'un porteur lourd est envisageable dans ce cas.

L'intégration sur un porteur lourd existant nécessiterait en particulier :

- d'intégrer ce type d'emport dans la structure du porteur considéré ;
- de réaliser des études et tests aéromécaniques ;

---

<sup>19</sup> Compte tenu des hypothèses de production actuelles, les derniers avions Rafale pourraient être livrés vers 2030 avec une durée de vie supérieure à vingt ans. Avec le retrait du Mirage 2000, sauf développements d'ici là, le Rafale sera le seul vecteur capable d'emporter l'arme nucléaire.

- de développer une architecture matérielle et logicielle pour l'installation de tir et la conduite de tir compatible avec les exigences spécifiques en cas d'application pour la dissuasion.

**Un missile hypersonique à statomixte** présente l'intérêt, comme déjà abordé précédemment, de pouvoir, dans un gabarit compact, opérer dans un domaine de Mach couvrant le supersonique et l'hypersonique. Cette capacité permet d'envisager un accélérateur réduit et d'accroître la capacité d'allonge du missile à encombrement donné. Cette configuration autoriserait un emport sous Rafale.

Les paramètres de vitesse et d'altitude au moment du tir imposent le dimensionnement de l'accélérateur qui amène le missile dans son domaine de fonctionnement. Un largage en supersonique pourrait permettre de réduire la taille de cet accélérateur et de disposer d'une allonge supplémentaire du missile. Les contraintes globales sur l'avion et les performances système (avion et missile) doivent encore être analysées en détail.

**R 13 :** Evaluer l'intérêt d'un tir du missile en supersonique sur la configuration et les capacités d'allonge de ce dernier à gabarit donné, en le pondérant par rapport aux contraintes sur la mise en œuvre avion et les capacités de pénétration de l'ensemble avion et missile.

**R 14 :** Evaluer les portées, vitesse et temps de parcours des différentes options de porteur et intégrer ces estimations à une étude du système global.

## ***2.2. La France est dans le peloton de tête***

Durant les 15 à 20 dernières années, la France a investi significativement dans le domaine de l'hypersonique aérobie, à travers des programmes d'études technologiques en collaboration, parmi lesquels :

- PREPHA, programme national articulé autour du ministère de la recherche, la direction générale de l'armement (DGA) et le centre national d'études spatiales (CNES), ayant permis de mettre en place les premiers moyens de calcul et bancs d'essais. Le concept d'entrées d'air à surface de captation variable couplée à un super statoréacteur a été étudié, sans donner réelle satisfaction dans une plage de Mach étendue ;
- JAPHAR, programme de recherche mené par l'ONERA conjointement avec son homologue allemand, le DLR<sup>20</sup>. Ce programme avait pour objectif de poursuivre les études technologiques PREPHA sous 2 axes :
  - o le concept de superstatoréacteur à hydrogène, capable d'opérer dans la plage Mach 4 – Mach 8,
  - o la méthodologie de démonstration de bilan aéro-propulsif ;

<sup>20</sup> Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt : centre aérospatial allemand.

- des initiatives de collaboration avec la Russie, suite à la chute du mur de Berlin, dans le domaine des statoréacteurs et superstatoréacteurs : collaboration avec le MAI (*Moscow Aviation Institute*) et l'ITAM (*Institute of Theoretical and Applied Mechanics*), autour du thème des géométries d'entrée d'air variables et de la propulsion hypervélocité utilisant du kérosène et de l'hydrogène. Cette collaboration a permis d'accélérer la montée en maturité.

Depuis une dizaine d'années, MBDA et l'ONERA travaillent en coopération sur le thème de l'hypervélocité, deux voies principales étant étudiées :

- la voie de l'hypersonique avec en particulier l'utilisation d'un statomixte. Cette technologie présente l'avantage de pouvoir être utilisée dans une large plage de Mach, permettant de repousser les choix quant au point de fonctionnement visé dans l'attente d'une meilleure compréhension de la menace sur la scène mondiale et d'un affinement de la maturité technologique ;
  - la voie du haut supersonique, configuration complétée par des éléments de furtivité et venant dans la continuité des études MARS réalisées dans le passé.
- Dans cette configuration, le Mach maximal serait de 4 à 5,5, ce qui est la limite haute de cette technologie.

**R 15 :** Conserver une gamme de vitesses atteignables la plus large possible (du haut supersonique à l'hypersonique), permettant ainsi de murir le besoin et conforter les choix en fonction de la maturité des technologies et des résultats des études technico opérationnelles.

### ***2.3. Les ambitions françaises s'inscrivent dans une trajectoire financière et industrielle soutenable***

Une logique programmatique a été définie, consistant à :

- passer les étapes permettant de valider les technologies et leur application possible à un missile hypervélocité aérobie. Les deux points principaux à valider sont la prédictibilité du bilan aéro-propulsif et la démonstration technologique du concept de statoréacteur ;
- atteindre un niveau de maturité permettant le lancement d'un développement (TRL<sup>21</sup> 6), en validant l'utilisation de ces technologies dans un démonstrateur technologique de vol et par la réalisation d'essais en vol ;
- un développement, une mise en série et la production.

