



L'érosion continue de l'ordre nucléaire mondial
Emmanuelle Maitre

1



Augmentation des dépenses de défense en Europe :
du discours à la réalité budgétaire
Julien Malizard

5



Le budget de défense des États-Unis pour 2024 :
poursuite d'une trajectoire ambitieuse sous contrainte
Nicole Vilboux

11



L'Armée de l'Air et de l'Espace et l'aviation civile
face aux conséquences du changement climatique
Samuel Eveno, Alexandre Taithe

16



Crise énergétique : quels enjeux pour l'Allemagne ?
Annabelle Livet

29



Les ailes du futur : le développement des capacités
aériennes du Japon
Valérie Niquet

38



La marche indienne vers l'indigénisation
Gilles Boquérat

43



Le *wargaming* en France : une méthodologie en devenir
Thibault Fouillet

47

FONDATION
pour la RECHERCHE
STRATÉGIQUE

Rédacteur en chef de la revue *Défense & Industries*

Hélène Masson, maître de recherche, pôle Défense & Industries

h.masson@frstrategie.org

Équipe de rédaction

Marie-France Lathuile, ingénieure de recherche en information

Fabien Herbert, chargé de communication numérique

www.frstrategie.org



L'érosion continue de l'ordre nucléaire mondial

Les multiples dimensions nucléaires de la guerre en Ukraine

La guerre en Ukraine présente depuis un an plusieurs dimensions nucléaires, certaines marginales, d'autres beaucoup plus structurantes. Une lecture de ce conflit semble s'imposer : grâce à son arsenal nucléaire, la Russie peut conduire une invasion brutale d'un État souverain, en contradiction manifeste des règles de droit international. Côté occidental, le statut de puissance nucléaire de la Russie limite vraisemblablement les possibilités de s'engager dans la défense de l'Ukraine. Ainsi, au début du conflit, le président Biden a clairement indiqué qu'il n'y aurait pas d'envoi de forces en soutien à l'Ukraine, et a adopté un ensemble de mesures censées limiter les risques d'escalade du conflit ou d'accentuation des tensions. Il a, par exemple, pris la décision de reporter puis d'annuler un essai de missile intercontinental prévu en mars 2022.

Les menaces nucléaires russes ne dissuadent visiblement pas l'OTAN d'envoyer des capacités militaires de plus en plus sophistiquées à l'Ukraine, de transmettre des informations militaires cruciales et d'adopter des sanctions sévères à l'égard de la Russie. La Russie empêche clairement l'OTAN d'envisager une intervention plus directe, et conduit une politique de « sanctuarisation agressive »¹. Cela se traduit par une modification brutale du *statu quo*, en l'espèce une annexion territoriale par la force, qui est ensuite placée sous la protection des forces nucléaires. Pour les États nucléaires occidentaux, cette politique est une forme de perversion de la dissuasion nucléaire, qui devrait être strictement défensive. C'est en tout cas ce qu'ils ont indiqué à de multiples reprises depuis le début du conflit². C'est néanmoins ce à quoi se livre la Russie en marge de la guerre en Ukraine, avec une rhétorique particulièrement agressive.

En effet, dès le début de l'invasion, Vladimir Poutine entend avertir les pays occidentaux des risques d'escalade liés à leur soutien à l'Ukraine. Ainsi, le 24 février 2022, il déclare « *peu importe qui tente de se mettre en travers de notre chemin ou, a fortiori, de créer des menaces pour notre pays et notre*

peuple, ils doivent savoir que la Russie répondra immédiatement, et les conséquences seront telles que vous n'en avez jamais vues dans toute votre histoire. Quelle que soit la façon dont les événements se déroulent, nous sommes prêts »³. Ces propos sont largement interprétés comme une menace nucléaire implicite, d'autant que le Président russe précise quelques semaines plus tard : « *Laissez-moi le dire une fois encore : quiconque aurait l'intention d'interférer depuis l'extérieur en suscitant une menace stratégique inacceptable pour la Russie doit savoir que nos frappes de rétorsion seraient rapides comme l'éclair. Nous disposons des moyens appropriés, des moyens dont personne d'autre ne dispose. Ce ne sont pas des rodomontades : nous les utiliserons si nécessaire. Et je veux que chacun le sache ; toutes les décisions ont été prises à ce sujet* »⁴.

Ces déclarations incendiaires s'accompagnent, au début de la guerre, de références à la mise en alerte des forces nucléaires, à des essais de missiles et à des exercices largement médiatisés des forces stratégiques. A partir de septembre 2022, de nouvelles déclarations agressives se multiplient à tous les échelons du pouvoir russe⁵. Si les analystes occidentaux n'observent pas de signe alarmant de préparation d'emploi des forces nucléaires, cette rhétorique agressive suscite une anxiété en Europe et aux États-Unis sur les risques d'emploi d'une arme nucléaire « tactique » par la Russie, que ce soit en Ukraine ou sur le reste du continent européen⁶.

Il est impossible d'établir avec certitude la stratégie poursuivie par Moscou au travers de ces menaces nucléaires en tout genre. Néanmoins, plusieurs objectifs sont possibles. La Russie pourrait chercher à manipuler la crainte d'une guerre nucléaire pour faire pression sur les opinions publiques occidentales. Au niveau politique interne, le recours systématique au discours nucléaire pourrait viser à « dramatiser les enjeux » et à affermir la mobilisation et le soutien de la population russe à son gouvernement. En outre, la mise en avant des capacités destructives des forces nucléaires pourrait masquer les revers subis par les forces conventionnelles engagées sur le terrain en Ukraine⁷.

Au-delà de l'aspect de coercition nucléaire, trois autres dimensions nucléaires de ce conflit peuvent être signalées : le risque d'accident nucléaire, la question du déploiement d'armes nucléaires au Belarus et, enfin, les accusations infondées de prolifération à l'encontre de Kiev⁸. Premièrement, la Russie n'hésite pas à jouer sur le risque d'accident nucléaire, en ciblant délibérément la centrale nucléaire de Zaporizhzhia, puis en prenant en otage son équipe technique. Deuxièmement, le seul allié officiel de Moscou dans ce conflit, le Belarus, manifeste son intérêt pour accueillir des armes nucléaires russes sur son territoire. En février 2022, le pays procède à une révision de sa Constitution, qui interdisait auparavant ce type de déploiement⁹. Lors de rencontres bilatérales, en août 2022, Alexandre Loukachenko indique avoir fait modifier ses chasseurs-bombardiers pour permettre l'emport d'armes nucléaires¹⁰. Un mois plus tard, Vladimir Poutine indiquait que les infrastructures biélorusses seraient prêtes à héberger des armes nucléaires à compter de juillet 2023. Si ce transfert d'armes pourrait s'avérer plus compliqué qu'annoncé par les autorités, le fait de l'évoquer constitue déjà, en soit, un signal négatif pour la sécurité européenne. En effet, lors de l'effondrement de l'URSS, Minsk avait rétrocédé les armes nucléaires soviétiques stationnées sur son territoire. Enfin, il faut signaler que, côté russe, les hostilités sont justifiées, entre autres, par l'accusation (complètement infondée) portée contre Kiev d'une intention de se lancer dans un programme nucléaire ou radiologique militaire, avec le soutien de l'OTAN¹¹.

L'invasion russe de l'Ukraine comprend donc plusieurs dimensions nucléaires et, en cela, a des retombées sur le fonctionnement de l'ordre nucléaire mondial. L'histoire singulière de l'Ukraine joue un rôle symbolique à ce niveau, mais c'est surtout la détérioration spectaculaire des relations entre l'Occident de manière large et la Russie qui entrave les efforts de régulation de la compétition nucléaire.

Guerre en Ukraine et pressions sur l'ordre nucléaire mondial

Comme le Belarus et le Kazakhstan, l'Ukraine faisait partie des républiques soviétiques sur le territoire desquelles des armes nucléaires étaient stationnées au moment de la dissolution de l'URSS. En 1992, la nouvelle république indépendante doit se pencher sur le sort réservé à cet arsenal nucléaire. Pour des raisons de nature stratégique, politique, opérationnelle, militaire ou encore budgétaire, les dirigeants ukrainiens acceptent de le rétrocéder à la Fédération de Russie et de signer le Traité sur la non-prolifération (TNP) en 1994 en tant qu'État non-doté d'armes nucléaires (ENDAN). En contrepartie, le « mémorandum de Budapest » est signé la même année par Moscou ainsi que les autres puissances nucléaires occidentales, garantissant notamment l'intégrité territoriale de l'Ukraine.

Or, en 2014, l'annexion de la Crimée constitue une violation manifeste de cet engagement multilatéral par la Russie. L'incapacité de l'Ukraine et de la communauté internationale de prévenir l'atteinte à l'intégrité territoriale du pays signale qu'un État non-nucléaire reste vulnérable face à une agression menée par une puissance nucléaire. L'agression frontale de 2022 vient renforcer la perception que la sécurité d'un

ENDAN reste fondamentalement conditionnée au bon vouloir des États dotés de l'arme nucléaire (EDAN). D'autres pays ayant renoncé à l'arme nucléaire, de leur plein gré ou sous la contrainte et dans d'autres circonstances, ont eux aussi subi des agressions et ont vu à la suite leur régime renversé (Irak en 2003 et Libye en 2011). Des États comme la Corée du Nord (voire l'Iran) en tirent *de facto* la conclusion de la grande vulnérabilité d'un État ayant accepté de se débarrasser de ses capacités nucléaires. Si cette lecture peut être discutée sur le fond, elle se répand et, avec elle, se trouvent remis en cause les principes qui sous-tendent le régime de non-prolifération international. Rappelons que depuis les années 1960, une large partie de la communauté internationale s'est rangée derrière l'opinion selon laquelle la sécurité internationale augmente si une très large majorité d'États renoncent à disposer de l'arme nucléaire. Cet argument apparaît de plus en plus contesté, en particulier depuis l'invasion russe de l'Ukraine, plus généralement en raison des difficultés majeures auxquelles se trouve confronté le régime de non-prolifération et de désarmement dans son ensemble.

Cette crise vient donc ébranler les mécanismes de régulation adoptés depuis plus de cinquante ans et destinés à réduire le risque de guerre nucléaire.

Au niveau bilatéral, Vladimir Poutine résume crûment la situation en février 2023 en indiquant qu'il est soit « hypocrite », soit « stupide » d'imaginer que le conflit pourrait ne pas déborder sur l'architecture de maîtrise des armements encadrant les arsenaux nucléaires de la Russie et des États-Unis¹². Ces propos sont tenus lors de l'annonce de la suspension par Moscou du Traité New Start, un accord bilatéral qui impose des limites quantitatives sur les arsenaux nucléaires stratégiques des deux pays et qui prévoit un régime de notifications réciproques et de vérification. Poutine indique que la Russie continuera de respecter les plafonds prévus par New Start (700 vecteurs et 1550 têtes nucléaires déployées au maximum). Cependant, étant donné que Washington souhaite imposer une « défaite stratégique » à la Russie, toute forme de coopération en matière de maîtrise des armements est hors de propos. La suspension du Traité New Start n'est que le dernier épisode en date d'une longue liste de mesures abrogées, violées ou tombées en désuétude dans le domaine de la maîtrise des armements. Il s'inscrit à la suite de la disparition du Traité sur les forces nucléaires à portée intermédiaire (FNI)¹³ en 2019 ou encore du retrait américain, puis russe, du Traité Ciel Ouvert¹⁴, respectivement en 2020 et 2021. Si les traités juridiquement contraignants pâtissent ainsi de la situation sécuritaire en Europe, la communication entre les États-Unis et l'OTAN, essentielle pour limiter les risques d'escalade, semble également mise à mal, avec une interruption *sine die* du dialogue stratégique entre Moscou et Washington suite à l'invasion de l'Ukraine, dialogue qui avait été réinstauré en 2021.

Au niveau multilatéral, les forums de discussion et les organes de régulation de l'ordre nucléaire mondial souffrent de ce contexte dégradé. L'exemple le plus marquant est celui du régime du TNP. En août 2022, lors de la 10^{ème} conférence d'examen du Traité, la guerre en Ukraine affecte l'ensemble des débats. Les États s'opposent sur la sécurité nucléaire en

raison de l'occupation de la centrale de Zaporizhzhia mais aussi sur l'absence de progrès dans le domaine du désarmement. L'ensemble des discussions est marqué par de très vifs échanges visant pour certains États à dénoncer la stratégie de coercition nucléaire russe, et pour la Russie, à se défendre de ces accusations. Dans ce contexte, Moscou décide de rompre le consensus sur le document final négocié pendant la conférence, portant l'échec de cette dernière. Cet événement reflète les tensions fortes qui s'observent dans d'autres forums multilatéraux consacrés à la non-prolifération et au désarmement. Dans ce contexte, il devient pratiquement impossible de progresser dans ces domaines et d'adopter des mesures appropriées pour prévenir les risques futurs de prolifération, limiter les risques associés au déploiement d'armes nucléaires ou mettre en œuvre les obligations de désarmement, en particulier lorsque la règle du consensus s'applique.

Cette situation de blocage, initiée et entretenue par la Russie, vient alimenter les contestations plus globales de l'ordre nucléaire mondial. Beaucoup d'États jugent en effet que l'architecture actuelle, paralysée par les tensions entre EDAN, n'est plus en mesure de gérer le risque posé par les armes nucléaires. La polarisation grandit donc entre les États qui voient dans la crise actuelle la preuve que la dissuasion nucléaire est un jeu trop risqué qui menace à court terme la survie de l'humanité et ceux qui l'interprètent comme témoignant du caractère stabilisateur de la dissuasion.

Des interprétations contradictoires du rôle du nucléaire

Suite à la fin de la guerre froide, des progrès majeurs s'observent dans le domaine de la non-prolifération (extension indéfinie du TNP, abandon de l'arme nucléaire par l'Afrique du Sud, le Bélarus, le Kazakhstan, l'Irak, ...). La maîtrise des armements et le désarmement progressent également grâce à des traités comme START qui permettent de réduire largement les arsenaux nucléaires accumulés pendant le conflit Est-Ouest. Les essais nucléaires sont également interdits. Mais cette dynamique de désarmement par étape s'enraye progressivement. L'impasse sur le Traité New Start, qui expirera vraisemblablement en 2026 sans perspective de nouveau Traité de réduction des arsenaux russo-américains, le développement majeur de l'arsenal nucléaire chinois, l'opérationnalisation de la force nucléaire nord-coréenne sont autant de signes d'une re-nucléarisation du monde. Ce phénomène va à l'encontre des attentes d'une grande partie d'États non-dotés d'armes nucléaires, qui ont toujours considéré que l'arme nucléaire faisait porter un risque trop important sur la planète et ont exigé des États dotés d'armes nucléaires des actions en matière de désarmement. Les perspectives d'un désarmement progressif apparaissent désormais minimales, ce qui entraînent beaucoup de pays, soutenus par des mouvements de fond de la société civile, à réclamer une approche plus radicale, en rupture avec les forums traditionnels et sans la participation des États dotés.

Cette approche, fondée sur les conséquences humanitaires des armes nucléaires, aboutit en 2017 à l'adoption du Traité d'interdiction des armes nucléaires. Bien que fortement critiqué par les EDAN et leurs alliés, ce Traité est désormais signé par 92 États et ratifié par 68. Pour les défenseurs du Traité,

les événements récents prouvent l'urgence d'éliminer les armes nucléaires. Ces États mettent l'accent sur le risque d'accident nucléaire et les multiples façons dont des tensions entre États nucléaires pourraient escalader jusqu'à une explosion nucléaire. Ils condamnent également le fait que les neuf dirigeants des États possédant des armes nucléaires prennent en otage le reste du monde en faisant planer la menace d'une utilisation de l'arme nucléaire.

Si le conflit en Ukraine sert donc de justification aux campagnes soutenant l'abolition des armes nucléaires, il provoque chez les États nucléaires et au sein de l'OTAN en particulier une réappréciation de la contribution des doctrines de dissuasion à leur sécurité. Ainsi, en Europe, des États traditionnellement critiques du nucléaire, comme la Suède, ont revu leur position en décidant de rejoindre l'OTAN, une alliance ayant réaffirmé la place de la dissuasion dans sa politique de sécurité. Les États de l'OTAN ont également pu justifier certains investissements visant à renouveler et moderniser leurs capacités par la dégradation du contexte stratégique¹⁵.

Les interprétations, tirées de la guerre en Ukraine, sur le rôle de l'arme nucléaire pour la sécurité internationale divergent et créent des lignes de fracture dans les grandes enceintes visant à encadrer la possession d'armes nucléaires. Ces forums peinent à fonctionner et à se réformer afin d'être en mesure d'offrir des réponses aux défis actuels et à venir, parmi lesquels le dossier de la prolifération reste ouvert. L'Iran demeure un sujet de préoccupation, mais d'autres pays peuvent souhaiter rejoindre le club nucléaire à court ou à long terme. Ainsi, la Corée du Sud a la particularité de voir son environnement sécuritaire se dégrader, d'avoir une population favorable à l'acquisition de l'arme nucléaire et de posséder des capacités techniques et industrielles de pointe dans ce domaine¹⁶.

En ce qui concerne les pays ayant déjà développé et déployé l'arme nucléaire, le renouveau des tensions fait craindre le risque d'utilisation de cette dernière. Pour éviter ce type de scénario, des canaux de communication ont été créés, permettant de limiter les risques d'interprétation erronée ou de mauvais calcul. Si certains de ces outils perdurent (lignes de communication en cas d'urgence ou *hotlines*, régime de notifications de certaines activités ou de certains incidents), ces mesures souffrent de deux limites. Tout d'abord, peu sont adaptées à un système nucléaire multipolaire. Deuxièmement, l'irruption de nouveaux domaines d'affrontement et de nouvelles technologies créent des vulnérabilités sur les systèmes nucléaires et des risques d'escalade inédits.

Dans ce contexte, il est indispensable de réfléchir aux outils de régulation acceptables par une communauté internationale largement divisée sur le rôle de la dissuasion et par des États dont les relations sont caractérisées par la défiance et la compétition stratégique. Néanmoins, la maîtrise des armements continuent de souffrir de l'aporie identifiée pendant la guerre froide : c'est quand elle est la plus utile qu'elle est la plus difficile à faire émerger, et quand il devient plus facile de négocier, elle est moins nécessaire¹⁷...

Notes

1. « [L'ombre du nucléaire sur la guerre d'Ukraine](#) », *Bulletin n°96*, Observatoire de la dissuasion, FRS, mars 2022.
2. Voir en particulier, [TNP - Déclaration ministérielle de la France, des États-Unis et du Royaume-Uni](#), France Diplomatie, 1er août 2022.
3. [Address by the President of the Russian Federation](#), 24 février 2022.
4. [Meeting with Council of Lawmakers](#), 27 avril 2022.
5. Isabelle Facon, « [Septembre 2022 et le regain d'agitation nucléaire russe](#) », *Bulletin n°102*, Observatoire de la dissuasion, octobre 2022.
6. Emmanuelle Maitre, « [Répondre à la menace nucléaire](#) », *Bulletin n°102*, Observatoire de la dissuasion, octobre 2022.
7. Isabelle Facon, « [Guerre en Ukraine : le sens du signalement nucléaire russe](#) », *Note de la FRS*, n°30/2022, 27 juillet 2022.
8. Bruno Tertrais, « [Les armes nucléaires et la guerre en Ukraine : bilan provisoire et conséquences possibles](#) », *Note de la FRS*, n°28/2022, 21 juillet 2022.
9. « [Belarus referendum approves proposal to renounce non-nuclear status – agencies](#) », *Reuters*, 28 février 2022.
10. « [Belarus leader says his warplanes have been modified to carry nuclear weapons](#) », *Reuters*, 26 août 2023.
11. Matthew Goldenberg et William Potter, « [Russian Misinformation About Ukrainian Radiological Weapons Capabilities and Intentions](#) », James Martin Center for Nonproliferation Studies, 10 mars 2022.
12. [Presidential Address to Federal Assembly](#), Kremlin.ru, 21 février 2023.
13. Shannon Burgos, « [U.S. Completes INF Treaty Withdrawal](#) », *Arms Control Today*, septembre 2019.
14. Kingston Reif et Shannon Burgos, « [U.S. Completes Open Skies Treaty Withdrawal](#) », *Arms Control Today*, décembre 2020.
15. Emmanuelle Maitre, [La dissuasion nucléaire à l'aune de la guerre en Ukraine : entre soutien réaffirmé et contestations structurelles](#), Recherches & Documents, n°13/2022, octobre 2022.
16. Antoine Bondaz et Emmanuelle Maitre, « [Tentations nucléaires en Corée du Sud](#) », *Bulletin n°106*, Observatoire de la Dissuasion, FRS, février 2023.
17. Colin S. Gray, *House of Cards: Why Arms Control Must Fail*, Ithaca, NY: Cornell Univ. Press, 1992.