La logique d'études et de démonstrateurs en cours représente à ce stade un effort financier soutenable compte-tenu des acquis de la France dans le domaine (compétences, moyens, tissu industriel, ...), et cohérent en comparaison des bénéfices capacitaires qui peuvent en résulter. Une discontinuité, voire une rupture, serait préjudiciable car elle conduirait à réinvestir ultérieurement des sommes beaucoup plus importantes pour redémarrer ou simplement à ne

---

<sup>21</sup> *Technical Readiness Level.*

plus être en mesure de développer ce type de systèmes d'armes dans des coûts « classique » pour un missile complexe.

**R 16 :** Maintenir l'effort dans ce domaine de très haute technologie pour ne pas perdre les acquis et pouvoir envisager un développement dans des coûts maîtrisés.

Compte tenu des coûts prévisibles de développement, il pourrait être intéressant de partager les efforts de R&D avec certains partenaires, dans les limites permises par la préservation de nos intérêts spécifiques, à l'image de ce qui a été fait pour HEXAFLY (cf. ci-après).

**R 17 :** Analyser les possibilités et conséquences de coopérations dans le domaine hypersonique (briques, moyens de développement ou d'essais, etc.).

#### ***2.4. Le tissu industriel, entre recherche, grands groupes et PME, est bien organisé et apte à satisfaire cette ambition***

La maîtrise de l'intégration dans le vecteur est une des clés pour garantir le bilan propulsif, développer une architecture thermo-mécanique compatible avec le profil de vol, optimiser les choix et les compromis (dimensionnements structuraux, éléments de furtivité). Elle requiert une synergie entre les moyens industriels privés et les moyens étatiques, dans la continuité des développements passés. Ainsi, à titre d'exemple :

- l'ONERA apporte son expertise, ses moyens de recherche et les passerelles entre le domaine militaire et civil ;
- MBDA apporte son expertise industrielle au sens large et son expérience dans le domaine des statoréacteurs, ainsi qu'une expérience de systémier ;
- MBDA s'appuie aujourd'hui sur le tissu local des petites et moyennes entreprises (PME) pour un certain nombre de réalisations matérielles ;
- par ailleurs, l'université d'Orléans a réalisé des travaux sur le sujet.

Les travaux de recherche sur l'hypervélocité sont réalisés en maîtrise d'œuvre conjointe MBDA/ONERA, puis MBDA en assurera la maîtrise d'œuvre dans les phases de développement produit.

MBDA et l'ONERA partagent les résultats des études en cours, ce qui permet aux experts de croiser leurs points de vue, et de converger plus vite et avec moins de risques sur une solution technique.

Ils ont également partagé les activités d'études technico opérationnelles pour les simulations d'oppositions entre missiles et systèmes de défense (« duels »), les scénarios ayant été validés par la DGA. Ces études de pénétration permettent de faire des analyses comparatives des différentes configurations combinant vitesse et furtivité.

Ce travail collaboratif offre également des opportunités de convergence sur des outils. Par exemple, le logiciel de simulation CEDRE, développé par l'ONERA, et aujourd'hui utilisé par MBDA.

## ***2.5. Une dualité civilo-militaire existe dans ce domaine***

Les résultats techniques obtenus par les programmes militaires trouvent fréquemment des applications dans le domaine civil. C'est particulièrement vrai dans l'aéronautique et l'astronautique. Un statoréacteur permettant d'atteindre des vitesses hypersoniques pourrait ainsi par exemple propulser jusqu'à la haute atmosphère un système spatial réutilisable.

L'Union européenne a par exemple mis en place le projet HEXAFLY (pour *High Speed Experimental Fly Vehicule – International*), d'une durée initiale de 5 ans (avril 2014 à mars 2019) et d'un montant de 11,5 M€. Ce projet coordonné par la France vise à créer une plateforme interdisciplinaire destinée à intégrer et tester les technologies innovantes susceptibles d'aboutir à un moyen de transport hypervélocé (Mach 7 à 8 en croisière). Ces technologies sont regroupées selon six axes :

- les concepts de véhicules à haute vitesse ;
- l'aérodynamique des hautes vitesses ;
- la propulsion ;
- les matériaux et structures ;
- les commandes de vol ;
- l'impact environnemental.

Les défis techniques à surmonter sont très semblables à ceux rencontrés sur les missiles aérobies hypervélocés.

Déjà, du milieu des années 1980 au milieu des années 1990, l'Aérospatiale et Dassault Aviation avaient réalisé sous contrat CNES puis ESA des travaux de conception et de développement d'outils et de technologies pour la navette spatiale *Hermès* dont la trajectoire de rentrée couvre tout le domaine de l'hypersonique. Ce savoir-faire a été entretenu par Dassault Aviation, ce qui lui a permis de contribuer aux travaux de définition des formes externes du véhicule expérimental IXV de l'ESA.

L'ESA a fait voler l'IXV le 11 février 2015, pour accroître la maîtrise de la rentrée atmosphérique planée depuis l'orbite terrestre. Le programme a été évalué à 150 M€ sans le lanceur (Véga). Il s'agissait de tester les matériaux et formes nécessaires à un retour hypersonique, les commandes de vols adaptées à ce type de vol et la validité des modèles de simulation. Le véhicule a décollé de Kourou et a atterri dans le Pacifique après un vol de 1 h 39, dont 15 minutes (et 7 500 km) de vol hypersonique. Un nouveau vol est envisagé en 2019 avec un atterrissage au sol et non en mer.

Un successeur (PRIDE) pourrait ensuite conduire à la production d'un véhicule équivalent au X-37B américain. Il s'agit d'un programme exclusivement civil. Cependant, les capacités démontrées sont celles nécessaires à la réalisation d'un missile fondé sur le concept du planeur hypersonique.

Dans ces domaines, les technologies et capacités de recherche et industrielles sont donc par essence duales. Sans remettre en cause la spécificité et la confidentialité qui leurs sont attachées, les efforts consentis pour la modernisation de la dissuasion pourraient donc s'avérer

à terme essentiels au maintien de notre autonomie d'accès à l'espace et au rôle de nos industries en la matière.



### 3. Les enjeux politiques et stratégiques liés à l'émergence des systèmes d'armes hypersoniques

#### 3.1. L'hypersonique ouvre des perspectives opérationnelles nouvelles

Deux perspectives sont à l'origine de l'attrait des missiles hypersoniques :

- la capacité de frapper des cibles n'importe où sur la planète avec une arme conventionnelle en une heure maximum, sans dépendre de forces prépositionnées. C'est le *Prompt Global Strike* (PGS) américain ;
- l'excellente survivabilité conférée par l'hypervélocité vis-à-vis des défenses adverses.

Le besoin d'une capacité de frappe rapide à longue distance, ou globale, a été évoqué dans les rapports de revues quadriennales (Quadriennial Defense Review (QDR) Reports) de 2001, 2006 et 2010. Celui de 2001 notait que la stratégie de défense US reposait sur l'hypothèse que les forces américaines détenaient la capacité de se projeter sur toute la planète. En 2006, le rapport s'est étendu sur le besoin PGS, précisant qu'il donnerait aux Etats-Unis la capacité d'attaquer des cibles fixes, durcies et profondément enterrées, ou mobiles, avec une précision améliorée, rapidement et n'importe où dans le monde sur ordre du président des Etats-Unis. En 2010, le rapport notait également que des capacités de frappe à longue distance permettraient de s'affranchir des menaces croissantes pesant sur les forces et bases déployées assurant les capacités de projection des Etats-Unis. On parle aussi désormais de stratégie Anti-Acces – Area-Denial (AA-AD).

Bien que la capacité à détruire des cibles profondément enterrées fasse débat, une arme hypervéloce de longue portée présente l'avantage pour l'attaquant de pouvoir frapper n'importe quel objectif fixe<sup>22</sup> sur la planète sans projection de moyens de frappe. Par ailleurs, un planeur hypervéloce peut, sous certaines conditions, choisir des trajectoires évitant le survol de larges zones ou pays en fonction de contraintes diplomatiques ou militaires.

Pour les experts chinois, un tel système permettrait aux américains de frapper les sites de lancement de missiles à longue portée, les centres de commandement militaires, les capacités C2, les dirigeants nationaux, les installations nucléaires, les installations de production des armes nucléaires, les entrepôts de stockage de matériels et matières nucléaires, les personnalités de haute valeur, les lanceurs de missiles mobiles, les camps d'entraînement terroristes, les usines, les soutiens financiers du terrorisme international, les programmes de développement d'armes de destruction massive et, enfin, les Etats anti-américains ou qualifiés de « voyous ». La Chine s'inquiète donc de ce que grâce à ces armes les Etats-Unis pourraient

---

<sup>22</sup> Frapper un objectif mobile requiert une capacité de guidage terminale, qui impose de surmonter des défis techniques supplémentaires. Le vecteur doit en effet pouvoir communiquer et/ou repositionner précisément la cible dans un temps très contraint alors que sa structure est soumise à de très hautes températures. Ainsi, le DF-21D chinois, présenté comme un antinavire balistique ayant pour principal objet l'interdiction de zone et vise à empêcher l'intervention des Etats-Unis dans les espaces maritimes sous souveraineté ou revendiqués par la Chine, devra-t-il encore démontrer sa capacité de frappe conventionnelle contre un mobile marin. Le problème serait évidemment différent avec une charge nucléaire.

rapidement, discrètement et précisément décapiter ses arsenaux conventionnels et nucléaires, ou ses centres de commandement.

Sans nécessairement aller jusqu'à Mach 8, le passage à une vitesse hypersonique (Mach 5+) aérobique augmenterait très significativement la survivabilité de missiles d'attaque dans la profondeur contre les défenses antiaériennes adverses actuelles. Il est très probable qu'une attaque multiple par de tels vecteurs resterait efficace pour de nombreuses décennies. Un missile hypersonique serait donc non seulement utile pour une arme nucléaire, mais pourrait aussi servir de moyen complémentaire à la dissuasion, destiné à augmenter la pénétration des armes nucléaires, par sa capacité à viser les défenses anti-missiles balistiques (DAMB) adverses.