Augmentation des dépenses de défense en Europe : du discours à la réalité budgétaire



La guerre en Ukraine, lancée par la Russie en février 2022, semble ouvrir un nouveau cycle stratégique de nature à modifier les tendances observées en matière de budget de défense, en particulier en Europe. En effet, les premiers enseignements du conflit¹ (attrition, importance des stocks et des munitions, durée et longueur du front) suggèrent que les forces armées européennes doivent s'adapter à ces nouveaux besoins, qui se rajoutent à ceux de la projection de forces dans le cadre d'opérations extérieures. Le format des armées, taillées au plus juste compte tenu des pressions budgétaires depuis la fin de la guerre froide, est revu à la hausse dans de nombreux pays européens (Pologne, Allemagne, États baltes notamment). En termes économiques, une « demande » supplémentaire est ainsi adressée par les États européens.

Un indicateur communément utilisé pour mesurer l'évolution de cette demande est le budget alloué à la défense ainsi que sa composition. La logique de moyens ainsi retenue permet, à la suite de Smith², d'appliquer une double grille de lecture, à la fois stratégique et économique. Les enjeux stratégiques déterminent un besoin de défense, ce qui se mesure par l'implication dans des conflits et opérations de maintien de la paix, l'appartenance à des alliances ou encore l'existence d'un ennemi conduisant à une forme de course à l'armement. Les enjeux économiques incluent la sensibilité à la conjoncture économique (mesurée par la croissance économique) mais aussi les tensions liées à des arbitrages politiques car d'autres besoins sont jugés plus prioritaires. Ce cadre méthodologique permet de comprendre comment les différentes contraintes affectent les budgets de défense : vont-elles dans le même sens ou bien sont-elles contradictoires ? Une forme de dilemme peut ainsi apparaître lorsque la conjoncture économique défavorable limite le financement des besoins nouveaux créés par l'environnement international et conduit les États à faire des choix budgétaires potentiellement douloureux (dilemme « beurre-canon », par exemple).

Historiquement, dans le cas de l'Union européenne (UE), force est de constater que la défense est rarement considérée comme un secteur prioritaire et que, bien souvent, elle

subit davantage la rigueur que les autres postes budgétaires³, pour des raisons qui relèvent aussi bien du régime politique⁴ que de l'existence de règles budgétaires⁵.

L'objet de cet article est d'illustrer les spécificités de l'Europe, d'une part, en comparant les tendances avec les autres régions du monde et, d'autre part, en mettant en évidence l'hétérogénéité des situations intra-européennes, en particulier à partir de 2014. La conclusion de l'article offre quelques perspectives sur les prochaines années.

Un cycle budgétaire en Europe, différent des autres régions du monde...

Du point de vue budgétaire, la fin de la guerre froide constitue une rupture majeure. Si, depuis la fin de la seconde guerre mondiale et jusqu'en 1991, les dépenses de défense sont structurellement orientées à la hausse, à partir de 1992, leur évolution est plus erratique. Par ailleurs, l'analyse par région indique une forme de découplage des différentes zones du monde, chacune ayant un comportement différent de celui des autres.

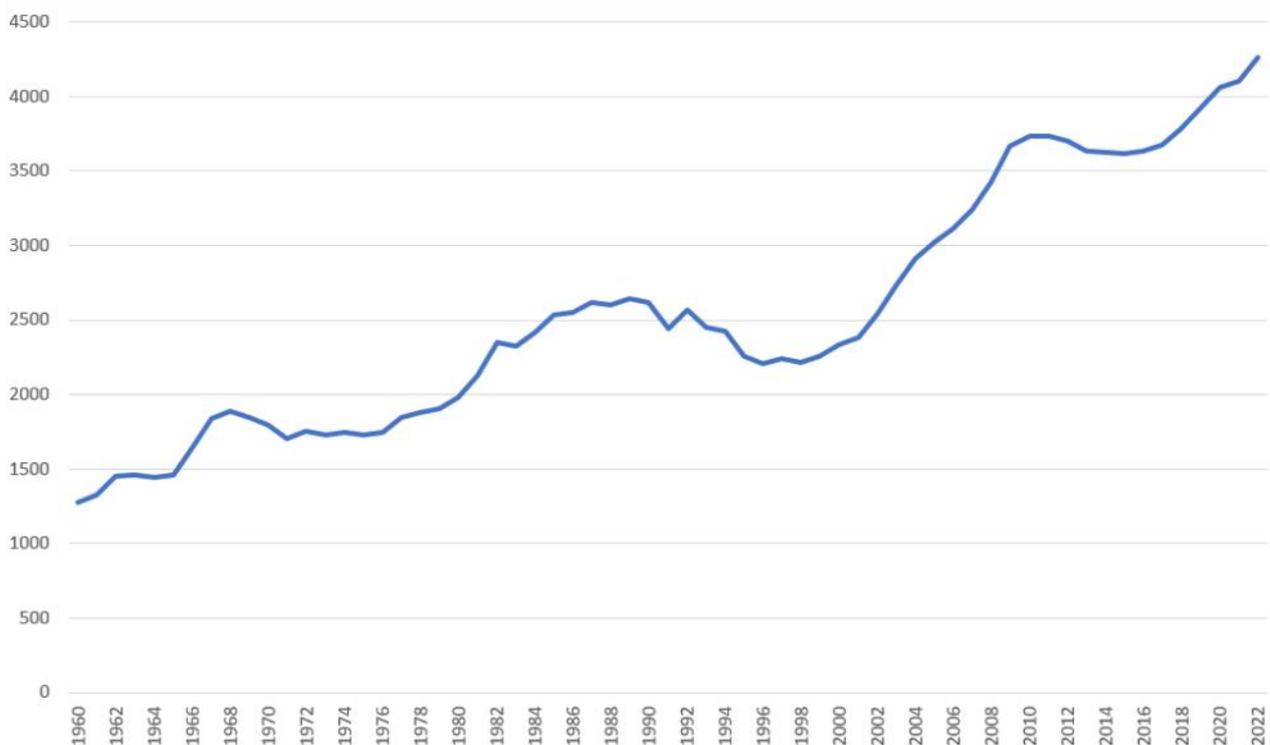
Les dépenses de défense totales, exprimées en dollars constants, sont représentées par le graphique 1, grâce aux données du SIPRI, qui font autorité dans le monde académique⁶. L'incertitude liée à la mesure des dépenses de l'URSS reste importante mais, globalement, il apparaît que le niveau de 2022 (2182 milliards de dollars) est plus élevé de 33%, par rapport à 1988 (1602 milliards de dollars⁷), pic de la guerre froide.

L'effort de défense, mesuré par le rapport entre les dépenses de défense et le PIB, suit une trajectoire à rebours de cette dynamique. Bien qu'en décroissance sur la période globale, l'effort de défense est en moyenne de 4,06% entre 1960 et 1991 et de 2,33% depuis 1992. Ainsi, durant la période des cinq dernières années, le niveau des dépenses de défense (exprimées en dollars) n'a jamais été aussi élevé, alors que dans le même temps, l'effort de défense n'a jamais été aussi faible.

Dans ce contexte mondial, l'Europe suit une dynamique atypique car les déterminants sous-jacents sont différents des autres régions du monde. Le graphique 2 présente l'évolution des dépenses par région⁸, exprimées en milliards de dollars. Les dépenses européennes ont, durant la guerre froide, la même tendance haussière que celle observée au niveau mondial. Toutefois, à partir de 1992, la cyclicité est davantage liée

aux contraintes économiques et budgétaires. Ainsi, la décennie des années 1990, connue comme étant celle des dividendes de la paix, correspond aussi à une période où les chocs économiques adverses (crise de 1992, attaque spéculative contre certaines monnaies ou austérité budgétaire pour préparer la création de la monnaie unique) sont nombreux.

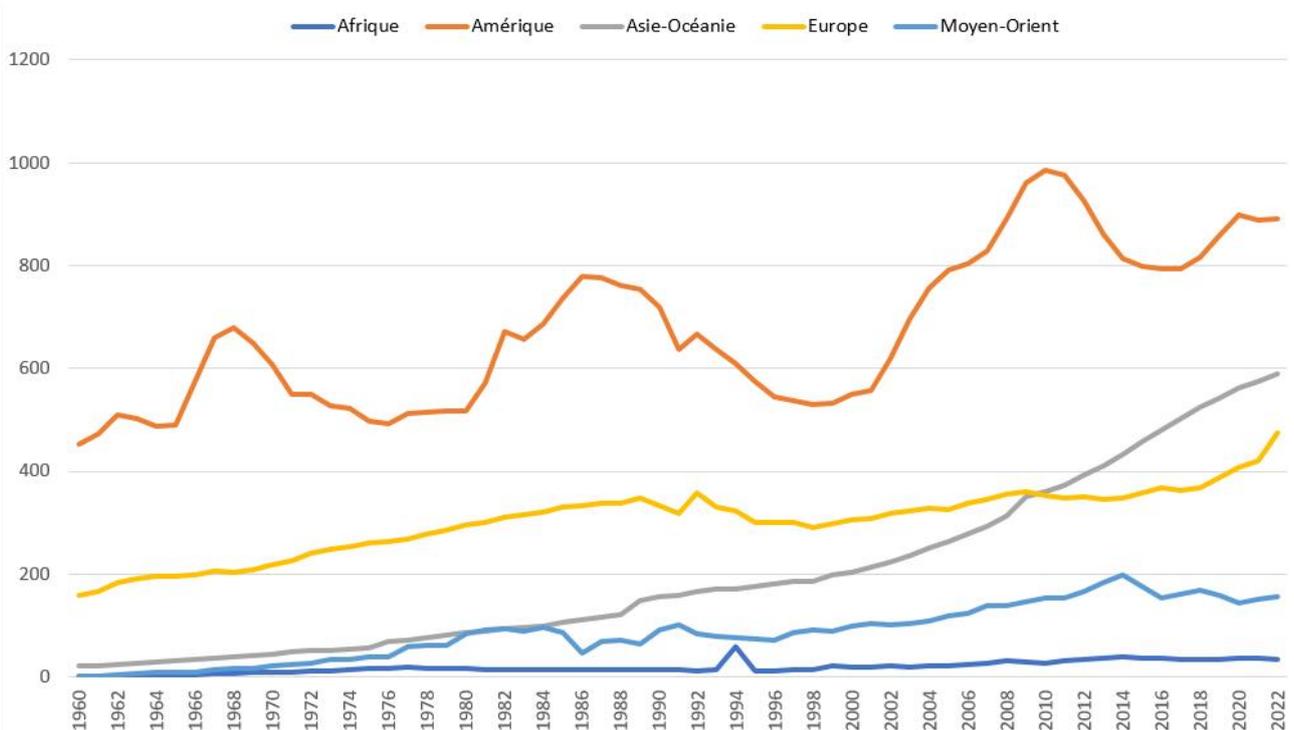
Graphique 1 : Dépenses de défense mondiales (1960-2022), en milliards de dollars constants



NB : Les données de l'URSS, évaluées sur les seules années 1988 à 1990, sont exclues du graphique pour éviter toute rupture de périmètre.

Source : SIPRI, 2023

Graphique 2 : Dépenses de défense par régions (1960-2022), en milliards de dollars constants



Source : SIPRI, 2023

Le rebond économique du début des années 2000 permet aux pays européens d'accompagner leurs efforts de modernisation de leurs forces armées, après dix années de restriction. La dynamique budgétaire haussière s'interrompt brutalement avec la crise économique liée aux *subprimes* : l'endettement public des pays européens les conduit à mener des politiques de rigueur dont la défense a subi une grande partie des effets. En cinq ans, entre 2009 et 2014, les dépenses de défense de l'UE baissent de près de 12%, soit une perte totale équivalente aux dépenses italiennes de 2014.

A partir de 2014, les budgets européens repartent à la hausse, d'abord faiblement jusqu'en 2017, et ensuite plus fortement jusqu'en 2022. Deux explications peuvent être avancées. La première, de nature stratégique, est l'invasion de la Crimée par la Russie qui fait prendre conscience à de nombreux pays, en particulier ceux d'Europe centrale et orientale, de la menace que constitue la Russie. La seconde explication tient dans la politique monétaire accommodante menée par la banque centrale européenne (BCE) qui permet aux pays européens de la zone euro de bénéficier de meilleures conditions de financement sur leur dette publique, relâchant d'autant la contrainte budgétaire. Ainsi, les dépenses européennes de 2022 sont 35% plus élevées par rapport au point bas de 2014.

En les comparant avec d'autres régions, les pays européens montrent une plus forte sensibilité aux contraintes économiques⁹. Cette caractéristique fondamentale apparaît comme un marqueur fort de la région. Ainsi, les dépenses de la région Amérique, composées à 90% de celles des États-Unis, dépendent d'engagements majeurs dans les conflits : guerre du Vietnam, « guerre des étoiles » dans les années 1980 et enfin guerres en Afghanistan et en Irak. Durant ses engagements militaires, les dépenses américaines ont augmenté aussi rapidement qu'elles ont décliné à la suite du retrait des troupes (Vietnam ou à la fin du mandat de Reagan) ou pour des raisons économiques (2009, après la crise des subprimes).

D'autres facteurs sous-tendent les évolutions des autres régions. En Asie-Pacifique, une tendance haussière, continue et relativement stable, s'observe, aussi bien durant la guerre froide qu'après 1992. Une explication principale tient dans la croissance des dépenses de la Chine, qui bénéficie de ses performances économiques exceptionnelles pour financer la modernisation de ses forces armées sans modifier la part allouée au secteur de la défense (aux alentours de 1,8% du PIB). Cette dynamique est également observable dans d'autres pays comme l'Inde, le Pakistan, l'Indonésie ou encore Taïwan. Les pays développés de la région ont un comportement relativement similaire, compte tenu des tensions inhérentes à la zone Indo-Pacifique, bien qu'ils subissent parfois certaines contraintes économiques.

Enfin, la zone Moyen-Orient combine à la fois un environnement stratégique avec des tensions importantes¹⁰ et une dépendance forte pour de nombreux États aux évolutions du prix des hydrocarbures. Ainsi, depuis la fin de la guerre froide, les dépenses de la région augmentent tendanciellement jusqu'en 2015, date à laquelle le prix du pétrole baisse.

... avec des disparités marquées depuis 2014

La cyclicité des dépenses européennes s'explique par des fondamentaux différents de ceux du reste du monde. La combinaison de l'invasion de la Crimée, associée à la menace terroriste transnationale, avec le desserrement de la contrainte budgétaire par l'action de la BCE, offre une « fenêtre d'opportunité » pour le secteur de la défense : les besoins sont de plus en plus importants eu égard à l'ampleur des menaces dans un contexte budgétaire favorable.

Avant d'examiner plus spécifiquement la période post-2014, il convient de rappeler la distribution des dépenses européennes. Compte tenu de la conversion économique des pays d'Europe centrale et orientale durant les années 1990, les données sont présentées à partir de 2000, grâce à la base du SIPRI.

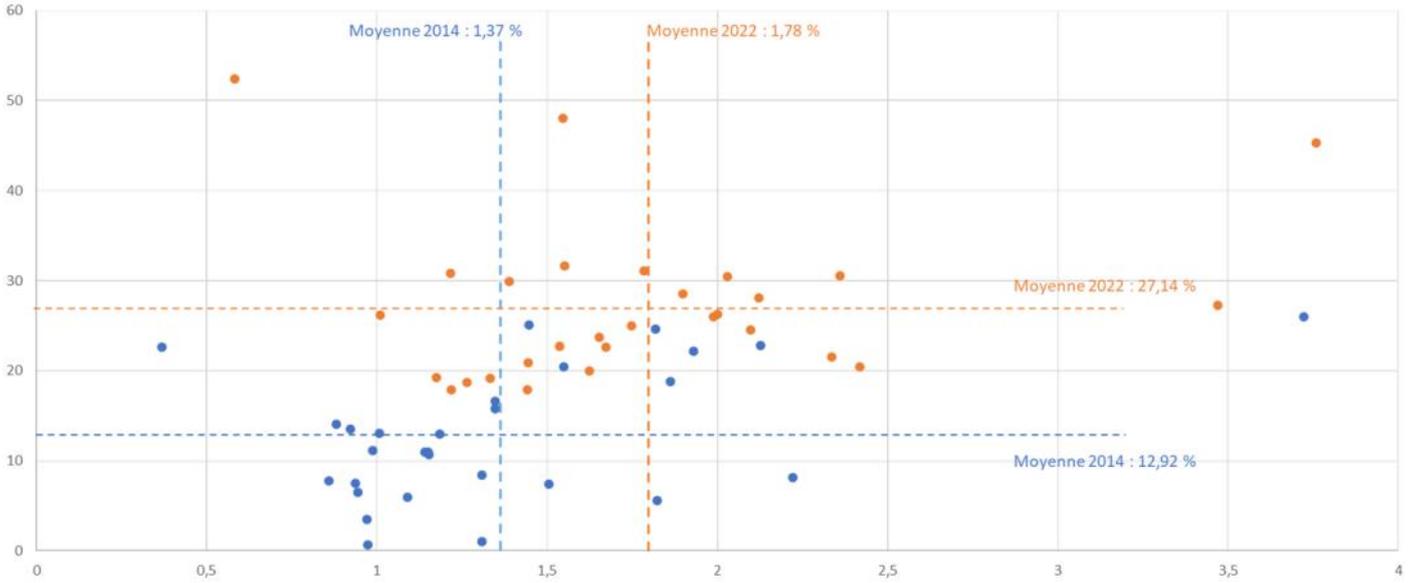
En 2014, durant le sommet de Newport, au Pays de Galles, les pays de l'OTAN prennent l'engagement d'accroître leur effort de défense, afin de respecter le critère de 2% du PIB consacré à la défense d'ici 2024, pour ceux qui ne s'y conforment pas. Ce seuil est l'indication fournie par l'Alliance afin de partager également le fardeau de la sécurité. Ce critère est complété par un autre qui indique que les alliés doivent dépenser au moins 20% de leur budget de défense dans les équipements. Le graphique 3 illustre l'évolution de ces deux critères sur deux années, 2014 (points bleus) et 2022 (points orange), grâce aux données de l'OTAN. Sur l'axe des abscisses, est représenté l'effort de défense et, sur l'axe des ordonnées, la part du budget consacré aux équipements.

Ce graphique indique, qu'en moyenne¹¹, les pays de l'OTAN ont accru leur effort de défense, entre 2014 et 2022, passant de 1,37% à 1,78%. Dans le même temps, le budget alloué aux équipements est lui aussi orienté à la hausse, passant de 12,92% à 27,14%. Ainsi, à défaut d'atteindre pleinement leurs objectifs, les pays de l'Alliance ont fait des efforts budgétaires significatifs. A titre d'exemple, la Lituanie est passé d'un effort de défense de 0,9% en 2014 à près de 2,4% en 2022 et d'une part dédiée aux équipements de 14,1% à 30,5%, de sorte que désormais les deux critères sont respectés.

Il convient néanmoins de révéler que les efforts budgétaires observés depuis 2014 sont inégalement répartis en Europe¹². Le graphique 4 représente le taux de croissance des dépenses de défense européennes entre 2014 et 2022, calculées sur la base des valeurs réelles fournies par le SIPRI. A titre de comparaison, les dépenses de trois pays européens non-membres de l'UE sont incluses, la Norvège, le Royaume-Uni et la Suisse, ainsi que celles de la Russie.