Les armes développées par les Etats-Unis peuvent s'inscrire dans cette logique plutôt que dans celle du PGS. En effet, si le vol d'essai de l'ATW, en novembre 2011, a été un succès, permettant au planeur hypersonique de parcourir une distance de 3 860 km, ce rayon d'action réduit impose un pré-positionnement.

### ***3.2. L'apparition de ces armes constituera(it) un fait stratégique majeur***

Certains, tel le CEMAA français, considèrent que l'avantage opérationnel conféré par la possession de la capacité hypersonique sera tel qu'il y aura, comme pour le nucléaire, les Etats dotés et les Etats non dotés.

De même, pour les experts chinois, l'arrivée de la capacité PGS, une fois surmontées les difficultés techniques, va modifier les termes de l'équilibre stratégique. Ces « armes conventionnelles stratégiques » seraient même l'avenir de la guerre. En effet, la Chine considère qu'à terme, les armes ayant une capacité PGS pourraient devenir une menace plus réelle et menaçante que les armes nucléaires. De même, Timothy A Walton, consultant américain, estime que le Wu-14 est une menace sérieuse et croissante sur la liberté de manœuvre des armées américaines dans la région Asie-Pacifique et que l'ATW devrait en conséquence être déployé rapidement, si possible dans un délai de 5 ans (2019), pour rétablir l'équilibre dans la région.

Enfin, indépendamment de la mise en place effective ou non d'un système tel que le PGS, la capacité de projeter des missiles hypersoniques de moyenne portée, que ce soit sous aéronef ou embarqués dans des sous-marins ou des bâtiments de surface, donne à la menace une dimension globale.

Certains envisagent d'ailleurs les missiles hypervéloces comme des armes susceptibles de constituer une alternative aux armes nucléaires, dans le contexte de la quête globale pour l'élimination des armes nucléaires.

En effet, si l'ATW, planeur hypersonique, élément clé du PGS américain, est parfois présenté comme une arme conventionnelle destinée à traiter principalement une zone de stockage ou de développement d'armes de destruction massive qui aurait été découverte et devrait être rapidement frappée, la Nuclear Posture Review de 2010 aux Etats-Unis a conduit les Chinois à penser que le couple PGS/DAMB pourrait remplacer à la fois les armes nucléaires et la dissuasion nucléaire. Ils estiment que l'enjeu pour les Etats-Unis consiste à conduire une

transition d'une force stratégique nucléaire à une force stratégique conventionnelle. Cette inquiétude est partagée par certains Russes, pour qui la constitution d'un système intégré utilisant le C4ISR, la DAMB et le PGS pourrait aller jusqu'à rendre quasi-obsolète les armes stratégiques des autres nations, y compris leurs armes nucléaires.

### ***3.3. L'émergence de telles armes n'est pas exempte de risques***

L'émergence des armes hypersoniques fait naître ou accroît plusieurs risques spécifiques :

- le risque de méprise résultant de l'incertitude entre charge nucléaire et conventionnelle ;
- le risque d'une nouvelle course aux armements ;
- le risque d'une escalade militaire ;
- le risque d'une frappe nucléaire en préalable à ou en réponse à une attaque conventionnelle.

En premier lieu, les Etats-Unis voient l'arme hypervélocé comme une arme conventionnelle et réservent le balistique au nucléaire. La France quant à elle s'interdit d'utiliser un vecteur de la dissuasion avec une charge conventionnelle<sup>23</sup>. La Chine et la Russie maintiennent pour leur part une ambiguïté sur la nature nucléaire ou conventionnelle de leurs vecteurs. Par exemple, selon le renseignement américain, le WU-14 chinois emportera des charges nucléaires et, peut-être, des armes conventionnelles antinavires de longue portée. Enfin, pour les pays émergents (donc *a priori* non dotés), le balistique est une option financièrement et techniquement accessible et évidemment conventionnelle. Les visions sur le caractère nucléaire ou conventionnel d'une arme hypervélocé sont donc très diverses.

L'incertitude entre charge nucléaire et conventionnelle pourrait engendrer une méprise à la fois sur la nature de la frappe mais aussi, pour les armes globales (PGS), sur l'identité de cette cible. En effet, un missile tiré des Etats-Unis transportant une charge conventionnelle vers une cible en Asie ou le Moyen-Orient ne pourrait au début de son vol être distingué d'un missile nucléaire visant la Chine ou la Russie<sup>24</sup>. L'une des caractéristiques des planeurs hypersoniques hautement manœuvrant et, dans une certaine limite, des missiles hypersoniques est la difficulté de savoir où ils vont frapper, ce qui peut pousser un pays voisin de la trajectoire à réagir de manière inattendue. Ce risque est renforcé par les délais réduits imposés aux décideurs par de tels systèmes.

---

<sup>23</sup> L'EMA rappelle en effet que :

- l'échec, dans un contexte conventionnel, du tir d'une arme en dotation dans les forces nucléaires pourrait faire peser un doute sur les capacités opérationnelles des forces stratégiques ;
- son emploi pourrait révéler les performances précises d'un système utilisé par la dissuasion ;
- son examen par l'adversaire après emploi pourrait révéler ses caractéristiques techniques, voire faciliter son interception future après étude fine de sa furtivité, de ses contremesures et de son électronique embarquée.

<sup>24</sup> L'un des moyens de diminuer ce risque est de placer le missile sur une trajectoire parfois dite « dépréciée » ayant une apogée beaucoup plus basse. Cela repose toutefois sur l'hypothèse que les pays sur la trajectoire disposent de moyens de détection, de poursuite et d'analyse performants.

L'existence d'armes capables de détruire sans préavis les moyens de dissuasion pourrait relancer une course aux armements. Multiplier et disperser les sites sont en effet des moyens de diminuer la vulnérabilité globale vis-à-vis d'une frappe surprise. Au-delà, la course vers l'hypersonique constitue en soi une forme de course aux armements. Nous l'avons vu, la réussite d'un test de planeur hypersonique chinois le 9 janvier 2014 aiguillonne les Etats-Unis et légitime les travaux notamment sur l'ATW. Le développement du PGS est quant à lui l'un des principaux aiguillons aux recherches chinoises en la matière.

De ce point de vue, il n'existe aucun outil de droit international qui permette de limiter utilement le déploiement de ces systèmes. Or, en raison de l'impossibilité de distinguer un lanceur d'engin hypervélocité nucléaire du même lanceur équipé d'une arme conventionnelle, cette dernière catégorie devrait être incluse dans le comptage imposé par les traités en vigueur. Lors des négociations du nouveau traité START de 2010, les Etats-Unis ont accepté ce principe, non parce qu'ils approuvaient les préoccupations russes au sujet du potentiel anti-missile de ces armes, mais parce qu'il est impossible de savoir si un missile converti en arme conventionnelle n'a pas été rééquipé d'une arme nucléaire. Les règles de comptage du traité s'appliqueront donc si le missile choisi place l'arme sur la trajectoire suivie par un missile balistique nucléaire.

L'existence de ces armes accroît la probabilité d'un conflit armé, amplification de même nature que celle entre l'Union soviétique et les Etats-Unis avant la mise en place concrète du traité garantissant la destruction mutuelle en cas d'attaque nucléaire. En effet, en situation de tension internationale et face au risque de voir des infrastructures de défense ou des armements essentiels neutralisés sans préavis (PGS) et sans capacité réelle de défense (hypervélocité), des Etats pourraient être contraints d'utiliser leur armement sans laisser toutes ses chances à la diplomatie. Ce risque est amplifié par l'existence d'armes hypervélocité conventionnelles. En effet, selon certains Chinois, de telles armes [conventionnelles] seraient intrinsèquement déstabilisantes car perçues comme ayant un seuil d'usage inférieur à celui du nucléaire. Ils estiment en effet que le seuil d'emploi abaissé, ou « lowered threshold », de ces armes rend possible une action préemptive, qui pourrait en retour conduire à une escalade conventionnelle ou nucléaire.

Enfin, le risque existe d'une frappe nucléaire préalable à ou en réponse à une attaque conventionnelle. Face à une attaque conventionnelle réussie ou en cours, les Russes ou les Chinois pourraient recourir à leurs armes nucléaires faute de disposer d'un autre moyen d'atteindre les Etats-Unis. Du reste, ces derniers ont affirmé qu'ils se réservaient le droit de faire de même en cas d'attaque cybernétique de grande ampleur. Ainsi, selon le vice-Premier ministre russe Dmitry Rogozin, en décembre 2013 : « ceux qui expérimentent des armes stratégiques non nucléaires devraient se souvenir que si [la Russie] est attaquée, elle utiliserait sans aucun doute ses armes nucléaires dans certaines situations pour défendre [son] territoire et [ses] intérêts en tant qu'État ». De même, la Chine pourrait revenir sur sa politique de non emploi en premier (NFU) pour pouvoir apporter une réponse nucléaire à une attaque conventionnelle de cette nature. Cette révision de la politique chinoise conduirait à utiliser comme point d'analyse non la nature de l'attaque mais son intention.

### ***3.4. L'acceptabilité sociétale de ces armes reste à démontrer***

Les armes hypervéloces ne sont en réalité que des missiles plus performants, qu'il s'agisse de doter les missiles balistiques intercontinentaux de capacités de manœuvre terminales améliorées (planeurs) ou d'accroître l'altitude, la portée et surtout la vitesse des missiles de croisière aérobie. En ce sens, elles ne posent pas de problème moral ou éthique nouveau, et le grand public n'a pas de raison particulière de les traiter différemment des armes actuelles.

Cependant, nous l'avons vu, les armes hypervéloces, en abaissant le seuil d'emploi d'un système offensif à vocation stratégique, en relançant la course aux armements ou en acculant une puissance nucléaire à une frappe préemptive, peuvent avoir un effet déstabilisant. L'une de ces conséquences, si elle venait à se matérialiser et était médiatisée, pourrait donc amener une remise en cause de leur acceptabilité sociétale.