En moyenne, les pays de l'UE27 augmentent de 35% leur budget de défense mais avec une dispersion gigantesque entre la Lituanie (+ 277%) et l'Irlande (+10%). La France (+13%) se situe en queue de peloton¹³ (hausse inférieure à 15%) avec l'Autriche, l'Irlande et le Royaume-Uni. A l'opposé, les dépenses de défense de six pays doublent (voire plus) : la Slovaquie, la Roumanie, le Luxembourg, la Hongrie, la Lettonie et la Lituanie. Dans le même temps, les dépenses russes restent quasiment stables (+ 7%) en raison notamment de la baisse du prix du gaz entre 2014 et 2021.

Graphique 3 : Évolution au sein de l'OTAN (2014-2022), en %

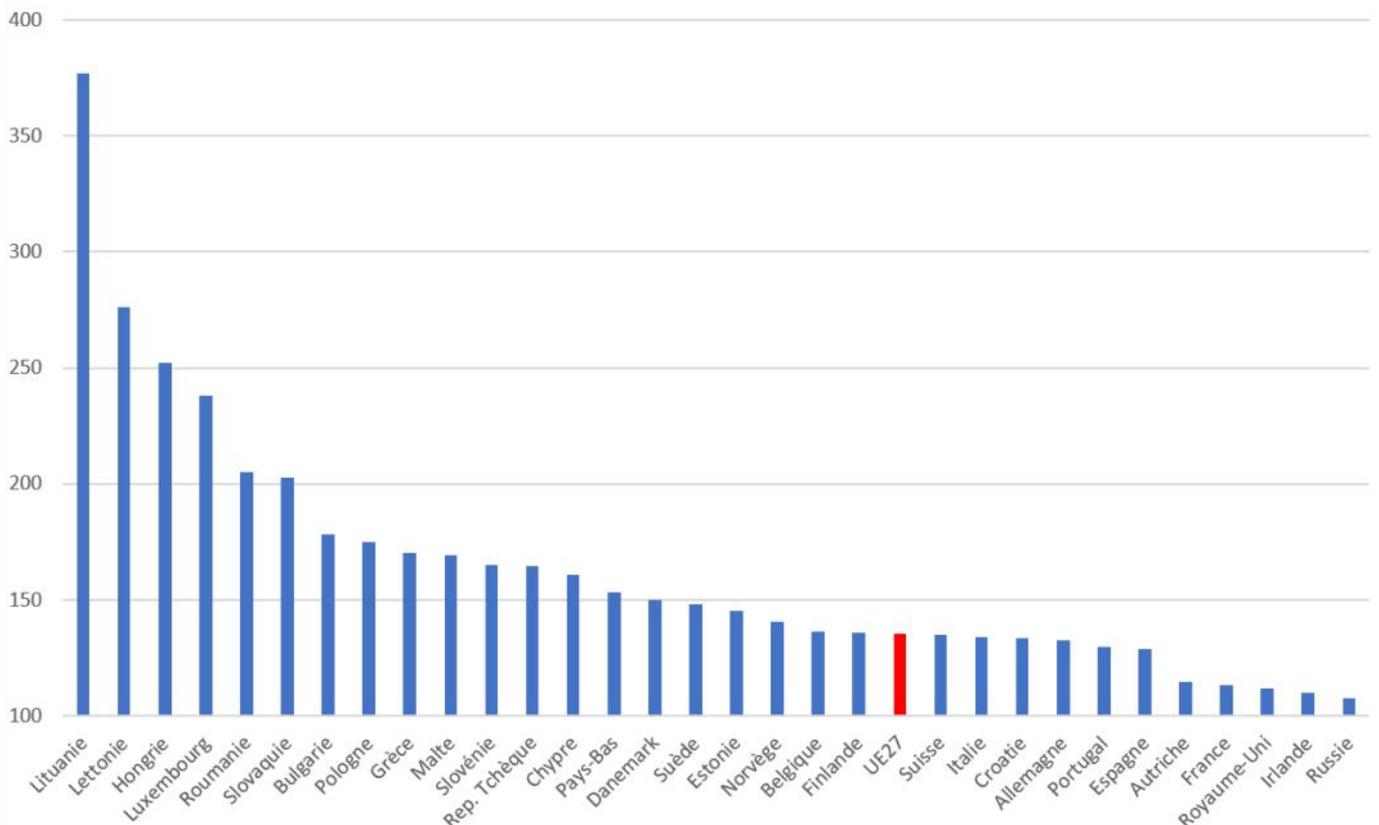


Effort de défense (part du budget de défense en % du PIB) sur l'axe des abscisses, part du budget consacré aux équipements (en % du budget de défense) sur l'axe des ordonnées. Les points en bleu représentent les pays de l'OTAN en 2014 et les points en orange les observations de 2022.

Source : OTAN, 2023

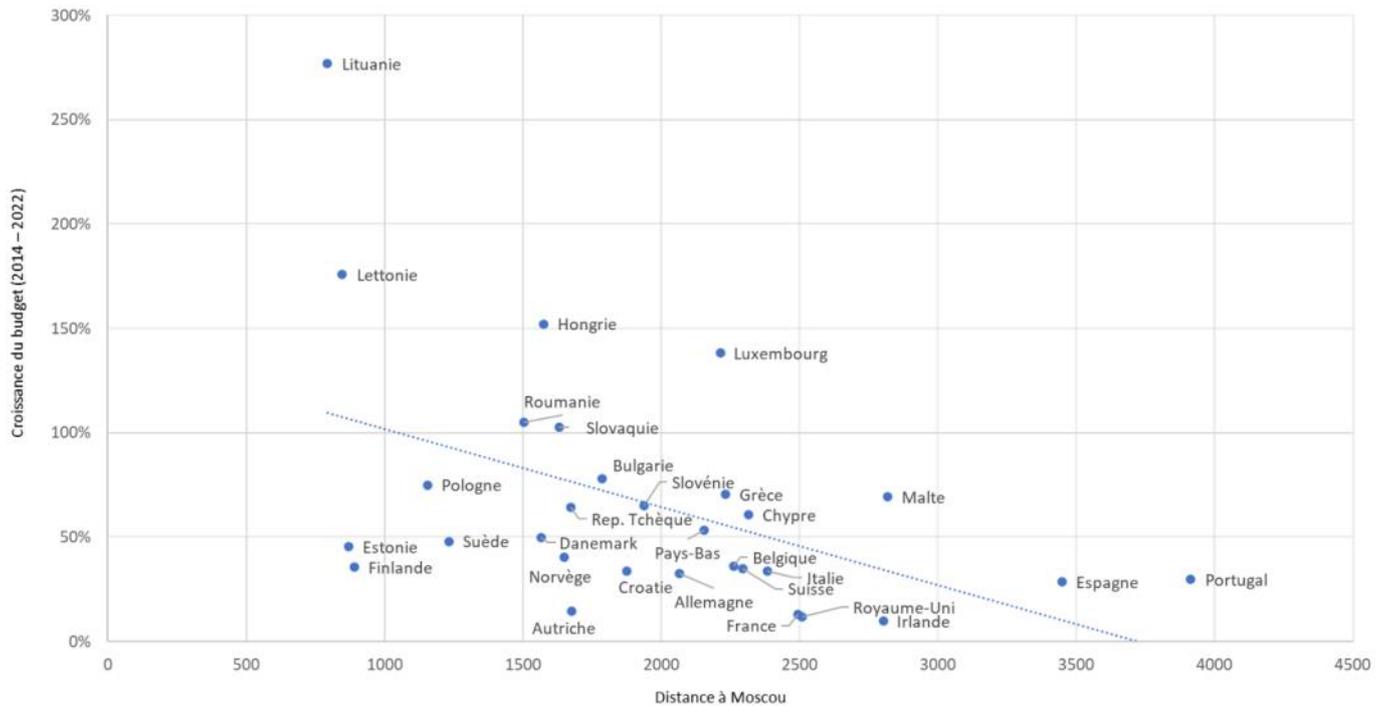
Graphique 4 : Taux de croissance des dépenses de défense sur la période 2014-2022 (calculées sur la base des valeurs réelles)

Données exprimées en base 100 en 2014



Source : SIPRI, 2023

Graphique 5 : Distance à Moscou et croissance des budgets de défense (2014-2022)



Distance en km entre Moscou et la capitale du pays considéré sur l'axe des abscisses et croissance du budget de défense entre 2014 et 2022 sur l'axe des ordonnées. En point, la courbe d'ajustement linéaire du nuage de point.

Sources : CEPII et SIPRI.

Une explication plausible tient dans la proximité avec la menace russe, comme cela est illustré par le graphique 5. En abscisses, se trouve la distance entre la capitale du pays européen considéré et Moscou (données CEPII) et, en ordonnées, la croissance du budget en valeurs réelles entre 2014 et 2022. Le nuage de points ainsi formé montre une tendance décroissante, mesurée par la droite de tendance en pointillé : les augmentations sont d'autant plus fortes que la distance avec la Russie est faible. Évidemment, cette représentation, mono-causale, n'est pas de nature à pleinement caractériser les évolutions budgétaires de défense. A titre d'exemple, la Pologne a le même taux de croissance des dépenses de défense que Malte (environ + 70%) alors qu'elle partage une frontière commune et que la distance entre Moscou et Varsovie est de plus de deux fois plus faible qu'entre Moscou et la Valette. Les facteurs politiques, notamment les élections, jouent un rôle majeur dans l'explication des évolutions récentes¹⁴.

Les graphiques 4 et 5 sont révélateurs de la « cacophonie » des politiques de défense en Europe¹⁵. Certains pays, notamment les États baltes ou la Pologne, envisagent naturellement la menace russe comme prioritaire alors que la France ou, dans une moindre mesure, le Royaume-Uni accordent davantage d'importance à la lutte contre le terrorisme transnational. Par ailleurs, la situation initiale de ces deux pays était largement meilleure que de nombreux pays européens en 2014. À titre d'illustration, la France et le Royaume-Uni dépassent l'effort de défense moyen et la part moyenne des équipements au sein de l'OTAN, aussi bien en 2014 qu'en 2022. L'Allemagne, bien qu'ayant réalisé des efforts proches de ceux de la moyenne européenne entre 2014 et 2022, reste dans la partie inférieure de la distribution statistique. Enfin, malgré des budgets de défense en hausse au sein des pays

européens, le partage du fardeau au sein de l'OTAN reste encore déséquilibré¹⁶ : le comportement de « passager clandestin » est confirmé et la sécurité collective assumée par quelques grands pays (États-Unis et, dans une moindre mesure, France et Royaume-Uni).

Conclusion

La guerre en Ukraine a servi d'électrochoc : les pays européens ont pris conscience d'un certain nombre de trous capacitaires, en particulier ceux qui permettraient de reconstituer de la masse dans l'optique d'une guerre de haute intensité¹⁷. Très rapidement après le début du conflit, plusieurs pays ont fait part de leur volonté d'augmenter massivement leurs dépenses de défense, comme la Pologne, le Royaume-Uni ou encore les États baltes. Ces annonces se sont également accompagnées de commandes importantes de matériels et de munitions, souvent auprès d'industriels non-européens (acquisition allemande d'aéronefs militaires auprès des États-Unis, sélection par la Pologne de l'offre coréenne de véhicules blindés). En cumulé, l'Europe devient, pour la première fois depuis la fin de la guerre froide, la zone qui augmente le plus son budget de défense¹⁸.

Transformer les forces armées nécessitera des efforts budgétaires durables. Toutefois, au moins trois facteurs risquent de limiter le potentiel de relance du secteur de la défense, à court et moyen termes :

- ◆ Depuis mi-2021, l'inflation se situe à des niveaux élevés, supérieurs à ceux prévus par le mandat de la BCE (aux alentours de 2%) et devrait le rester au moins jusqu'à la fin de l'année 2024. Au niveau des dépenses de défense, cela conduit à une forme de « désarmement par l'inflation ». Par exemple, de nombreux pays d'Europe de

l'Est, là où l'inflation est la plus élevée, ont vu leur niveau réel de dépenses de défense légèrement diminuer. De ce fait, pour être réellement efficaces, les augmentations budgétaires devront plus que compenser cette inflation.

- ◆ La conjoncture économique européenne est dégradée. D'une part, l'inflation affecte négativement la consommation des ménages, principal levier d'activité économique en France. D'autre part, les incertitudes internationales (sanctions contre la Russie, rebond économique post-covid en Chine, politique protectionniste américaine) ne favorisent pas les échanges internationaux. Or, la conjoncture économique est un déterminant majeur des dépenses de défense.
- ◆ Après trois ans de soutien de l'activité économique par les pouvoirs publics, les États européens se retrouvent dans une situation où la dette publique est, en moyenne, supérieure (84%) au critère de Maastricht. Certains pays, parmi ceux qui dépensent le plus dans la défense, sont aussi les plus endettés (Grèce, Italie, Espagne et France). La lutte contre l'inflation a également conduit les banques centrales à augmenter leur taux d'intérêt, renchérissant le coût du déficit.

La loi de programmation militaire (LPM) 2024-2030 semble ambitieuse du point de vue budgétaire (environ 30% d'augmentation), dans la continuité des efforts menés depuis 2015. Néanmoins, l'inflation risque de rogner une partie non négligeable des hausses prévues et les contraintes budgétaires accrues vont probablement conduire à des dilemmes du type « beurre-canon ». La question qui se pose alors est de savoir si la LPM 2024-2030 sera pleinement exécutée. De la réponse à la question dépend le financement des grands programmes d'armement qui vont structurer les forces armées françaises jusqu'à la fin du siècle (dissuasion, système de combat aérien du futur, porte-avions) et donc la crédibilité du modèle d'armée français.

JULIEN MALIZARD

Titulaire adjoint,
Chaire Économie de défense, IHEDN

Notes

1. A titre d'exemple, entre 2021 et 2022, le budget de défense ukrainien a été multiplié par près de 6,5 et la part de la défense dans le PIB a cru de 3,23% en 2021 à 33,55% en 2022.
2. R. Smith (1989), "Models of military expenditure", *Journal of Applied Econometrics*, 4, 345-359.
3. J. Droff et J. Malizard (2022), "Determinants of defense spending: the role of strategic factors in France", *Defence and Peace Economics*, 33(8), 938-955.
4. J. Blum (2018), "Defense burden and the effect of democracy: evidence from a spatial panel analysis", *Defence and Peace Economics*, 29(6), 614-641.
5. J. Becker (2019), "Accidental rivals? EU fiscal rules, NATO and transatlantic burden-sharing", *Journal of Peace Research*, 56(5), 697-713.
6. R. Smith (2009), *Military Economics, the interaction of power and money*, Palgrave.
7. Le graphique 1 n'intègre pas les dépenses de l'URSS pour éviter les ruptures de périmètres liées à l'absence d'évaluation avant 1988. En prenant en compte les dépenses de l'URSS, on se rapproche du maximum observé durant la guerre froide et ainsi on peut confirmer que les dépenses actuelles dépassent celles observées durant la guerre froide.
8. Le graphique suit le découpage régional réalisé par le SIPRI et dont les détails sont accessibles en ligne : <https://www.sipri.org/databases/regional-coverage>
9. E. Hunter Christie (2019), "The demand for military expenditure in Europe: the role of fiscal space in the context of a resurgent Russia", *Defence and Peace Economics*, 30(1), 72-84.
10. Structurellement, tous les pays de la région, à l'exception de l'Égypte et de la Turquie, sont dans le classement des pays qui dépensent le plus, selon le critère de l'effort de défense. Les données manquent pour les Émirats Arabes Unis, le Liban, la Syrie et le Yémen mais, sur la base des dernières informations disponibles, tout porte à croire que ces pays seraient, eux-aussi, parmi ceux qui dépensent le plus en pourcentage du PIB.
11. La médiane est un indicateur alternatif mais conduit à des conclusions relativement proches.
12. Les deux pays qui voient leur effort de défense se réduire au sein de l'Alliance sont les États-Unis et la Turquie. L'effort de défense britannique reste quasi inchangé, bien que très faiblement orienté à la baisse (2,127% en 2014 contre 2,122% en 2022).
13. Les dépenses de défense françaises sont moins sujettes à des variations fortes, qu'elles soient à la hausse ou à la baisse. Ainsi, durant les années 1990, la France a moins réduit ses dépenses que ses voisins mais, réciproquement, les a moins augmentées durant les années 2000.
14. J. Blum et N. Potrafke (2020), "Does a change of government influence compliance with international agreements? Empirical evidence for the NATO two percent target", *Defence and Peace Economics*, 31(7), 743-761.
15. H. Meijer et S. Brooks (2021), "Illusions of autonomy. Why Europe cannot provide for its security if the United States pulls back", *International Security*, 45(4), 7-43.
16. W. Kim et T. Sandler (2020), "NATO at 70: pledges, free-riding and benefit-burden concordance", *Defence and Peace Economics*, 31(4), 400-413.
17. D. Barrie, B. Barry, L. Béraud-Sudreau, H. Boyd, N. Childs, B. Giegerich (2019), *Defending Europe: scenario-based capability requirements for NATO's European members*, IISS research Paper
18. https://www.sipri.org/sites/default/files/2023-04/2304_fs_milex_2022.pdf



© Shutterstock

Le budget de défense des États-Unis pour 2024 : poursuite d'une trajectoire ambitieuse sous contrainte

La requête budgétaire pour 2024, soumise au Congrès début mars 2023, est la troisième de la présidence Biden mais la première à être entièrement conçue pour mettre en œuvre la stratégie nationale de défense (*National Defense Strategy*, NDS), élaborée en 2022. L'Administration propose une nouvelle augmentation de crédits, destinée à soutenir le renforcement rapide des capacités de défense américaines, face à des menaces de plus en plus pressantes¹. Le sentiment « d'urgence », inscrit dans la NDS, est moins lié à la prolongation de la guerre en Ukraine qu'aux difficultés qu'elle révèle dans la perspective d'une confrontation potentielle avec la Chine.

L'Administration et les commissions parlementaires de défense, chargées de la formulation définitive du budget, s'entendent sur la nécessité d'améliorer la préparation de l'appareil de défense à une compétition toujours plus serrée. Mais la proposition présidentielle est comme d'habitude sérieusement critiquée, en raison à la fois de divergences sur la répartition des crédits et d'affrontements politiques sur l'évolution globale des dépenses fédérales.

Une requête en hausse au service de la NDS

Le responsable du budget du DoD a souligné lors de la présentation de la requête qu'elle comportait peu de nouveautés par rapport à celle de 2023 : « *one of the big themes of this budget is continuity* »². Si la NDS n'a été publiée (partiellement) qu'en octobre 2022, ses orientations étaient déjà fixées dès le début de l'année lors de l'élaboration par le Pentagone du précédent budget. Ce sont donc les mêmes priorités qui guident la requête pour 2024.

Si, dans le cadre de la calibration de l'effort de défense, la Chine est plus que jamais considérée comme un adversaire déterminant, d'autres menaces sont prises en compte :

- ◆ La Russie est un problème sérieux en Europe³. La guerre en Ukraine n'a pas amené une réévaluation de son importance, mais le conflit a apporté des enseignements concernant la conduite des opérations, dont l'impact est perceptible dans le budget 2024.

- ◆ L'Iran, la Corée du Nord et les organisations terroristes restent mentionnés, au titre de la « vigilance » face aux risques, mais sans effet notable sur les choix de défense.

La priorité du DoD reste la dissuasion de toute « *attaque stratégique* » contre les États-Unis ou leurs alliés, ainsi que d'éventuelles agressions régionales, principalement en zone Indo-Pacifique et secondairement en Europe. Comme en 2023, le budget pour 2024 s'inscrit ainsi dans les trois lignes directrices, telles que définies dans la NDS :

- ◆ La dissuasion intégrée (*integrated deterrence*), reposant à la fois sur un appareil de combat interarmées apte à l'emporter sur tout adversaire et sur la garantie ultime de l'arsenal nucléaire ;
- ◆ L'organisation des activités courantes et de la posture de déploiement dans une campagne globale (*campaigning*), qui constitue la contribution du DoD à la « compétition stratégique » ;
- ◆ L'exploitation des avantages comparatifs procurés aux États-Unis par la qualité des personnels militaires, la capacité d'innovation et la puissance de la base industrielle et technologique de défense (BITD).

Le budget préparé par le DoD pour 2024 poursuit l'augmentation annuelle des crédits, constante sous la présidence Biden. Il s'élève à 842 milliards de dollars (Mds\$) pour le DoD, soit 69 Mds\$ de plus que la requête pour 2023 (+ 3,2%). Au total, en incluant les dépenses du Département de l'énergie pour l'arsenal nucléaire, les dépenses de défense avoisineraient les 886 Mds\$.