Par exemple, la destruction d'une installation vitale étrangère ou l'élimination d'un responsable étranger par un missile intercontinental tiré depuis le territoire des Etats-Unis pourraient susciter dans une partie de l'opinion publique un rejet supérieur à celui provoqué par les frappes de drones. A l'heure actuelle, à l'exception des zones de conflit, seule la guerre nucléaire – très hypothétique – menace directement la vie des citoyens. Il en irait différemment avec une capacité de frappe globale conventionnelle. La simple prise de conscience de cette capacité pourrait donc susciter la peur et servir de catalyseur à un sentiment défavorable à la puissance dotée.

Inversement, ces armes hypervéloces conventionnelles pourraient être présentées comme des substitutifs possibles (à très long terme) aux armes nucléaires. Même si cette perspective reste peu crédible, l'opinion publique occidentale pourrait à ce titre leur être marginalement positive.

Enfin, si l'expérimentation IXV de l'Union européenne (UE) peut être extrapolée, même en appliquant une correction pour tenir compte de l'effet de série, le coût du tir d'un planeur hypervélocé restera de l'ordre de la centaine de millions d'euros. Leur utilisation ne peut donc être raisonnablement envisagée que contre des cibles dont la haute valeur aura été démontrée. Même dans ce cas, l'emploi d'une arme aussi couteuse à des fins conventionnelles peut susciter des polémiques.

### ***3.5. La France pourrait promouvoir (prudemment) une évolution du droit international***

Le droit international ne dit actuellement rien de l'hypervélocité. La vitesse, contrairement à la portée ou à la capacité d'emport n'est pas un critère de contrôle des armements.

Face aux risques précédemment évoqués, la France pourrait avoir intérêt à promouvoir une évolution des traités en vue d'interdire certaines armes hypersoniques, notamment celles susceptibles de provoquer une rupture stratégique telle que les armes conventionnelles hypervéloces à très longue portée. Le sujet doit être pris en compte le plus en amont possible.

Les travaux français actuels et prévisibles ne portent pas sur des missiles conventionnels hypervéloces intercontinentaux. Sous réserve que cette orientation soit pérenne, il pourrait être intéressant de rechercher leur limitation.

**R 18 :** Travailler dès à présent à la prise en compte par les traités de maîtrise des armements des armes conventionnelles hypervéloces à très longue portée.

Cependant, une telle action doit obligatoirement être précédée :

- d'une définition précise des catégories, afin de bien caractériser les enjeux ;
- d'une explicitation (spécial France) de nos intérêts en la matière, afin de ne pas compromettre la crédibilité future, donc l'adaptabilité, de notre dissuasion, de ne pas contraindre plus que nous ne le voudrions nos futures capacités conventionnelles, et de ne pas gêner le développement de notre BITD.

**R 19 :** Définir rapidement une ligne rouge permettant de s'assurer que nos intérêts en matière stratégique et de BITD ne seront pas affectés par d'éventuelles normes internationales relatives aux armes hypervéloces.

Elle doit être accompagnée :

- d'une veille sur les capacités adverses et leurs perspectives de court, moyen et long terme, et sur leurs implications pour notre propre sécurité ;
- d'une vérification de la faisabilité matérielle et politique d'un contrôle de ces armements, faisabilité dans l'absolu et faisabilité pour la France. Il serait en effet inopportun de se laisser contraindre par un instrument dont nous n'aurions pas les moyens de vérifier l'application réciproque par nos adversaires potentiels ;
- d'une vérification qu'une telle démarche ne risquerait pas d'être instrumentalisée par nos adversaires à notre détriment ;
- d'une vérification que l'existence d'un instrument de droit international public portant sur ce type d'armes servirait effectivement les intérêts de la France compte tenu des conséquences des précédents points.

Dans l'attente de l'émergence éventuelle d'un cadre juridique international, l'adoption de mesures de confiance permettrait de réduire certains risques et de gagner en maturité sur le sujet.

**R 20 :** Rechercher l'adoption de mesures de confiance permettant de réduire l'incertitude résultant de caractère potentiellement dual (conventionnel ou nucléaire) des armes hypervéloces à très longue portée :

- définir la catégorie des engins hypervéloces, en veillant à ce qu'elle préserve nos intérêts ;
- éviter la colocalisation des engins hypersoniques conventionnels nucléaires ;
- adopter un système de pré-notifications de lancements.

Il faut noter, en marge de ces problématiques, que certains missiles intercepteurs d'engins hypervéloces ou de missiles balistiques pourraient eux-mêmes entrer dans certaines catégories de missiles soumis à des restrictions, en raison de leur portée. C'est sans doute le cas des S500 russes. Par ailleurs, un projet de code de conduite relatif aux activités extra-atmosphériques, visant à prohiber le recours à la force contre des engins spatiaux ou des manœuvres dangereuses, est en cours de discussion.



## Conclusion

Finalement, les armes hypervéloces placent la France dans une situation proche de celle induite par le nucléaire : il apparaît essentiel d'être doté de cette capacité militaire mais il faut en parallèle tenter de contenir autant que possible son effet déstabilisant.

A ce titre, les principaux enjeux apparaissent clairement. Il s'agit de :

- préserver la crédibilité de nos forces aériennes stratégiques dans la longue durée ;
- préserver notre liberté et capacité d'action vis-à-vis des systèmes de défense adverses ;
- préserver notre rang politico-stratégique sur la scène internationale ;
- ne pas perdre l'acquis résultant du développement de l'ASMP et de l'ASMP-A, tant sur les plans scientifiques qu'industriels.