La trajectoire devrait se poursuivre sur les cinq prochaines années de la projection établie par le DoD, avec une progression de 100 Mds\$ annuels jusqu'en 2028, poursuivant la tendance entamée en 2022⁴. On notera à cet égard que le Pentagone a constamment dû réévaluer sa planification depuis 2021, de sorte que la requête actuelle dépasse le montant prévu l'année dernière pour 2028 (842 Mds\$ au lieu de 834 Mds\$). Cela s'explique largement par les interventions du Congrès qui, chaque année depuis 2017, augmente les crédits demandés par l'Administration, jugeant qu'ils ne suffisent pas à maintenir l'avantage sur la Chine, en particulier en période d'inflation croissante.

Structure du budget de la défense, 2022-2024, en Mds\$

By Department/Agency	FY 2022 Actuals ^{3/}	FY 2023 Enacted	FY 2024 Request
Army	174.1	184.9	185.3
Navy	220.1	243.0	255.8
Air Force	221.0	246.8	259.2
Defense-Wide	127.0	141.3	141.7
Department of Defense – Total ^{1/ 2/}	742.2	816.0	842.0
Atomic Energy Defense Activities	29.1	31.6	32.8
Defense-related Activities	10.6	11.0	11.5
National Defense – Total	781.9	858.6	886.3

1/ FY 2023 and FY 2024 exclude \$400M in CHIPS Act funding, which is not part of the discretionary budget total
 2/ Excludes Supplemental Funding
 3/ FY 2022 Department/Agency breakout updated March 15, 2023

Source : Office of the USD Comptroller/CFO, mars 2023

Un budget de nouveau dans la tourmente politique

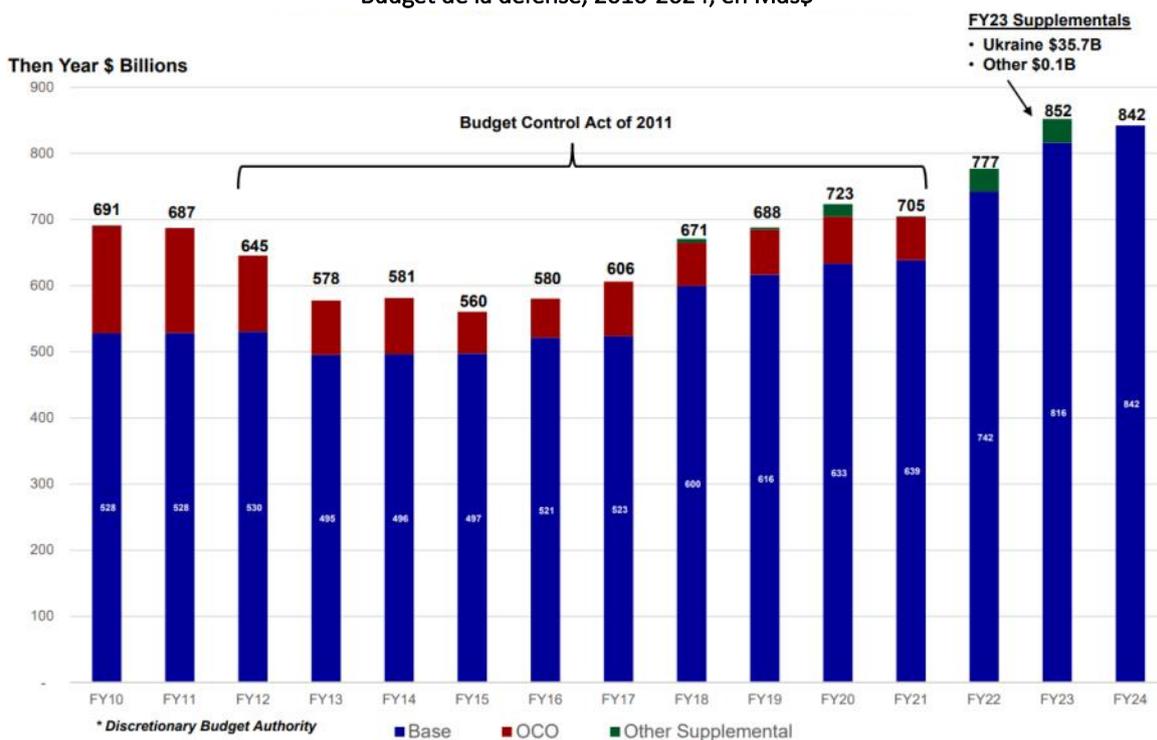
Le budget 2023, autorisé par les commissions de défense contrôlées par les Démocrates, comportait une augmentation de 43 Mds\$ par rapport à la demande présidentielle. Une nouvelle réévaluation des crédits pour 2024 était d'autant plus prévisible que, depuis janvier 2023, les Républicains ont retrouvé la majorité à la Chambre et, par conséquent à la commission de défense. Dès la publication de la requête, ils l'ont effectivement jugé inappropriée⁵, appuyés en cela par les commentaires des experts conservateurs⁶.

D'une part, la dynamique budgétaire vantée par l'Administration doit être relativisée. La requête pour 2024 ne représente que 26 Mds\$ de plus que le montant autorisé par le Congrès pour 2023 (816 Mds\$). Le budget reculerait même de 10 Mds\$, si l'on prend en compte les quelques 36 Mds\$ de crédits supplémentaires votés pour financer l'aide à l'Ukraine. D'autre part, si l'on intègre l'inflation, la progression des crédits en termes réels ne serait que de 0,8% en 2024.

Ces éléments auraient normalement dû conduire les parlementaires à augmenter le budget dans la loi d'autorisation (*National Defense Authorization Act*, NDAA) élaborée pendant l'été 2022. Toutefois, les divergences politiques au sein du parti républicain ont produit un effet bloquant inattendu. La volonté de certains élus, les plus « à droite », de réduire les dépenses fédérales a entraîné une crise autour du plafond de la dette, qui a d'abord stoppé le processus d'élaboration de la NDAA. Le psychodrame s'est finalement dénoué fin mai 2023 par un accord avec la Présidence. Pendant les deux prochaines années, en échange du relèvement du niveau d'endettement autorisé par le Congrès, les dépenses fédérales dites « discrétionnaires » seront limitées⁷. Or, cela affecte directement la défense, puisque le budget 2024 est plafonné à 886 Mds\$ tandis que celui de 2025 ne pourra progresser que de 1% (soit 895 Mds\$).

La requête du DoD est donc préservée, mais les commissions de défense sont privées de toute marge de manœuvre pour

Budget de la défense, 2010-2024, en Mds\$



Source : Office of the USD Comptroller/CFO, mars 2023

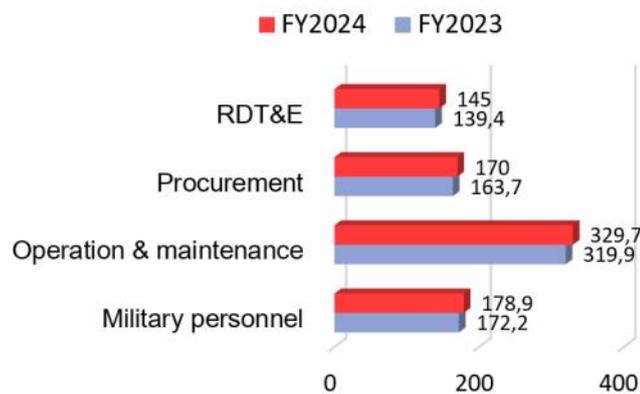
rajouter des crédits. Cela signifie notamment que les besoins des armées « non satisfaits » par la proposition budgétaire ne pourront être pris en compte dans la loi, comme ils le sont traditionnellement⁸. Cette situation étant inacceptable pour nombre de Républicains (y compris ceux qui ont voté le texte de l'accord !), la possibilité de contourner la loi est immédiatement envisagée par les commissions de défense, qui pourraient voter des crédits supplémentaires dans un texte séparé⁹. Le sujet risque donc de rester un point de friction et de marchandage politique durant l'été 2023, avec pour seule certitude que le budget final sera différent de la requête initiale.

La stratégie de modernisation au cœur des débats

Même si les modifications concernent la distribution des crédits dans les différentes catégories budgétaires, elles ne transformeront pas la répartition globale proposée par le Pentagone. Celle-ci tient autant de choix stratégiques que de la structure même de l'appareil de défense.

Ainsi, les dépenses de « fonctionnement » (*Operation & Maintenance*, O&M) sont toujours les plus élevées, avec 330 Mds\$, alors que la priorité affichée est la modernisation de l'appareil de forces, l'équipement (*Acquisition*) et la recherche et développement (RDT&E) totalisant 315 Mds\$. On notera enfin que les dépenses de personnels restent importantes (près de 179 Mds\$), en dépit de la stabilité des effectifs, car il s'agit de maintenir l'attractivité de la profession.

Comparaison des dépenses par catégorie 2023-2024



Source : DoD, 2023

Si l'on considère les dépenses en fonction des trois axes de la stratégie de défense, la priorité semble effectivement aller à la « dissuasion intégrée ». Comme dans le budget 2023, la modernisation est privilégiée, avec une augmentation de 12,9 Mds\$. Mais la tendance est relativisée par les analystes, puisque la hausse de 5,7% prévue sur les années suivantes sera annulée par l'inflation¹⁰. Un léger rééquilibrage est par ailleurs amorcé en faveur de l'acquisition de matériels plutôt que la RDT&E, avec un ratio de 1,3 pour 1 (au lieu de 1,2 : 1 en 2023).

Le budget d'acquisition (170 Mds\$), en hausse de 6 Mds\$, est annoncé comme le plus élevé jamais proposé. Il doit permettre de doter les armées de capacités de combat crédibles dans tous les domaines, propres à dissuader une agression.

Les crédits de RDT&E (145 Mds\$), en hausse de 12%, soit un niveau inédit, contribuent à l'entretien de l'avantage technologique américain à long terme.

Cet effort global de modernisation (Acquisition + RDT&E) concerne en priorité la puissance aérienne (61,1 Mds\$), puis navale (48 Mds\$), les équipements terrestres de l'Army et du Marine Corps ne recevant qu'une part limitée de 13,9 Mds\$. Il faut noter que ces chiffres intègrent des programmes relevant de la triade nucléaire¹¹, qui bénéficient au total de 37,7 Mds\$ afin d'assurer la sûreté et la fiabilité de l'appareil de dissuasion stratégique¹².

Répartition des crédits de modernisation par armée

en Mds\$	Acquisition	RDT&E
Army	24,4	15,7
Air Force	61,6	46,5
Space Force	4,7	19,2
Navy	76,8	29,2
Marine Corps	3,9	—

Source : DoD, 2023

Les autres grands domaines capacitaires mis en avant par le DoD sont :

- ◆ Les systèmes d'information (45 Mds\$) et de cybersécurité (13,5 Mds\$), pour un total de 58,5 Mds\$, en augmentation par rapport aux 55,2 Mds\$ votés pour 2023 ;
- ◆ Les activités spatiales, avec 33,3 Mds\$ d'investissement ;
- ◆ La défense anti-missile, pour 14,8 Mds\$ (+ 20%) ;
- ◆ Les missiles hypersoniques et munitions de précision pour 29,8 Mds\$, en hausse de 24% par rapport à 2023.

Les missiles et munitions font l'objet d'une attention toute particulière, dans la mesure où les opérations en Ukraine ont confirmé l'importance déterminante du volume de feu dans une confrontation de haute intensité. L'objectif n'est pourtant pas de reconstituer les stocks de munitions livrées aux forces ukrainiennes, car le DoD compte pour cela sur le vote de crédits exceptionnels, comme ce fut le cas en 2023¹³. Il s'agit plutôt de se préparer à un éventuel affrontement avec la Chine, impliquant des échanges de tirs soutenus et prolongés. Cela explique que les programmes privilégiés (missiles hypersoniques et à longue portée) ne soient pas les munitions les plus utilisées en Ukraine, tels que les mortiers et les roquettes, pour lesquels le budget décline même de 15%¹⁴. Certains experts s'en inquiètent d'ailleurs et soulignent que l'augmentation des crédits ne se traduit pas nécessairement par une augmentation significative du nombre de missiles achetés.

En fait, les analystes conservateurs, souvent repris par les parlementaires républicains, contestent toujours la stratégie de modernisation à long terme, qui menacerait l'aptitude des armées à vaincre un adversaire majeur à court terme. La politique du DoD aboutit, selon eux, à dépenser toujours plus pour disposer de moyens de moins en moins nombreux¹⁵. Ils estiment qu'une augmentation accélérée de la structure de forces est possible, sans qu'il soit nécessaire de retirer des

systèmes "anciens" pour financer les nouveaux programmes¹⁶, à condition de financer plus sérieusement le budget d'acquisition. Celui-ci est en effet très loin d'atteindre le niveau de référence des Conservateurs, à savoir le « *Reagan build-up* » : un tiers des dépenses du Pentagone allait à l'effort de reconstitution capacitaire en 1985, alors que l'équipement ne représente qu'un cinquième de la requête 2024¹⁷.

Comme les années précédentes, les armées comptaient d'ailleurs sur les commissions de défense pour rajouter des crédits principalement destinés à l'achat de matériels jugés importants mais non prioritaires dans la requête budgétaire. Cela devra passer cette fois par une loi exceptionnelle pour contourner le plafonnement imposé à la NDAA, rendant de *facto* la répartition des crédits plus incertaine, car tributaire des négociations entre parlementaires aux préoccupations bien différentes.

Les autres composantes de la compétition

Le débat sur la modernisation laisse largement de côté les autres aspects de la stratégie de défense, à commencer par l'adoption d'une posture de « campagne » permanente visant à préserver l'influence américaine et l'accès des forces aux régions majeures.

Cette ligne d'action comporte principalement un effort d'entretien de la disponibilité opérationnelle (avec 146 Mds\$), couvrant le maintien en condition des forces, mais surtout axé sur la préparation aux opérations futures. On retrouve donc la logique fondamentale de renforcement de la dissuasion, qui se traduit également par la consolidation de la présence dans les deux régions prioritaires, au travers des programmes suivants :

- ◆ La *Pacific Deterrence Initiative*, pour laquelle le DoD demande 6,1 Mds\$, afin de continuer à adapter son déploiement et de soutenir les partenaires régionaux ;
- ◆ L'*European Deterrence Initiative*, qui diminue néanmoins faiblement par rapport à 2023 (3,6 Mds\$ au lieu de 4,3), hors aide apportée à l'Ukraine.

A cet égard, on peut noter que le DoD compte sur le renouvellement des crédits exceptionnels en 2024 pour soutenir son engagement, de sorte qu'il ne demande que 300 millions pour le programme d'aide à l'Ukraine (*Ukraine Security Assistance Initiative*), alors que le Congrès en a autorisé 8,7 Mds\$ en 2023. Ce pari est lui aussi risqué, compte tenu du contexte politique, surtout si une même loi de financement sert à soutenir l'Ukraine et à augmenter les crédits « ordinaires » du DoD. On peut aussi penser que le déroulement de la « contre-offensive » ukrainienne aura un impact sérieux sur le niveau de l'aide future.

Dans l'ensemble, le budget de la coopération de sécurité est réduit à 3,7 Mds\$. L'essentiel va toujours au *Central Command* (1,1 Md\$), suivi de l'*European Command* (858 millions\$). Cela témoigne de la place désormais secondaire des activités de type formations, exercices et visites, pourtant proclamées indispensables dans le contexte de la lutte d'influence mondiale entre grandes puissances.

La compétition semble surtout se jouer aux États-Unis mêmes, où il convient de préserver les atouts qui ont fait la suprématie de l'appareil de défense : la qualité des armées et le dynamisme de la BITD.

Comme toujours, le DoD rappelle que la puissance militaire américaine repose avant tout sur un « capital humain » remarquable, dont il faut entretenir la diversité et les compétences. Le budget pour 2024 (178,9 Mds\$) prévoit la poursuite d'une multitude de programmes destinés à faciliter la vie des militaires et de leur famille, de même qu'une nouvelle augmentation des soldes, de 5,2%, contre 4,6% en 2023. Ces mesures s'avèrent d'autant plus nécessaires que les armées peinent à atteindre les niveaux d'effectifs autorisés, de sorte qu'ils sont réduits de près de 12.000 militaires d'active pour 2024¹⁸.

La stagnation des volumes de forces s'accompagne, comme on l'a vu, d'une attention particulière au soutien de l'innovation technologique. Le budget de RDT&E doit permettre à la fois de poursuivre la réalisation de programmes essentiels aux concepts opérationnels actuels (avec 1,4 Mds\$ pour les systèmes du *Joint All-Domain Command and Control*) et d'exploiter de nouvelles opportunités, notamment dans l'intelligence artificielle (1,8 Md\$). A plus long terme, le DoD demande 7,8 Mds\$ pour la recherche (S&T), avec des investissements tournés vers 14 domaines critiques définis en 2022, dont 17% pour la microélectronique. On notera cependant qu'en dépit du discours du DoD, les crédits S&T déclinent par rapport à 2023¹⁹.

L'accent est davantage mis, dans les présentations du Pentagone, sur le soutien accru à la BITD. La préservation d'une base industrielle et technologique innovante et résiliente est un enjeu constant depuis une décennie, et dont l'importance s'est trouvée confirmée par la lecture des opérations en Ukraine. Celles-ci justifient l'attention portée aux capacités de relancer rapidement et d'assurer la pérennité des chaînes de production, dans la perspective d'une confrontation majeure. La fabrication des systèmes de frappe apparaît assez logiquement comme le premier sujet d'intérêt. Dans ce domaine, le budget prévoit de consacrer plus d'un milliard à l'adaptation de la base industrielle. De plus, le DoD entend développer le recours à une autorisation spéciale du Congrès permettant de passer des commandes pluriannuelles (*Multi-Year Program*), pour les 5 types de missiles prioritaires²⁰. Cette nouvelle modalité d'acquisition doit contribuer à augmenter le rythme et la capacité de production des fournisseurs, en leur donnant de la visibilité. Outre les systèmes cinétiques, 4 autres secteurs industriels sont jugés critiques par le DoD : la microélectronique, le stockage d'énergie (batteries), la métallurgie et l'extraction de minerais rares. Outre leur importance pour les opérations, ces domaines sont ceux où la concurrence de la Chine est perçue comme la plus susceptible de remettre en cause l'avance technologique américaine.

Sans discuter de la pertinence des choix stratégiques, le budget du DoD se caractérise ainsi par une parfaite cohérence dans la priorité qu'il donne à la « compétition » avec la Chine et plus spécialement à la préparation d'un affrontement potentiel. Alors que le discours politique privilégie toujours l'évitement d'une telle confrontation, et que le concept opérationnel de « compétition »²¹ prétend donner aux armées un rôle plus large que le combat, c'est bien dans l'optique de s'assurer une victoire militaire que le DoD a développé sa dernière requête budgétaire et que le Congrès cherchera encore à l'augmenter.

NICOLE VILBOUX

Chercheuse associée, FRS

Notes

1. « [Department of Defense Releases the President's Fiscal Year 2024 Defense Budget](#) », Washington (D.C.), US Department of Defense, March 13, 2023.
2. Comptroller Michael J. McCord, [Press Briefing on President Biden's Fiscal 2024 Defense Budget](#), US Department of Defense, March 13, 2023.
3. *2022 National Defense Strategy of the United States of America*, US Department of Defense, October 2022, p. 7.
4. Comptroller Michael J. McCord, [Press Briefing on President Biden's Fiscal 2024 Defense Budget](#), op. cit.
5. Bryant Harris, « [GOP blasts 'inadequate' Biden defense budget as it vows spending cuts](#) », *Defense News*, March 10, 2023.
6. Le nombre d'articles consacrés à l'analyse du budget dans les grands *think tanks* tend à se réduire chaque année. Ce sont principalement les experts de tendance conservatrice qui se manifestent par leurs critiques.
7. L'accord du 26 mai, voté par le Congrès le 2 juin, prévoit également plusieurs mesures d'économie. Le plafonnement des dépenses « discrétionnaires » concerne les crédits demandés et votés chaque année, à l'exclusion des dépenses fédérales « obligatoires », correspondant à des prestations.
8. Chaque année, les armées ont pris l'habitude de fournir au Congrès une liste de leurs « priorités non financées », qui sert de base à l'augmentation des crédits dans la NDAA.
9. Une autorisation spéciale de crédits pour le soutien à l'Ukraine pourrait inclure des financements pour le DoD, sans lien avec la guerre. Joe Gould, Connor O'Brien, « [The debt deal limits Pentagon spending. Lawmakers are already figuring out ways around it](#) », *Politico*, June 1, 2023.
10. Mark Cancian, [Military Forces and Acquisition Programs: How Did They Fare in the FY 2024 Budget?](#), Commentary, CSIS, March 17, 2023.
11. Le système terrestre LGM-35A Sentinel, qui remplacera les Minuteman à partir de la fin de la décennie ; le sous-marin de classe Columbia, dont le premier exemplaire doit être produit ; le bombardier B-21 ; le F-35 à double capacité ; le missile Trident II et le *Long Range Standoff Weapon*.
12. Il faut y ajouter les 18,8 Mds \$ du Département de l'énergie destinés à l'entretien et au développement des charges nucléaires. Voir : « [Fiscal Year 2024 Defense Budget Request Briefing Book](#) », Fact Sheet, Center for arms Control and Non Proliferation, April 4, 2023.
13. Le Congrès a voté en 2022 deux lois de financement exceptionnel pour le soutien à l'Ukraine en 2023, attribuant 35,6 Mds \$ au DoD pour compenser les livraisons de matériels militaires prélevés sur son inventaire.
14. Mackenzie Eaglen, « [The U.S. Military Needs More Capital for Capital Assets](#) », *RealClear Defense*, May 22, 2023.
15. John Ferrari, « [The Pentagon's FY24 defense budget falls \\$40 billion short](#) », *Breaking Defense*, March 20, 2023.
16. Le programme *Enabling Future Capabilities Transition* (EFCT) permettrait par exemple au DoD d'économiser 3,8 Mds de coût de fonctionnement en 2024, par le retrait de systèmes tels que 2 Littoral Combat Ships de la Navy ou 42 A-10 de l'Air Force. [FY2024 Defense Budget Request: Context and Selected Issues for Congress](#), Washington (D.C), Congressional Research Service, May 31, 2023.
17. Mackenzie Eaglen, « [The U.S. Military Needs More Capital for Capital Assets](#) », op. cit.
18. Les effectifs diminuent dans la Navy, le Marine Corps et l'Air Force ; l'Army demeure au même niveau et seule la Space Force augmente, de 800 personnes. [FY2024 Defense Budget Request: Context and Selected Issues for Congress](#), op. cit.
19. Voir l'analyse de Brian Mosley, « [Department of Defense FY 2024 Request: Another Terrible Budget Request for Defense Research](#) », Computing Research Policy Blog, March 31, 2023.
20. Cela concerne les : *Guided Multiple Launch Rocket System*, *Navy Strike Missiles*, *Advanced Medium-Range Air-to-Air Missiles*, *Joint Air-to-Surface Standoff Missiles*, *Long Range Anti-Ship Missiles* et *Standard Missile-6*.
21. Joint Chiefs of Staff, [Joint Concept for Competing](#), US Department of Defense, February 2023.



L'Armée de l'Air et de l'Espace et l'aviation civile face aux conséquences du changement climatique



Les effets du changement climatique sont de mieux en mieux documentés et connus grâce aux travaux du Groupe intergouvernemental d'experts du climat (GIEC) notamment. Ces effets sont toutefois souvent perçus comme secondaires dans le secteur aéronautique lorsqu'ils sont considérés individuellement, mais ils constituent bel et bien une problématique globale pour l'aviation. Le secteur aéronautique a identifié clairement sa contribution aux émissions de gaz à effet de serre et s'est engagé dans des initiatives d'atténuation, à l'image du programme européen *Clean Sky*, suivi par l'*Advisory Council for Aviation Research and Innovation* (ACARE). En revanche, la nécessité d'adapter les métiers et les matériels de l'aéronautique aux conséquences du changement climatique n'est ni aussi étudiée, ni autant prise en compte par les industriels et les exploitants, aussi bien civils que militaires. Pourtant, les impacts sur les missions et les conditions d'opération des matériels de l'armée de l'Air et de l'Espace (AAeE) sont bien réels et limiteront à terme son efficacité si rien n'est fait. Le présent document référence ces impacts et propose un tableau récapitulatif des principales conséquences concrètes du changement climatique pour l'aviation civile et militaire.

Le changement climatique modifie l'ensemble des couches de l'atmosphère

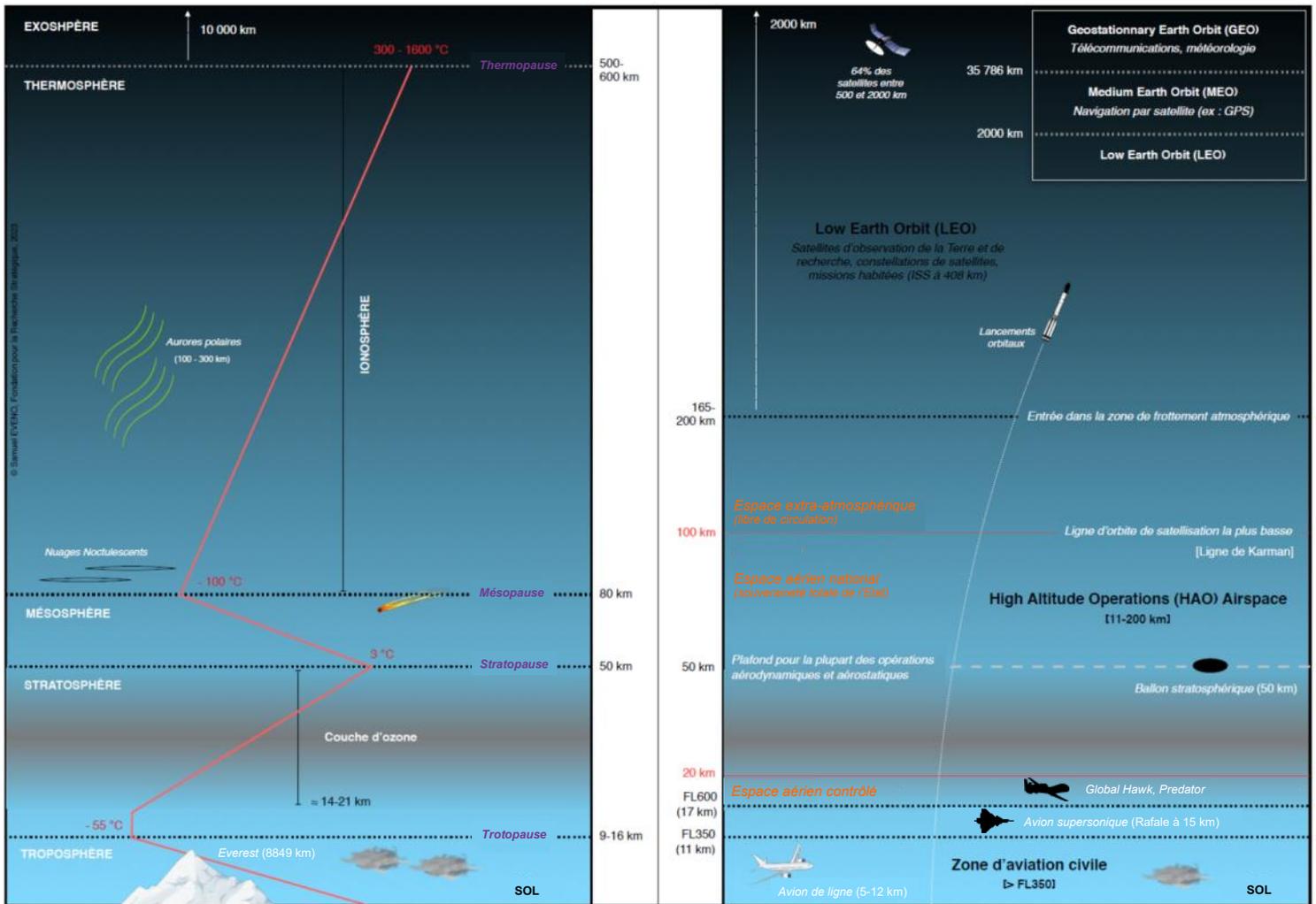
Paru entre 2021 et 2023, le sixième rapport (AR6) du GIEC conclut qu'il faut baisser les émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'ordre de 45% d'ici 2030 pour limiter le réchauffement climatique à 1,5°C en 2100. Cependant, les projections du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) montrent que les politiques gouvernementales en faveur de l'atténuation, fixées depuis la COP26, ne limitent le réchauffement qu'à 2,4-2,6°C supplémentaires d'ici à 2100. De plus, au regard des émissions actuelles, le réchauffement devrait même atteindre le seuil symbolique des +1,5°C au plus tard en 2040. Dans tous les cas, la température moyenne à la surface de la Terre est vouée à encore augmenter en raison des émissions passées et futures. Par ailleurs, d'autres sources de préoccupations majeures sont soulignées par l'AR6 parmi lesquelles figurent l'élévation du niveau marin,

la forte hausse des émissions de méthane, ainsi que la perte d'efficacité des puits de carbone, ces réservoirs naturels ou artificiels qui absorbent et stockent le carbone de l'atmosphère.

Sous l'effet de ce dérèglement planétaire, plusieurs modifications physiques importantes touchent les cinq couches de l'atmosphère (troposphère, stratosphère, mésosphère, thermosphère et exosphère). D'abord, la hausse de la température dans la troposphère, couche la plus proche de la surface où sont concentrés la plupart des GES et où se produisent la majorité des événements météorologiques, provoque la dilatation de celle-ci. En conséquence, la tropopause, à savoir la limite entre la troposphère et la stratosphère située entre 9 et 16 km selon la latitude, s'élève de l'ordre de 40 à 120 mètres par décennie entre 1981 et 2015. Par ailleurs, la stratosphère, où se trouve la couche d'ozone, se refroidit d'une part (entre -0,56°C et -0,16°C par décennie dans la stratosphère moyenne et entre -0,62°C et -0,29°C dans la haute stratosphère durant la période 1980-2019), et s'amincit, d'autre part (400 mètres en moins entre 1980 et 2018). Le phénomène d'amincissement est voué à se poursuivre dans le temps – du moins au cours du XXI^e siècle – et la stratosphère devrait perdre environ 1,3 km d'épaisseur d'ici 2080, soit une baisse de 3,7% par rapport à l'épaisseur de cette couche durant la période 1980-2018.

S'agissant de la haute atmosphère (50 à 10 000 km), les trois couches qui la composent se refroidissent et rétrécissent également en réaction aux phénomènes décrits précédemment, en particulier dans la mésosphère, qui a perdu 2°C à 3°C et s'est réduite de 150 à 200 mètres par décennie jusqu'à présent. Une tendance qui devrait se confirmer dans le temps puisque que le refroidissement moyen global et la baisse de la densité de la thermosphère prévus pour la période 2015-2070 seront environ deux fois plus importants que par le passé. A ces changements s'ajoutent une perturbation attendue de l'ionosphère, grâce à laquelle le réfléchissement des ondes radioélectriques permet d'assurer les communications radios et satellites dont de nombreuses activités dépendent.

Correspondances entre les tranches d'altitude opérationnelle et des couches atmosphériques utilisées par les scientifiques



Les modifications de l'environnement climatique induites affectent d'ores et déjà les opérations de l'armée de l'Air et de l'Espace et devraient s'aggraver

En ce qui concerne l'aviation militaire, les changements environnementaux ayant un impact non négligeable sur les opérations de l'AAeE peuvent être répartis en trois grandes catégories : la perturbation du cycle hydrologique de la Terre, l'évolution de la densité de l'air sous l'effet de la hausse globale des moyennes thermiques et l'évolution des vents et des tempêtes.

Perturbation du cycle hydrologique

La modification du cycle hydrologique se traduit par la hausse des précipitations globales, la survenue plus fréquente de pluies violentes et soudaines, un taux d'humidité atmosphérique qui s'accroît, des écarts plus importants entre extrêmes humides et secs, de plus en plus de tempêtes extrêmes, notamment dans l'Atlantique et le Pacifique Nord, etc. Ces phénomènes compliqueront la planification des vols, en particulier pour les hélicoptères, à cause du manque de visibilité et de plafond optimal. Il sera nécessaire d'adapter davantage le profil des missions, en faisant preuve d'un maximum de flexibilité, et les aéronefs seront de plus en plus exposés à des

risques d'endommagement, voire de destruction. L'humidité crée quant à elle des problèmes de corrosion, menaçant surtout les composants électroniques, et peut limiter le vol à vue en brouillant la visibilité, sans compter le fait qu'elle altère aussi les performances des capteurs (IR2, IR3) et du laser de visée. A cela s'ajoute des conditions plus propices au givrage, qui dégrade les performances des aéronefs à cause des masses de glace qui s'accumulent sur les ailes et les pales. En vol, les avions de chasse sont moins concernés par ce problème, tandis que les missions à bord d'hélicoptères et de gros porteurs seront plus souvent annulées ou réduites dans le temps pour atténuer les risques. Au sol, tous les types d'aéronefs sont vulnérables s'ils ne sont pas à l'abri. Les épisodes de grêle, auxquels les verrières des aéronefs sont très sensibles, devraient aussi s'intensifier et poser le même problème que pour le givrage. Enfin, la multiplication et l'intensification des orages et risques de foudre menacent la sécurité des équipages et la protection de l'électronique embarquée. A l'avenir, l'évolution du front intertropical (FIT) en Afrique, ainsi que des phénomènes de mousson et d'El Nino, sont particulièrement préoccupants pour la bonne conduite des opérations de l'AAeE face à un risque de foudre spatialement plus étendu et potentiellement plus intense.

Evolution de la densité de l'air et réchauffement global

L'élévation globale des températures agit mécaniquement sur la densité de l'air, dans la mesure où l'air se dilate en se réchauffant. De cette façon, le nombre de molécules assurant la portance des aéronefs diminue, ce qui altère leurs performances au décollage, en vol et à l'atterrissage. La densité de l'air à proximité de la surface est celle qui a le plus baissé. L'altitude-densité (c'est-à-dire le lien altitude-pression corrigé en fonction des variations de température), paramètre de base pour le vol d'un aéronef, est ainsi largement modifiée. Ce phénomène concerne aussi bien les flottes de transport que de chasse et d'hélicoptères. Afin d'y faire face, les opérationnels sont contraints de réduire la capacité d'emport au décollage (armements, hommes, carburant) ou d'allonger les distances de décollage, ce qui n'est pas toujours possible. Le profil des missions et la capacité de projection pourront ainsi être limités. Toutefois, les aéronefs sont rarement chargés au maximum de leurs capacités, donc il reste des marges substantielles en cas d'imprévus. Concernant les impacts de l'augmentation des températures moyennes à travers le monde, ils sont nombreux : réduction de la charge utile lors des épisodes de chaleur extrême en période estivale, adaptation des plans de ravitaillement et des plages horaires (en privilégiant la nuit et la matinée plus fraîches), hausse de la consommation énergétique pour la climatisation, dégradation de performances et vols plus fréquemment en condition de « mode dégradé », baisse de l'efficacité de certains équipements (caméra thermique, guidage infrarouge), hausse des risques d'épuisement des équipages (dont la capacité de discernement est altérée), augmentation du nombre de pannes, etc.

Evolution des vents et des tempêtes

Enfin, le changement climatique modifie la structure et la vitesse des vents, ce qui a des conséquences durables sur la vitesse et les trajets des vols. La modification des trajectoires des courants-jets devrait entraîner une modification des cartes des vents et donc des routes aériennes. C'est une évolution qu'il convient de prendre en compte dans la planification des futures missions. Dans certains cas, les pistes ne seront plus orientées dans le sens des vents dominants, entraînant ainsi des pertes de performance au décollage et à l'atterrissage. En outre, des vents de plus en plus imprévisibles créeront davantage d'incertitudes pour le guidage des missiles en vol dans la basse atmosphère. L'intensification des vents violents et des turbulences favorisera le décrochage des turbines et l'arrêt des moteurs. Etant déjà contraints d'éviter les zones de turbulences, les avions-cargos verront la planification de leurs missions se compliquer. Les avions de transport et les hélicoptères sont les plus touchés par ces phénomènes, car le pilotage deviendra plus difficile à leur bord et la nécessité d'atterrir rapidement dans ces conditions s'imposera plus souvent. Certaines missions seront de plus en plus fréquemment annulées à cause des vents violents, car ces derniers empêchent le saut en parachute, l'éjection des pilotes en cas d'urgence ou la préparation des hélicoptères au sol. Pour finir, les tempêtes de sable et de poussières de plus en plus intenses et fréquentes limiteront la visibilité et donc le vol à vue, à tel point que des décollages et des atterrissages

seront retardés, tandis que des vols seront déroutés. Les particules de sable et de poussière érodent les surfaces et endommagent notamment les moteurs d'hélicoptères. Au Mali, le sable abrasif du désert accélère le vieillissement des matériels et des équipements. Par conséquent, des pannes à répétition et des envois en révision plus fréquents sont à prévoir, de même qu'une surconsommation de certains éléments (hélices pour vecteurs tactiques, pales d'hélicoptères, moteurs, verrières de cockpits, turbogénérateurs de démarrage, etc.), ce qui aura un coût logistique et de maintenance non négligeable. De plus, les poussières et le sable transportés par les vents causent des problèmes de santé tels que des migraines, des poussées d'hypertension artérielle, des bronchites, ainsi que des épidémies de méningite.

Les opérations spatiales militaires également exposées à des risques, malgré davantage d'incertitudes

Evolution de la couverture nuageuse

Le changement climatique devrait avoir des conséquences sur la couverture nuageuse dans la mesure où il entraîne une diminution de la fraction couverte par les nuages bas d'une part, et d'autre part une élévation des nuages hauts, renforçant ainsi l'effet de serre. En outre, le nombre et la répartition spatiale des nuages à la surface de la Terre va évoluer : il y aura de moins en moins de nuages dans les zones arides, ainsi que là où l'humidité baisse légèrement, tandis que le couvert deviendra de plus en plus opaque dans les zones humides appelées à l'être davantage en raison du dérèglement climatique. Par ailleurs, avec le refroidissement croissant de la mésosphère, la concentration de vapeur d'eau s'accroît dans cette couche, ce qui favorise l'apparition de nuages noctulescents (NLC) plus brillants, à des latitudes moins élevées et plus tôt dans l'année. Au vu de ces évolutions, les performances des capteurs optiques des satellites, dont dispose la France, pourraient se dégrader ou être inopérantes dans certaines régions où elle est présente et/ou impliquée (Indo-Pacifique, Amérique latine, Afrique tropicale, Europe de l'Est).

Perturbation des couches ionosphériques

Le refroidissement et la contraction thermique des couches supérieures de l'atmosphère se traduisent par un abaissement des couches ionosphériques. L'ionosphère pourrait être affectée par des changements majeurs, comme l'évolution du contenu total en électrons (*Total Electron Content* – TEC), susceptibles d'altérer les performances des satellites radars permettant d'observer la Terre. Les perturbations ionosphériques peuvent surtout poser problème pour les signaux GPS et, dans une moindre mesure, pour les signaux de télécommunication. A l'avenir, si les communications radios et satellites sont moins fiables à cause du changement climatique, cela aura nécessairement un impact sur les opérations militaires dans des théâtres d'opération éloignés.

Baisse de la densité dans la haute atmosphère

Plusieurs études ont démontré que le refroidissement et la rétractation de la mésosphère entraînent une baisse de la densité des couches supérieures à hauteur fixe : ces dernières

« s'effondrent » et l'atmosphère perd ainsi en densité. Ce phénomène réduit la traînée atmosphérique sur les engins spatiaux traversant la thermosphère (dont les satellites notamment), ce qui signifie qu'ils sont insuffisamment ralentis et la force d'attraction s'affaiblit. Par conséquent, leur durée de vie s'allonge et le taux d'accumulation des débris spatiaux (vieux satellites complets hors d'usage, morceaux de fusée, boulons, sangles, objets perdus par des astronautes, etc.) s'accroît. D'ici une dizaine d'années, ce sont entre 65 000 et 100 000 satellites qui devraient graviter entre 500 et 800 km, ce qui accentueraient les risques de collision pour toutes les constellations de satellites actuelles et futures (Space X, Blue Origin, One Web, StarNet, Cinnamon, CERES, etc.). Face aux changements environnementaux attendus dans la haute atmosphère, tous ces acteurs devront composer avec des délais plus longs pour la planification et une durée de déploiement plus courte, en particulier pour les petits et micro satellites (dits « CubeSats »).