Par ailleurs, le développement de cette capacité peut avoir des retombées positives de très long terme sur la place de la recherche et des industries françaises dans des secteurs stratégiques tels que l'accès à l'espace ou le transport rapide de passagers.

Les risques sont réels (nouvelle course aux armements, abaissement du seuil d'emploi d'armes stratégiques bien que conventionnelles, une frappe nucléaire préemptive) mais ne sont pas selon nous de nature à devoir nous faire renoncer à la fabrication ou à la possession de telles armes.

Dans ce contexte, nos recommandations visent quatre axes principaux :

- poursuivre l'effort de recherche et de développement, donc l'effort humain et financier, jusqu'à faire de l'hypervélocité une réalité militaire opérationnelle en France à un horizon de 15 à 20 ans ;
- avoir une vision « système » du sujet, en travaillant sur l'environnement technico-opérationnel du missile et en ne se focalisant pas excessivement sur la seule vitesse ;
- à plus long terme et par rapport au risque de prolifération future de cette nouvelle arme, faire évoluer nos systèmes de défense de manière adaptée ;
- mener une manœuvre diplomatique adaptée à nos intérêts et aux enjeux planétaires.

Les missiles hypervéloces apparaissent donc d'ores et déjà comme une réalité en termes de besoin militaire et de faisabilité technique. Ils seront probablement en service dans 10 à 20 ans chez les grandes puissances militaires.

\*\*\*



## Rappel des recommandations, par grandes thématiques

**Poursuivre l'effort de recherche et de développement, donc l'effort humain et financier, jusqu'à faire de l'hypervélocité une réalité militaire opérationnelle en France à un horizon de 15 à 20 ans.**

**R 16 :** Maintenir l'effort dans ce domaine de très haute technologie pour ne pas perdre les acquis et pouvoir envisager un développement dans des coûts maîtrisés.

**R 1 :** Poursuivre les travaux visant à doter les forces aériennes stratégiques de missiles plus rapides, le cas échéant hypervéloces.

**R 2 :** Analyser les options permettant de faire bénéficier les missiles conventionnels de frappe dans la profondeur des travaux relatifs à l'hypervélocité.

**R 11 :** Dans la perspective d'un développement, définir une stratégie cohérente entre l'État, les centres de recherche (ONERA) et les industriels en ce qui concerne les investissements en moyens d'essais dans le domaine de l'hypervélocité.

**R 15 :** Conserver une gamme de vitesses atteignables la plus large possible (du haut supersonique à l'hypersonique), permettant ainsi de murir le besoin et conforter les choix en fonction de la maturité des technologies et des résultats des études technico opérationnelles.

**R 17 :** Analyser les possibilités et conséquences de coopérations dans le domaine hypersonique (briques, moyens de développement ou d'essais, etc.).

**Avoir une vision « système » du sujet, en travaillant sur l'environnement technico-opérationnel du missile et en ne se focalisant pas excessivement sur la seule vitesse.**

**R 4 :** S'assurer que la mise en œuvre d'un missile hypervéloc ne nécessite pas d'évolution de nos systèmes de renseignement et de commandement.

**R 12 :** Réaliser les études technico-opérationnelles en considérant l'ensemble des paramètres concourant à la survivabilité : vitesse, furtivité, altitude, manœuvrabilité, etc.

**R 13 :** Evaluer l'intérêt d'un tir du missile en supersonique sur la configuration et les capacités d'allonge de ce dernier à gabarit donné, en le pondérant par rapport aux contraintes sur la mise en œuvre avion et les capacités de pénétration de l'ensemble avion et missile.

**R 14 :** Evaluer les portées, vitesse et temps de parcours des différentes options de porteur et intégrer ces estimations à une étude du système global.

**R 3** : Analyser le besoin et le concept d'emploi d'un planeur hypervéloce militaire.

**A plus long terme et par rapport au risque de prolifération future de cette nouvelle arme, faire évoluer nos systèmes de défense de manière adaptée.**

**R 5** : Analyser l'efficacité du système ASTER vis-à-vis de la menace hypervéloce.

**R 6** : Etudier la menace que représente le missile hypervéloce aérobie ou le planeur hypervéloce afin de déterminer les systèmes de défense adaptés.

**R 8** : Faire intégrer les spécificités de la menace hypervéloce aérobie dans les travaux de l'OTAN portés par la DAMB sur les dispositifs d'alerte avancée, sur l'élargissement de la bulle de détection, et sur la performance de la boucle de décision, notamment l'ACCS.

**R 9** : Prendre garde à ce que l'attention portée à la lutte contre les missiles balistique et peut-être à terme contre les missiles hypervéloques ne conduise pas à négliger les missiles de croisière non hypervéloques, qui ne cessent de progresser et restent une menace.

**R 10** : A plus long terme, poursuivre l'étude de l'utilisation de modes d'interception alternatifs (type laser) aux systèmes de défense « classiques » face à ce type de menace au cas où les missiles hypervéloques dépasseraient les capacités dynamiques des missiles anti-missiles.