Des infrastructures aéroportuaires et aérospatiales de plus en plus vulnérables

La situation géographique des aéroports peut conduire à l'intensification de certaines conditions météorologiques à l'échelle locale. Avec le réchauffement global, un risque de surchauffe des aéronefs et des bases aériennes est à prévoir, limitant parfois les décollages au-delà de certaines températures. A ces difficultés s'ajoute le problème de l'altitude-densité, aggravé par les fortes chaleurs, ce qui a des répercussions sur les capacités d'emport. A titre d'exemple, sur la base américaine de *Little Rock* dans l'Arkansas à 310 pieds (95 m), on mesurait au cours des trente dernières années une altitude-densité de 3000 pieds (914 m) pendant au moins 20% des jours du mois de juillet. A horizon 2040-2069, dans le cas du pire scénario (RCP 8.5), on estime qu'au moins 70% des jours de juillet auront une altitude-densité de 3000 pieds. La multiplication et l'intensification des vagues de chaleur accentuent la nécessité de climatiser davantage les bâtiments dans lesquels se prépare l'équipage, ainsi que les lieux où sont stockés les matériels militaires et les armements.

Les bases aériennes situées à proximité des côtes et/ou des cours d'eau seront de plus en plus exposées à des risques de submersion marine et d'inondation partielle ou totale. Dans cette situation, les pistes sont impraticables et les aéronefs sont contraints de rester au sol ou ne peuvent pas atterrir. Or, lorsque le trafic aérien est déjà dense et/ou concentré sur un seul axe, une inondation dans un aérodrome peut interrompre la liaison de sites militaires, ainsi que les approvisionnements. De plus, des risques de perte et d'immobilisation des matériels de servitude aérienne sont à prendre en compte. L'exemple de la base aérienne de Tyndall (Floride) illustre bien ce problème. En octobre 2018, à quelques semaines d'intervalle, les ouragans Michael et Florence ont frappé de plein fouet le littoral où se situe la base, et ont causé des dégâts considérables. 484 bâtiments ont été endommagés, ainsi que plusieurs avions de combat F-22, en raison de l'effondrement d'une partie du toit des hangars qui abritaient ces appareils, et 792 450 m³ de débris ont été retirés.

Estimée entre 4,7 et 6 milliards de dollars, la reconstruction de la base devrait durer cinq à sept ans. L'année suivante, la base d'Offutt (Nebraska) vit quant à elle un tiers de sa surface et 30 de ses bâtiments être inondés jusqu'à deux mètres au-dessus du sol, suite à la hausse rapide des niveaux d'eau des rivières environnantes, provoquée par des chutes de neige records. Côté français, certaines bases sont exposées à l'érosion du trait de côte ou à l'inondation/submersion, telles que celle de Port-Bouët en Côte d'Ivoire ou le centre spatial basé à Kourou en Guyane française.

Les tempêtes de sable et de poussières, les orages, l'expansion spatiale du risque de foudroiement et la hausse des précipitations globales et extrêmes sont susceptibles de fragiliser davantage les infrastructures, vouées à être de plus en plus soumises à la répétition de chocs plus ou moins violents. Ces paramètres nuisent aussi aux matériels (infiltration de sable ou de poussières dans les moteurs, risques de foudroiement, matériels endommagés en cas de retournement ou d'effondrement, etc.), ce qui nécessite de les abriter de plus en plus. L'évolution du front intertropical (FIT) en Afrique, sous l'effet du changement climatique, apparaît à ce titre sensible. La hausse attendue de l'humidité dans les régions de mousson aggravera les problèmes de corrosion sur les infrastructures et peut conduire à des accidents tels que des effondrements qui menacent la sécurité des militaires et des matériels. Avec l'évolution des vents dominants (*jet-streams*), les pistes de certains aéroports ne seront plus correctement orientées et la valeur maximale admissible de la composante de vent de travers (auquel les chasseurs sont sensibles) sera dépassée. Or, il ne sera pas toujours possible de construire une nouvelle piste ou d'en allonger quelques-unes si l'aéroport est trop enchâssé dans une zone urbaine.

Hormis les risques sur les infrastructures aéroportuaires, l'aviation civile et militaire apparaît confiante vis-à-vis de l'aptitude de ses équipements, et plus largement de ses capacités, à faire face aux conséquences du changement climatique. Mais les effets de l'évolution du climat sont vus le plus souvent de manière isolée, or le tableau ci-après montre l'intérêt de les traiter conjointement et d'examiner la combinaison de ces risques pour le secteur aéronautique. Ces effets sont d'ores et déjà variés et significatifs, que ce soit dans des zones géographiques particulières ou de manière saisonnière. Les projections du GIEC montrent que ces conséquences dimensionnantes pour l'aviation vont concerner des zones géographiques étendues, et pendant des intervalles de temps plus longs. L'aviation civile comme militaire est ainsi exposée à des risques de nature différente mais bien réels, qui nécessiteront des évolutions des procédures, des doctrines et des équipements pour conserver des impératifs comme la sécurité et la performance opérationnelle.

SAMUEL EVENO

Chargé de recherche, FRS

ALEXANDRE TAITHE

Maître de recherche, FRS

Tableau synthétique des effets des changements environnementaux dans l'atmosphère sur l'aviation civile et militaire

Changements environnementaux dans l'atmosphère	Impacts sur ...
... l'aviation civile	... l'aviation militaire
<p>Hausse globale des moyennes thermiques (stress thermique) ; Vagues de chaleur plus fréquentes, plus intenses et plus précoces</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la charge utile effective à bord des avions-cargos lors des épisodes de chaleur extrême en période estivale. - En OPEX, le stress thermique entraîne des interdictions de vol et pèse sur la planification opérationnelle (vols davantage prévus lors des plages horaires moins chaudes) : tout est défini dans les Conditions particulières de maîtrise des risques (CPMRA) avec trois niveaux d'application : normes standard, normes particulières et normes exceptionnelles. - Epuisement des équipages (les mauvaises nuits en forte chaleur affectent la prise de décision et le jugement, plus de micro-sommeils), les délais de variation des extrêmes de températures ne permettent pas de s'adapter (altération de la capacité de discernement). Un pilote dans sa cabine peut parfois attendre deux heures avant de décoller donc il y a plus de risques de malaises. - Il faudra avoir recours à davantage de climatisation au sol pour les phases de préparation de l'aéronef et des équipages à bord, ce qui pourrait conduire à revoir les procédures de climatisation pour tous les aéronefs et à systématiser la climatisation dans le cockpit et la carlingue - Planification opérationnelle : en période de forte chaleur, les vols peuvent être interdits pendant les heures chaudes ou reportés à des horaires où les températures sont plus fraîches (nuit, matinée), donc le soutien aérien sera réduit. - Des hélicoptères moyens d'ancienne génération peuvent davantage être sensibles à l'élévation des températures : les spécifications techniques vont jusqu'à 50°C et il est possible d'aller au-delà mais c'est très rare et fortement décommandé. - Certains outils sont moins efficaces : les caméras thermiques distinguent par exemple moins bien les points chauds dans une atmosphère plus chaude.
<p>Réduction des plages opérationnelles (vols interdits/impossibles durant les heures chaudes de la journée).</p> <p>Augmentation du nombre de jours de restrictions de vol.</p> <p>Baisse de la portance des avions, de l'ordre de 1% à chaque hausse de 3°C, ce qui rend plus difficile le décollage, voire impossible.</p> <p>Dans les aéroports en altitude, le problème de la portance est encore plus important dans les aéroports car l'air est plus rare et les pistes sont plus courtes : un avion moyen a besoin de 2km de piste quand il fait 20°C et 2,5 km à 40°C.</p>	

Changements environnementaux dans l'atmosphère		Impacts sur ...	
		... l'aviation civile	... l'aviation militaire
Évolution de la densité de l'air	Baisse de la densité à proximité de la surface (NSAD)	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la masse maximale totale au décollage (MTOW), de l'ordre de 5% dans les latitudes septentrionales de l'hémisphère Nord, surtout dans les aéroports en altitude. - Baisse de la charge utile transportée, entre 8,5% et 19% tout au long de l'année (-1% au cours des 75 dernières années dans le corridor transatlantique ; perte nette de charge utile pour tous les avions dans ce corridor comprise entre 5% et 8,3%). - Augmentation du nombre de jours de restrictions de poids. - Répercussions économiques en termes de transport de passagers avec leurs bagages (baisse de 6% de la capacité totale de transport). - Potentiel renforcement de la réglementation en matière de performance au décollage à travers le MTOW par les agences gouvernementales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la capacité d'emport : moins d'armements ou de carburant ou d'hommes embarqués à bord des avions de chasse (cet appareil peut emporter l'équivalent de son poids en armement et pourrait voir cette charge être divisée par deux). - La hausse de l'altitude-densité touche l'aviation civile et les hélicoptères mais pas les avions de chasse dont les moteurs sont « surdimensionnés » par les constructeurs (pas besoin d'allonger les pistes car les militaires n'utilisent qu'un tiers des pistes standard OTAN de 2400 x 45).
	Baisse globale de la densité de l'air	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la portance des avions et de la puissance des moteurs. 	<ul style="list-style-type: none"> - La capacité d'emport diminue, ce qui implique de choisir entre transporter moins d'armements, de carburant ou d'hommes (le choix dépend du type de mission : pour le transport, le carburant sera privilégié, tandis que pour l'attaque, ce seront les hommes et l'armement).
	Hausse de l'altitude-densité	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la portance des avions, de l'ordre de 1% pour chaque hausse de 3°C car l'air est moins dense. - Baisse des performances au décollage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exemple de la base de l'US Air Force de Little Rock : l'altitude-densité atteignait 3000 pieds durant au moins 20% des jours du mois de juillet au cours des 30 dernières années (3100 pieds d'altitude, 90 m) et devrait représenter 70% des jours de juillet, à horizon 2049-2069 (RCP 8.5).
			<ul style="list-style-type: none"> - Les moteurs des avions de chasse s'épuisent plus vite en période de forte chaleur (jusqu'à 10% de perte de puissance). - Les fortes températures induisent des pertes de rendement sur les groupes électrogènes et les climatiseurs. - Le stockage des munitions est compromis par la hausse des températures qui peut donner lieu à des incendies ou des explosions des dépôts de munitions inexploités (<i>Unplanned Explosions at Munitions Sites</i>, UEMS).

Changements environnementaux dans l'atmosphère		Impacts sur ...	
	... l'aviation civile	... l'aviation militaire	
	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'allonger les pistes de roulage avant le décollage, entre 0,95% et 6,5% sur la période 2021-2050 par rapport à 1976-2005 pour les avions de ligne en période estivale. - Baisse du taux de poussée de l'ordre de 0,68% à 3,4% sur la période 2021-2050 par rapport à 1976-2005 pour les avions de ligne en période estivale. - Aéroports disposant de courtes pistes et dans des zones où l'espace est restreint seront moins desservis, surtout pendant l'été. - Baisse du taux de montée (fixé autour de 3% par toutes les compagnies aériennes). - Baisse du plafond pratique. - Baisse de la capacité d'emport. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse de la capacité d'emport, allongement des pistes pour les gros porteurs (jusqu'à 400 mètres supplémentaires pourraient être nécessaires pour ces derniers). - Les avions de chasse ne sont pas affectés au niveau des performances au décollage et à l'atterrissage, contrairement aux avions-cargos (qui ont déjà besoin de 2 à 3 km de piste pour décoller) et aux hélicoptères. 	
Multiplication et intensification des turbulences globales	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du nombre d'incidents météorologiques lors des vols commerciaux. - Augmentation du nombre d'incidents mécaniques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les avions-cargos ont pour obligation d'éviter les zones de turbulence, ce qui complique la planification des missions en amont et en temps réel. 	
Évolution des vents	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation du nombre d'incidents météorologiques lors des vols commerciaux (exemple du vol Istanbul-New York en 2019). - Augmentation du nombre d'incidents mécaniques. - Davantage de retards et de déviations. - Moyens et technologies disponibles pour détecter les CAT ? A priori pas possible avec la technologie embarquée à bord des avions. - Les avions passeront plus de temps en CAT (environ 3% de leur temps de croisière dans des turbulences légères ou plus importantes et 1% dans des turbulences modérées ou plus importantes aujourd'hui) ? - Faibles marges de contrôle (au niveau d'altitude où ont lieu les CAT) plus longues lors des vols ? Plus d'effets de surprise ? 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile anticipation des turbulences en air clair (CAT) en amont lors de la planification des vols, contrairement aux zones de turbulence identifiées dans un couvert nuageux visible. - Des CAT particulièrement violentes peuvent entraîner un décrochage des turbines et un arrêt du moteur, qui provoquent une baisse de la pressurisation dans la cabine. 	

Changements environnementaux dans l'atmosphère		Impacts sur ...	
		... l'aviation civile	... l'aviation militaire
Multiplication des vents violents			<ul style="list-style-type: none"> - S'il y a trop de vent, l'éjection des pilotes est trop dangereuse donc la mission est annulée sauf urgence (problème de planification). - La vitesse et le sens du vent sont importants pour les sauts en parachute des commandos de l'Air pour déterminer leurs paramètres de saut.
Intensification des courants-jets (<i>jet-streams</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Raccourcissement des vols vers l'ouest car les avions sont ralentis et allongement significatif des vols vers l'est car les avions seront davantage poussés. - Modification des routes aériennes et nécessité de construire de nouvelles pistes adaptées au sens nouveau du vent mais cela ne sera pas toujours possible si l'aéroport est trop encaissé dans des zones denses. 		<ul style="list-style-type: none"> - La modification des <i>jet-streams</i> entraîne une modification des cartes des vents et donc des routes aériennes (certains aéroports ne pourront pas construire de nouvelles pistes adaptées au sens du vent s'ils sont déjà trop encaissés dans des zones denses) : cette modification peut favoriser les vents traversiers qui posent notamment problème pour les avions de chasse, à titre d'exemple.
Migration du <i>jet-stream</i> Nord-Atlantique vers le nord / Oscillations nord-sud plus marquées	<ul style="list-style-type: none"> - Plus de précipitations, plus de vagues de chaleur, plus de changements brutaux, donc révision des modèles météorologiques. 		<ul style="list-style-type: none"> - La modification des <i>jet-streams</i> entraîne une modification des cartes des vents et donc des routes aériennes.
Ralentissement des vents (« calme global »), comme en 2021, surtout en Méditerranée et en Europe du Nord (si +2°C)	<ul style="list-style-type: none"> - Baisse des performances au décollage (le GIEC évoque dans ses travaux une « forte probabilité que les vitesses moyennes du vent diminuent dans les régions méditerranéennes vers 2050 », ainsi qu'une réduction probable en Europe du Nord). 		<ul style="list-style-type: none"> - La distance de décollage nécessaire diminue à mesure que la vitesse du vent (mesurée en noeuds) augmente, donc un ralentissement des vents récurrent pourrait entraîner un allongement des pistes dans certains cas rares. - Il faudra consommer plus de carburant pour faire décoller un chasseur sur le pont d'un porte-avions si la vitesse du vent baisse.
Intensification des phénomènes de cisaillement du vent et de rafales descendantes (surtout dans l'Atlantique)	<ul style="list-style-type: none"> - Hausse du nombre d'incidents météorologiques lors des vols commerciaux. - Hausse du nombre d'incidents mécaniques. - Davantage de retards et de déviations. 		<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'atterrir si les vents de cisaillement sont trop forts pour les avions de transport et les hélicoptères mais attention aux approches macro (vigilance pour la base d'entraînement à Orange).
Modification de l'orientation des vents	<ul style="list-style-type: none"> - Réorientation des pistes. 		<ul style="list-style-type: none"> - Réorientation des pistes mais seulement dans certains cas car ce n'est pas toujours possible en tenant compte du relief (cas par cas).

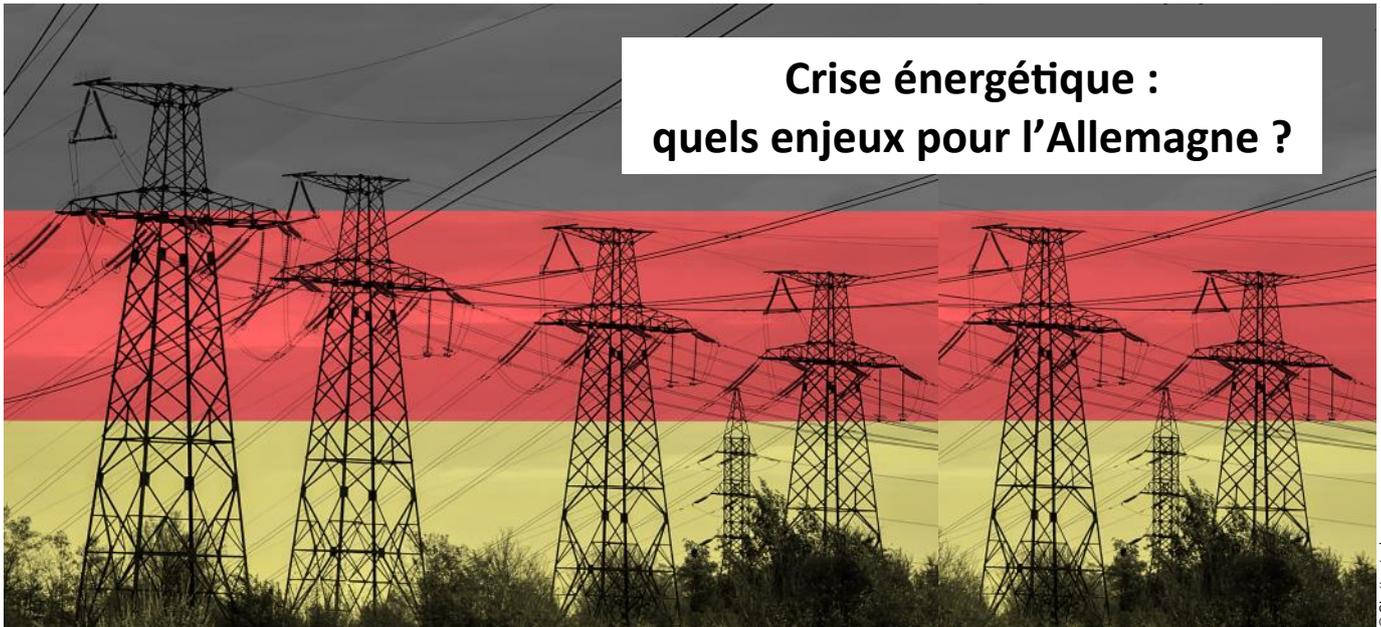
Changements environnementaux dans l'atmosphère		Impacts sur ...	
		... l'aviation civile	... l'aviation militaire
	Augmentation de la variabilité des vents en haute et basse atmosphère	- Difficultés pour la planification des vols.	- Trajectoires des missiles et des satellites affectées. - Planification des vols en amont et en temps réel plus compliquée.
Évolution de l'humidité globale	Hausse de l'humidité atmosphérique (cf. règle de Clausius-Clapeyron), notamment dans les régions subtropicales côtières	- Baisse du taux de poussée des avions proportionnelle à la hausse du taux d'humidité présent dans l'air.	- Problèmes de corrosion particulièrement importants pour les hélicoptères en Guyane française, ainsi que pour les infrastructures (traitements anti-corrosion très longs). - Les machines modernes souffrent surtout au niveau des composants électroniques comme les cartes de pilote automatique ou la connectique. - Problème se cumulant avec les effets d'atmosphères salines (Djibouti). - L'humidité accélère le vieillissement des hélicoptères mais n'influence pas les performances. - Problème de visibilité avec une masse d'air humide. - Problème de résistance/résilience des matériaux et/ou composants aux fortes amplitudes thermiques.
	Hausse du volume de précipitations dans certaines régions (Afrique tropicale, Europe de l'Est, Amérique du Nord, Asie centrale, Asie du Sud-Est)	- Problèmes de visibilité en vol, lors du décollage et de l'atterrissage.	- Problèmes de planification opérationnelle des missions pour les vols en hélicoptère car il faut des conditions de visibilité et de plafond optimaux. - Problèmes de visibilité, en particulier pour les hélicoptères qui requièrent des conditions de visibilité et de plafond optimaux. - Risques supplémentaires du profil des missions, nécessité d'atterrir en urgence, planification opérationnelle plus difficile. - Dégâts considérables sur les matériels, même ceux entreposés lorsque l'infrastructure est détruite.
Évolution des précipitations	Hausse de la fréquence des épisodes de précipitations violentes et soudaines	- Problèmes de visibilité au décollage et à l'atterrissage (notamment dans les aéroports en altitude et disposant de courtes pistes).	- La survenue de précipitations soudaines et violentes et/ou d'autres événements météorologiques associés peut contraindre l'aéronef à atterrir en urgence avant d'atteindre la base au retour ou la cible, donc cela complique la planification des missions (plus de flexibilité). - Ce phénomène peut engendrer des débats importants sur les infrastructures et les matériels, comme au Tchad en 2017.