**Mener une action diplomatique adaptée à nos intérêts et aux enjeux planétaires.**

**R 7** : Introduire la veille sur les armes hypervéloques et des systèmes permettant de s'en défendre dans le plan national d'orientation du renseignement (PNOR).

**R 18** : Travailler dès à présent à la prise en compte par les traités de maîtrise des armements des armes conventionnelles hypervéloques à très longue portée.

**R 19** : Définir rapidement une ligne rouge permettant de s'assurer que nos intérêts en matière stratégique et de BITD ne seront pas affectés par d'éventuelles normes internationales relatives aux armes hypervéloques.

**R 20** : Rechercher l'adoption de mesures de confiance permettant de réduire l'incertitude résultant de caractère potentiellement dual (conventionnel ou nucléaire) des armes hypervéloques à très longue portée :

- définir la catégorie des engins hypervéloques, en veillant à ce qu'elle préserve nos intérêts ;
- éviter la colocalisation des engins hypersoniques conventionnels nucléaires ;
- adopter un système de pré-notifications de lancements.

## Glossaire

ACCS	:	<i>Air Command and Control System</i>
ASMP	:	Missile air-sol moyenne portée des forces aériennes stratégiques
ASMP-A	:	ASMP amélioré
ATW	:	Programme de planeur hypersonique de l'armée de terre américaine
AWACS	:	<i>Airborne Warning and Control System</i>
BITD	:	Base industrielle et technologique de défense
C2	:	<i>Command and Control</i>
C3I	:	<i>Command, Control, Communication and Intelligence</i>
C4ISR	:	<i>Command, Control, Communication, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance</i>
CEIS	:	Compagnie européenne d'intelligence stratégique
CEMAA	:	Chef d'état-major de l'armée de l'air
CICDE	:	Centre interarmées de concepts, de doctrine et d'expérimentation
CNES	:	Centre national d'études spatiales
COCA	:	Cohérence capacitaire
DAMB	:	Défense anti-missiles balistiques
DARPA	:	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DGA	:	Direction générale de l'armement
DGRIS	:	Direction générale des relations internationales et de la stratégie
DLR	:	<i>Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt</i> allemand
DOD	:	<i>Department of Defense</i> américain
EMA	:	État-major des armées
EMAA	:	État-major de l'armée de l'air
EMM	:	État-major de la marine nationale
ESA	:	<i>European Space Agency</i>
IADS	:	<i>Integrated Air Defense System</i>
IHEDN	:	Institut des hautes études de la défense nationale
LBDSN	:	Livre blanc sur la défense et la sécurité nationale
MBDA	:	Société européenne spécialisée dans les missiles
MRTT	:	<i>Multi Role Tanker Transport</i>
NFU	:	<i>No First Use</i>
ONERA	:	Office national d'études et de recherches aérospatiales
OTAN	:	Organisation du traité de l'Atlantique nord

PGS	:	<i>Prompt Global Strike</i>
PME	:	Petite et moyenne entreprise
PNOR	:	Plan national d'orientation du renseignement
R&D	:	Recherche et développement
RTH	:	Radar transhorizon
SAM	:	<i>Surface to Air Missile</i>
SPSA	:	Service de préparation des systèmes futurs et de l'architecture de la DGA
START	:	<i>Strategic Arms Reduction Treaty</i>
STRATCOM	:	<i>Strategic Command</i> américain
TRL	:	<i>Technology Readiness Level</i>
UE	:	Union européenne

## **Liste des organismes rencontrés**

### **Ministère de la défense**

EMA/COCA

EMA/CICDE

EMM

EMAA

DGA/HORUS

DGA/SPSA

DGRIS

### **Ministère des affaires étrangères et du développement international**

**ONERA**

**MBDA**

**GATTEFIN**

**CEIS**

## Principaux éléments bibliographiques

Déclaration du président de la République du 19 février 2015 à Istres.

Etats du colloque du 3 novembre 2014 à l'Ecole militaire à Paris : « les armes hypervéloces sont-elles l'avenir ? ».

Rapport du congrès des Etats-Unis d'Amérique – « *Conventional Prompt Global Strike And Long-Range Ballistic Missiles : Background and Issues* » – 26 août 2014 – Amy F. Woolf.

Travaux universitaires :

Thèse – Université d'Orléans – « Etude et mesure de paramètres pertinents dans un écoulement réactif » – Nicolas Gascoin

Thèse – Ecole nationale des mines de Paris – « Commande d'un véhicule hypersonique à propulsion aérobie : modélisation et synthèse » – François Poulain

Dossier des techniques de l'ingénieur : « Statoréacteur – Propulsion aérobie » – Marc Bouchez

CICDE – Réflexions doctrinales

L'emploi des missiles de croisière : RDIA (réflexion doctrinale interarmées) 2010/001 n° 67/DEF/CICDE/NP du 31 mars 2010.

Le concept de dissuasion : éléments constitutifs de la doctrine française n° 196/DEF/CICDE/SEC-CENT/NP du 18 novembre 2013.

Le concept d'emploi des forces : PIA 00-100 du 11 janvier 2010.

L'entrée en premier : RDIA-2014/002 n° 85/DEF/CICDE/NP du 01 avril 2014.