Changements environnementaux dans l'atmosphère		Impacts sur ...	
	... l'aviation civile	... l'aviation militaire	
Hausse de volume de précipitations charriées par les cyclones	- Problèmes de visibilité en vol, lors du décollage et de l'atterrissage.	- Problèmes de visibilité en vol, lors du décollage et de l'atterrissage, en particulier pour les hélicoptères. - Risques supplémentaires du profil des missions, nécessité d'atterrir en urgence, planification opérationnelle plus difficile. - Dégâts considérables sur les matériels, même ceux entreposés lorsque l'infrastructure est détruite.	
Évolution des tempêtes et des orages	- Pollution de l'air et baisse de visibilité à cause des brumes épaisses dans le sillage des tempêtes. - Les problèmes de visibilité au décollage et à l'atterrissage obligent parfois à retarder ou à dérouter des vols (impact sur la planification des vols). - Besoin de plus de protections des appareils au sol (bâchage partiel ou total, arrimage des appareils). - Les particules de poussière et de sable érodent les surfaces des aéronefs et endommagent les moteurs.	- Baisse de la visibilité à cause de la poussière (limite du vol à vue qui s'applique déjà en général dans les zones d'intervention lors des opérations tactiques). - Les problèmes de visibilité au décollage et à l'atterrissage obligent parfois à retarder ou à dérouter des vols (impact sur la planification des missions). - Besoin de plus de protections des appareils au sol (bâchage partiel ou total, sainage des appareils). - Les particules de poussière et de sable érodent les surfaces des aéronefs et endommagent les moteurs (cf. problème de filtration d'hélicoptères de transport lors de Serval au Mali, taux de panne élevé, problèmes de moteur, usure plus rapide, changement des pièces plus rapide que ce qui est spécifié par l'industriel). - Le sable du Mali contient un fort taux de silice donc il est très abrasif et érode davantage les surfaces. - Inutilisation des pièces d'artillerie à cause de l'ensablement des canons qui se grippent. - Hausse des coûts de maintenance et de remplacements. - La poussière peut se nicher dans les interstices, la cabine, les instruments mais elle n'a pas d'impact sur le vieillissement des appareils. - Les bâches bougent souvent lorsque le bâchage n'est pas optimal, ce qui permet au sable et aux poussières d'entrer en contact avec les bords d'attaque du cockpit et les rayer alors que la verrière doit être parfaitement transparente.	

Changements environnementaux dans l'atmosphère		Impacts sur ...	
	... l'aviation civile	... l'aviation militaire	
Intensification des risques de foudre (et peut-être une multiplication)	<ul style="list-style-type: none"> - Risques de foudroiement pour les avions. - Modification de l'altitude de vol pour éviter la foudre (grâce aux nouvelles modélisations au sol, les trajectoires d'évitement sont calculées pour économiser davantage de carburant). 	<ul style="list-style-type: none"> - Le foudroiement menace en particulier les communications radio, tandis que le reste est protégé : si les systèmes de communication et de guidage ne redémarreront pas, il faut suivre une procédure spéciale pour revenir à la base en mode manuel (problème en contexte de guerre). - La foudre peut frapper le cordon pyrotechnique intégré à la verrière et provoquer l'éjection non désirée du pilote dans de très rares cas. - La foudre est susceptible d'éblouir le pilote. - L'évolution du suivi du front intertropical (FIT), ainsi que des phénomènes de mousson et El Nino, sont des sujets préoccupants pour la bonne conduite des opérations de l'AAeE car les vols dans un orage de type FIT sont interdits en raison des conditions trop défavorables (vents de cisaillement trop forts combinés au risque de foudre par exemple). 	
Intensification des tempêtes violentes (partout sur Terre et surtout dans le Pacifique Nord et en Atlantique)	<ul style="list-style-type: none"> - Augmentation des risques d'incidents météorologiques humains et mécaniques. - Itinéraires de vol plus sinueux (la FAA recommande de ne pas s'approcher à moins de 20 000 marins, soit 37 km, d'un orage sévère). 	<ul style="list-style-type: none"> - La planification opérationnelle sera rendue plus difficile à cause de la prise en compte des cellules orageuses de plus en plus nombreuses et étalées. 	
Impacts généraux	<ul style="list-style-type: none"> - L'accumulation de neige sur les ailes pouvant peser jusqu'à plusieurs tonnes peut altérer les performances de l'avion. - L'accumulation de glace peut modifier la forme de l'aile, ce qui altère l'écoulement de l'air et réduire la portance de l'avion (nécessite un dégivrage avec de l'eau chaude et du glycol afin de faire fondre le dépôt humide et d'empêcher l'accumulation de nouvelles couches de neige avant le décollage). - Le froid empêche les moteurs de démarrer donc il faut les réchauffer à l'aide de gros ventilateurs (le glycol est trop acide pour cela). - L'air froid accroît la portance et la poussée des réacteurs et des hélices en vol, mais le problème du froid est très important au sol : par exemple, les réacteurs ne démarrent pas si l'huile n'atteint pas 40°C minimum, ce qui implique de préchauffer les moteurs. - Le système de freinage peut geler et ainsi empêcher le positionnement de l'aéronef sur la piste pour le décollage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les avions européens sont résistants au grand chaud mais ne sont pas dédiés au grand froid : il faut parfois jusqu'à une semaine pour redémarrer un avion, le stockage des appareils est plus long et plus cher (problèmes de maintenance, plus que de performance). 	
Évolution du grand froid			

Changements environnementaux dans l'atmosphère	Impacts sur l'aviation militaire
	... l'aviation civile	
<p>Multiplication et intensification des épisodes de grêle</p>	<p>- Les dégâts de la grêle dépendent de la vitesse de la chute et de la taille des grêlons : arrêt, voire destruction des moteurs, perte des moyens de communication par le bris des antennes, vitres du cockpit brisées, bosselage de la cellule et de toutes les surfaces exposées, notamment au niveau du bord d'attaque des ailes.</p>	<p>- Les hélicoptères doivent éviter au maximum les zones de grêle. - Les avions de chasse sont sensibles à la grêle et au verglas.</p>
<p>Baisse du nombre de jours propices à des pluies verglaçantes</p>	<p>- Moins de risques d'accumulation de glace sur les ailes des avions (la pluie verglaçante se transforme instantanément en glace dès qu'elle touche les ailes et s'accumule à un rythme de 50 mm/min), ce qui permet d'éviter de changer d'altitude ou de trajectoire pour contourner les pluies verglaçantes, sauf en Scandinavie où le nombre de jours propices à ces dernières est voué à augmenter au XXI^e siècle.</p>	<p>- Les masses de glace surfondues qui s'accumulent sur les surfaces d'un hélicoptère alourdissent l'aéronef (une centaine de kilos supplémentaires) : les performances et le profil de vol se dégradent car la portance baisse.</p>
<p>Multiplication et intensification des phénomènes de givrage</p>	<p>- L'accrétion de givre/glacé (même légère) entraîne une diminution du taux de montée, une baisse de la vitesse maximale, une hausse de la vitesse de décrochage et une baisse du plafond pratique. - Risques de décrochage en roulis du fait de l'accumulation non symétrique de givre/glacé sur les deux demi-ailes. - Baisse de la portance : la couche mince de la glace initiale, présentant des irrégularités, peut réduire de 20% le coefficient de portance en configuration de croisière. - Augmentation de la traînée (les performances de remise de gaz avec un moteur en panne ne sont plus satisfaites). - Caractéristiques des ailes gravement modifiées par la présence de contaminants givrés. - En transport public, les appareils à turbopropulseurs sont statistiquement plus touchés par ce problème que les jets lors des phases de vol. - L'engin est alourdi et les ailes, les gouvernes ou la dérive, parties essentielles au pilotage peuvent être entravées. - Nécessité de dégivrer les pistes de roulage. - Exposition des techniciens à des conditions de froid extrême (en dessous de -20°C, ils doivent effectuer des rotations toutes les 20 minutes maximum sur la piste car leurs vêtements ne les protègent plus suffisamment).</p>	<p>- Certains hélicoptères ont des capacités de résistance au givrage mais le vol dans ces conditions n'est pas recommandé car les qualités de vol seront immédiatement dégradées. - Les ailes et les pales sont les plus impactées car les masses de glace se forment sur ces surfaces et alourdissent l'appareil, ce qui dégrade les performances et le profil de vol puisque la portance baisse. - Tous les types d'aéronefs militaires sont sensibles au givrage lorsqu'ils sont au sol et surtout s'ils ne sont pas mis à l'abri (les avions de chasse et de transport sont en revanche plus préservés une fois en vol car les turbines sont très chaudes). - Risques de givrage sur les côtés de l'aéronef en vol mais la plupart possèdent des équipements dégivrants. - La mission peut être annulée si le risque de givrage est trop important, ce qui a des conséquences sur la planification des missions et l'organisation des vols. - Conditions de travail et de confort dégradées pour les personnels au sol (équipements à adapter, rotations plus fréquentes des équipes).</p>

Changements environnementaux dans l'atmosphère		Impacts sur ...	
		... l'aviation civile	... l'aviation militaire
Evolution de la couverture nuageuse	Si plus de nuages		<ul style="list-style-type: none"> - S'il y a plus de cumulonimbus à l'avenir, les trajectoires de vol seront peut-être plus sinueuses ou, du moins, la prévision météo sera de plus en plus importante. - Les équipages des systèmes de drone Reaper sont très impactés par les couches nuageuses qui altèrent grandement les images produites par leurs capteurs.
	Si moins de nuages		<ul style="list-style-type: none"> - Les hélicoptères volent toujours sous le couvert nuageux (norme standard : 170 pieds, 50 mètres) et parfois à 500 mètres pour un vol long en ligne droite sauf en contexte tactique.



Crise énergétique : quels enjeux pour l'Allemagne ?

L'Europe connaît une crise énergétique parmi les plus déstabilisantes du 21^{ème} siècle. Elle s'inscrit dans un temps long, caractérisé par l'épuisement progressif des réserves en énergies fossiles (hydrocarbure et charbon) au niveau mondial. Dans ce contexte, la dynamique de transition énergétique décarbonnée est perçue comme le moyen de faire face à la raréfaction des ressources. Cette crise énergétique résulte de tensions sur les approvisionnements, liées notamment à des événements géopolitiques, et aggravées par la guerre en Ukraine. Les vulnérabilités énergétiques de nos sociétés sont ainsi mises en lumière, et avec elles les problématiques de sécurisation des approvisionnements énergétiques. L'Union européenne, également Union énergétique depuis 2016, a permis aux États membres et à leurs pays voisins d'activer des mécanismes de solidarité préétablis et de coordonner leurs actions. Dans la mesure où chaque État membre a développé ses politiques énergétiques et mix de consommation propres, les réponses à la crise sont développées en conséquence à leurs spécificités nationales.

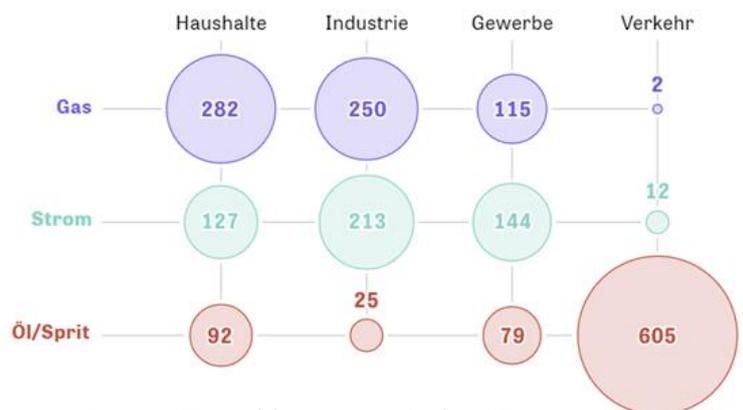
Rappel des fondamentaux historiques de la politique énergétique allemande

Historiquement, le charbon a longtemps occupé une place prépondérante dans le mix énergétique de l'Allemagne. Les larges gisements de charbon (essentiellement lignite et houille) dans la Ruhr et dans l'Est de l'Allemagne ont permis l'essor industriel de ces régions puis plus généralement de l'ensemble du pays¹. Par la suite, la perte de compétitivité du secteur du charbon, combinée à la poursuite de la *Ostpolitik*² à la fin de la guerre froide et dans les années 2000³, ont incité l'Allemagne à recourir de plus en plus massivement aux importations de ressources énergétiques, essentiellement gaz naturel, charbon et pétrole provenant de Russie. En 2021, ces importations représentaient près d'un tiers de la consommation énergétique nationale⁴. La construction du gazoduc Nord Stream 2 reliant directement la Russie et l'Allemagne – et dont le tracé fut fortement contesté par les pays d'Europe de l'Est⁵ – se justifiait du point de vue allemand par le fait que le

gaz naturel servait à remplacer le charbon et partiellement le nucléaire civil pour la production d'électricité, le chauffage résidentiel (par rapport au gaz dérivé des activités liées au charbon), ou encore comme vecteur énergétique gazeux nécessaire pour l'industrie lourde et chimique.

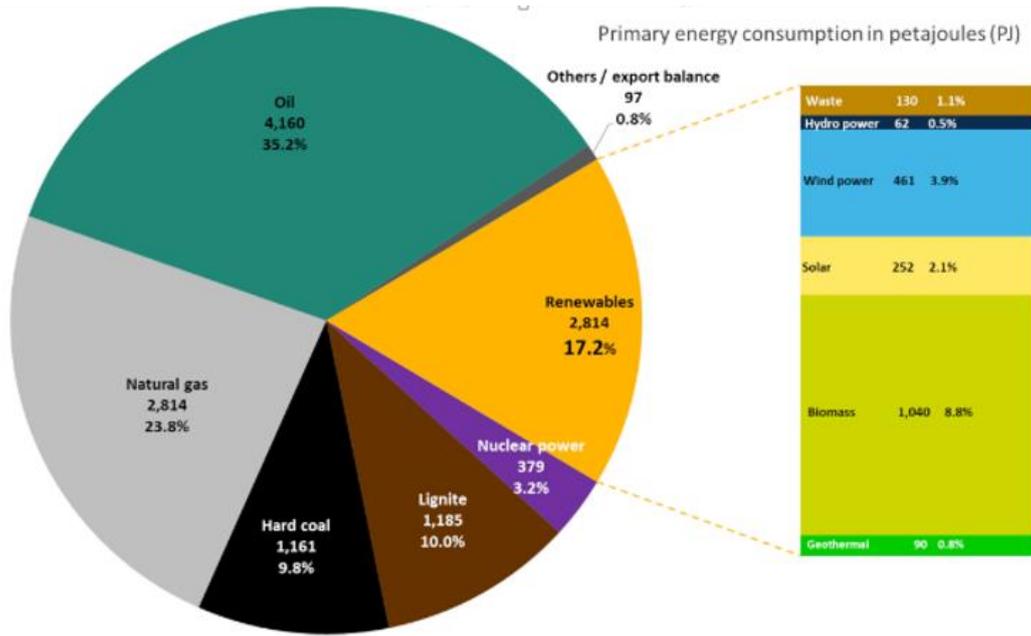
Dans le cadre des efforts de décarbonation, l'Allemagne a misé sur le développement industriel des énergies renouvelables et, depuis 2020, sur la production de l'hydrogène. L'objectif est de décarboner le mix de production électrique et de continuer à proposer une énergie sous forme gazeuse pour les industries lourdes, difficilement électrifiables. Les coûts engendrés par l'*Energiewende*⁶ sont répartis entre industries nationales et citoyens, au détriment d'ailleurs de ces derniers, la priorité étant de préserver la compétitivité des industries allemandes⁷. Dans le même temps, les énergies renouvelables (aujourd'hui associées aux technologies de l'hydrogène vert) sont devenues pour l'Allemagne et son industrie un « modèle énergétique » à commercialiser et à exporter en Europe et vers les autres continents.

Consommation énergétique en 2021 (TWh) selon les secteurs [résidentiel (*Haushalte*), industrie, tertiaire (*Gewerbe*) et transport par énergie (*Verkehr*)] et les types d'énergie [gaz (*Gas*), électricité (*Strom*), pétrole (*Öl/Sprit*)]



Source : AG Energiebilanzen e.V., septembre 2022

Bouquet énergétique primaire de l'Allemagne en 2022



Source : Clean Energy Wire, d'après les données préliminaires de AG Energiebilanzen 2022

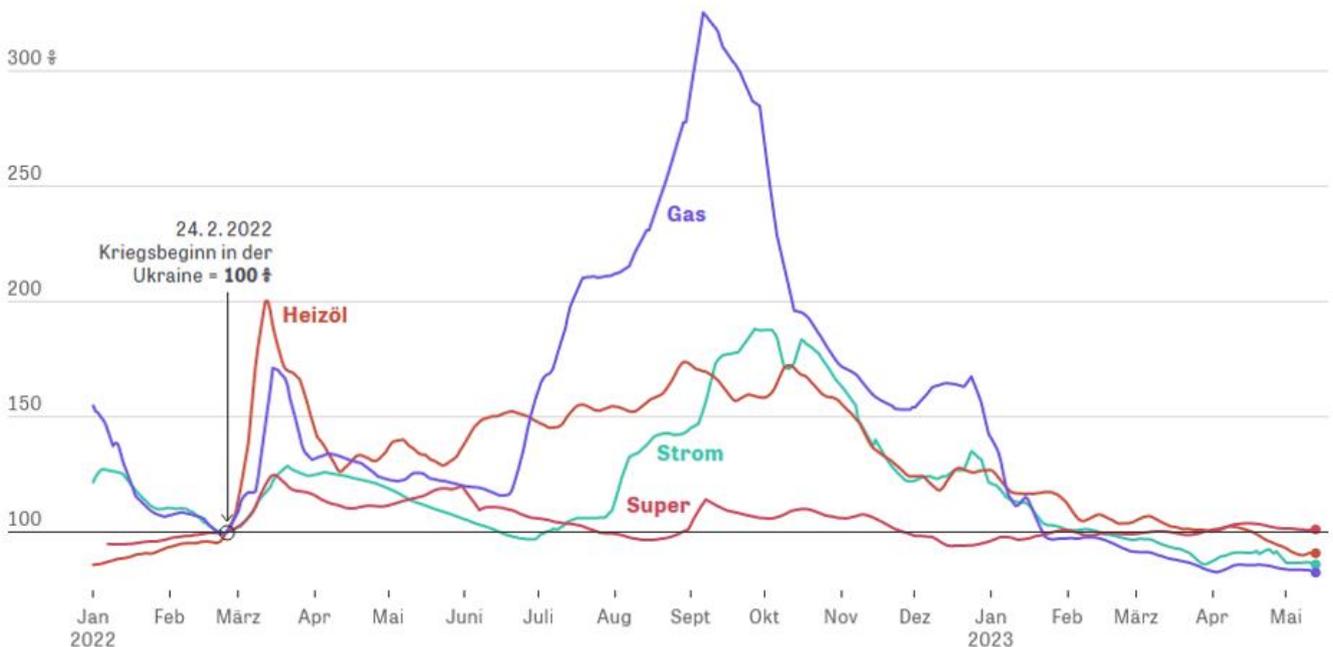
CC BY SA 4.0

Une situation énergétique européenne bouleversée par la guerre en Ukraine

L'invasion de l'Ukraine a conduit les pays occidentaux à adopter une série de sanctions visant la Russie. Elle a également été à l'origine de l'élaboration du plan *REPower EU*, dévoilé le 18 mai 2022, dont l'objectif est de « se défaire progressivement de la dépendance de l'Europe aux importations d'énergie russe, et ce dès que possible »⁸. Parallèlement, la réduction des livraisons de gaz vers l'Europe par Gazprom dès 2021⁹ et le sabotage coordonné de Nord Stream 1 et 2 en

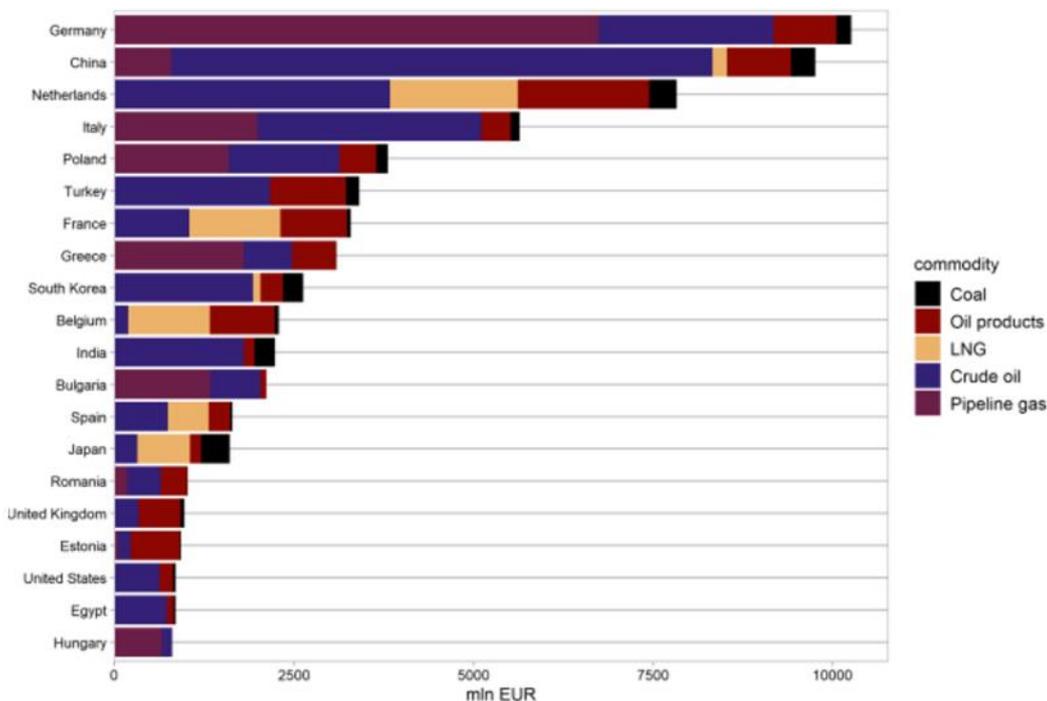
septembre 2022 ont physiquement et symboliquement rompu les principaux liens énergétiques entre l'Europe et la Russie. L'Allemagne se retrouve ainsi contrainte de compenser 55% de ses importations en gaz naturel, soit 40 milliards de m³ par an, l'équivalent de la consommation annuelle française en gaz. La compensation de cet approvisionnement en gaz à brève échéance a été complexe à envisager, puisque l'Allemagne était le seul pays côtier de la mer Baltique à ne pas avoir construit de terminaux GNL. En effet, contrairement aux pays voisins comme la Pologne, les États Baltes et la Finlande, l'Allemagne avait privilégié la construction du gazoduc Nord Stream 2.

Evolution des prix de l'énergie en Allemagne sur l'indice du début de la guerre en Ukraine, 14 mai 2023



Sources : ZEIT ONLINE, Verivox, Tankerkoenig.de, esyoil.

Principaux importateurs d'énergies fossiles provenant de Russie depuis le début de la guerre en Ukraine, en M€



Source : CREA, 17 mai 2022.

A l’instar de tous les pays européens présentant un niveau de dépendance énergétique élevé envers la Russie, l’Allemagne s’est trouvée confrontée à une flambée du prix de l’énergie (gaz et électricité), conséquence du mécanisme européen de fixation des prix. Le prix de gros de l’électricité est en effet indexé sur le prix de la dernière énergie appelée (gaz et charbon). Les factures énergétiques ont ainsi triplé en Allemagne, contribuant largement à la résurgence d’un taux d’inflation dépassant les 10% (contre 6% en France) fin 2022.

Réactions allemandes : entre ajustement et continuité

La situation particulièrement complexe de l’Allemagne, liée à ses caractéristiques de consommation et d’approvisionnement énergétiques, contraint le pays à infléchir radicalement certains pans de sa politique mise en œuvre au cours des deux dernières décennies. Ainsi, le prolongement du fonctionnement des 3 dernières centrales nucléaires continue de susciter de vifs débats au sein même de la coalition gouvernementale alors même qu’elles ont été définitivement arrêtées fin avril 2023. La « nationalisation » temporaire des actifs de Gazprom en Allemagne, l’entreprise d’État russe première détentrice de capacités de stockage gazier sur le territoire national, ou encore l’annonce de subventions censées garantir aux entreprises un prix de l’électricité à 6 centimes le kWh, vont à l’encontre de la conception d’un marché fortement libéralisé de l’énergie, pourtant prôné par l’Allemagne. Enfin, la nécessité de s’approvisionner en gaz a poussé le gouvernement allemand à lancer la construction accélérée d’un terminal GNL à Brunsbüttel (3,5 milliards m³ de GNL par an fournissant 7,5 milliards m³ de gaz dans les gazoducs) et de deux terminaux flottants de stockage et de regazéification du gaz (FSRU) à Wilhelmshaven. Dans la même optique, le gouvernement a redémarré des centrales à charbon et les a inscrites

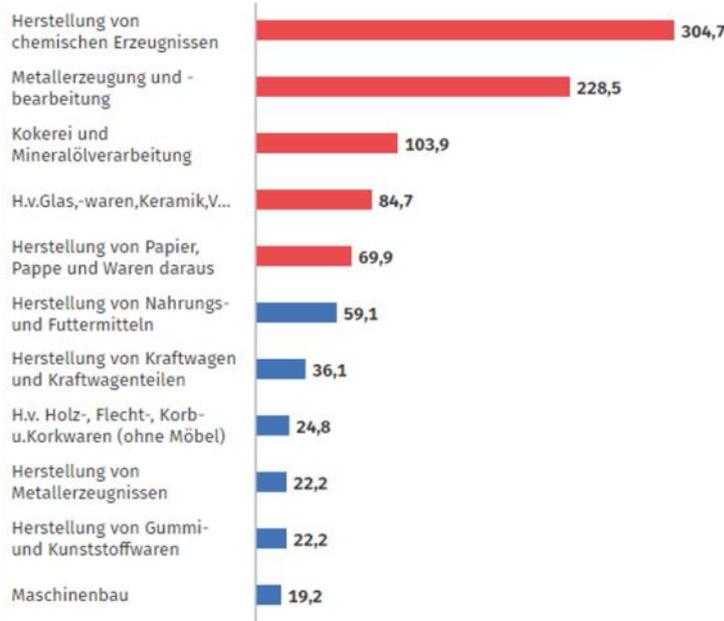
juridiquement comme unités de production énergétiques de réserve en cas de pénurie énergétique. Ces deux points semblent envoyer un signal de ralentissement des efforts de décarbonation, alors même qu’une sortie du charbon est théoriquement prévue en 2035.

Dans ce contexte, le gouvernement allemand continue de maintenir le cap en matière de développement des énergies renouvelables et de l’hydrogène vert, avec l’ambition d’atteindre 80% du mix électrique d’ici 2030 (contre 41% actuellement). Néanmoins, un consensus émerge dans les discours politiques allemands sur le rôle crucial des importations d’énergie afin de couvrir l’ensemble des besoins énergétiques du pays. L’Allemagne importe déjà 71% de ses besoins énergétiques. L’importation de l’électricité s’effectuera avec les pays voisins (France, pays de la Baltique, pays côtiers de la Mer du Nord et l’Autriche) dans le cadre des mécanismes du marché européen de l’énergie. Les projets d’importation de l’hydrogène semblent quant à eux se concentrer sur l’Espagne et surtout sur des régions hors UE tels que les pays du Maghreb (le Maroc notamment), les pays du Moyen-Orient mais également d’autres pays du continent africain. Ces pays partenaires rassemblent les caractéristiques géographiques propices à la production d’énergies vertes (y compris hydrogène vert¹⁰). Enfin, les États-Unis semblent être à court et moyen terme un partenaire clef pour garantir l’approvisionnement de GNL.

La sécurité énergétique intrinsèquement liée à la sécurité industrielle

Ces bouleversements dans la chaîne l’approvisionnement énergétique oblige les états européens à consolider leurs réflexions sur la sécurité énergétique. Dans le respect de la diversité des modèles énergétiques des États membres de

Consommation énergétique des industries par secteur, 2020, en Mrd. KWh



Energieintensive Industriezweige - Sonstige Industriezweige
 Die Übersicht enthält industrielle Wirtschaftszweige mit einem Energieverbrauch von mindestens 19 Milliarden kWh. Jahreserhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes, im Bergbau und der Gewinnung von Steinen und Erden (EVAS-Nr. 43531).

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2023

l'UE, les gouvernements ont élaboré des approches sensiblement différentes en vue d'identifier les risques et garantir un approvisionnement suffisant en énergie. La réponse adoptée par le gouvernement allemand s'articule autour de plusieurs axes. En premier lieu, elle mise sur la diversification des sources d'approvisionnement, ce qui implique d'élargir le nombre de pays partenaires de sorte que la contribution de chacun aux importations énergétiques annuelles de l'Allemagne puisse être comblée en cas de nécessité. Ensuite, la construction des terminaux GNL permet au pays de se doter des moyens de concrétiser cette ambition, contrairement aux systèmes gazoducs. Enfin, le recours au charbon comme énergie de réserve et les importations d'électricité sont censées garantir l'approvisionnement continu en quantité suffisante pour couvrir les besoins, pour un usage direct ou pour la production d'hydrogène.

Evolution des coûts pour la production de verre [Glas] et de produits dérivés [Glaswaren]

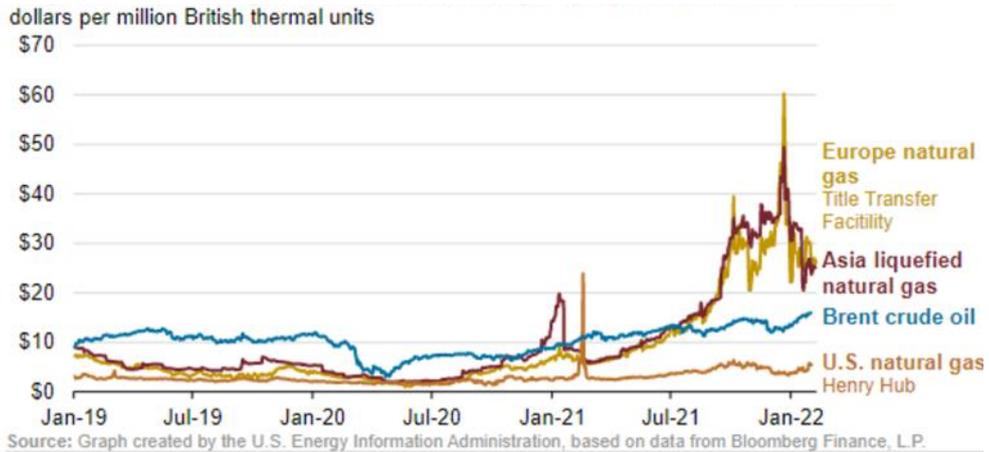


Source : Destatis, 2023

Les industries dites énergivores¹¹ représentant 76% de la consommation énergétique de l'ensemble du secteur de l'industrie, et ce dernier contribuant à hauteur de 22% du PIB national, le lien direct entre les variables de disponibilités/prix de l'énergie et les activités industrielles est identifié clairement comme un risque majeur pour l'activité économique du pays. Ses industries lourdes et énergivores sont particulièrement sensibles aux variations des coûts de l'énergie puisque ce facteur est incompressible dans les coûts de production, provoquant une répercussion immédiate et d'ampleur sur la compétitivité prix. Conséquence directe de cette situation, l'association des industriels du secteur chimique en Allemagne (VCI) a déclaré en octobre 2022 que 13% des activités industrielles avaient été délocalisées aux États-Unis en raison des coûts plus faibles de l'énergie. Avant 2021, le prix du kWh de gaz oscillait autour de 5 centimes en Allemagne¹². En 2022, ce dernier a atteint les 13 centimes en février puis 40 centimes en septembre, avant de se stabiliser aux environs de 10 centimes à compter de janvier 2023 grâce à la mise en place d'un bouclier tarifaire¹³. Aux États-Unis, le prix du gaz est resté relativement stable autour de 5 centimes d'euros le kWh.

Cette vague de délocalisation des activités les plus énergivores s'est d'ailleurs accélérée à la fin de l'année 2022, par anticipation face aux renouvellements des contrats énergétiques dont les renégociations devaient s'ouvrir en janvier 2023. En l'absence de visibilité sur les prix, difficile également pour les entreprises de se projeter dans le futur en Allemagne. Les conséquences de ces variations de prix se répercutent ainsi sur un ensemble plus large de circuits d'approvisionnements allant, par exemple, des produits médicaux et pharmaceutiques (ex : anesthésiants, solution de perfusion etc.) jusqu'aux engrais et aux produits diluants. Ces difficultés

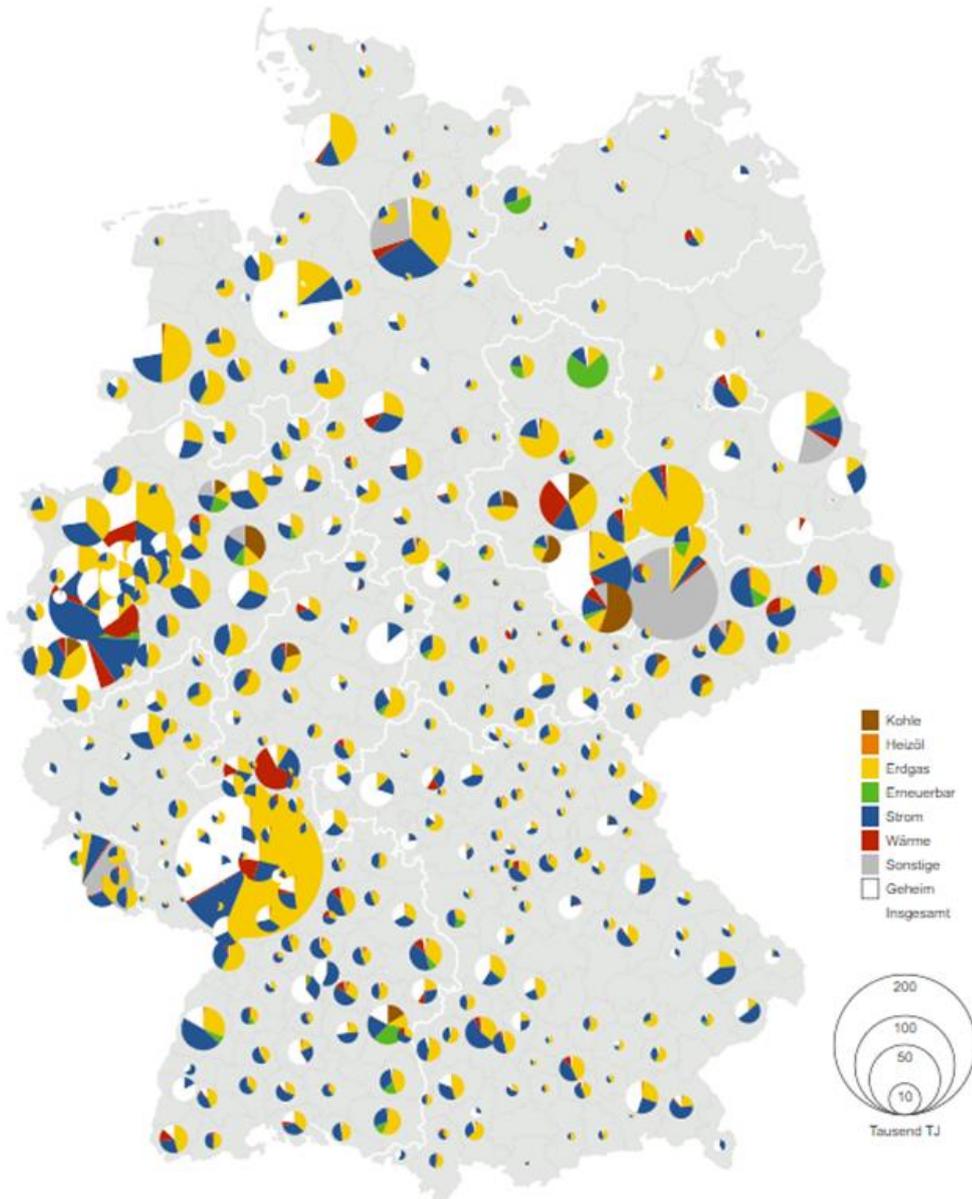
Prix spots journaliers du pétrole brut, gaz naturel et gaz naturel liquéfié, entre janvier 2019 et février 2022, en dollars, par million de *British thermal units* (btu)



Principal contributors: Victoria Zaretskaya, Chris Peterson, Warren Wilczewski

Source : U.S. Energy Information Administration

Carte des consommations énergétiques des industries allemandes selon leur implantation



© Daten: Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2022
 © Karte: GeoBasis-DE / BKG 2022 (Gebietsstand 31.12.2021)

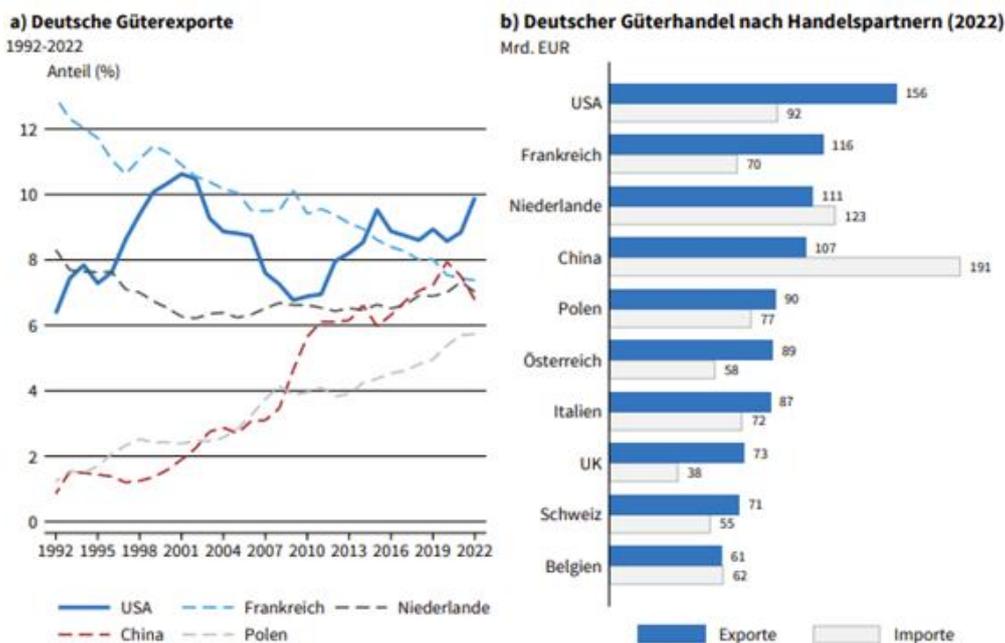
Sources : statistiques régionaux et fédéraux et carte de GeoBasis-DE / BKG 2022

se ressentent sur les marchés internationaux, les prix allemands devenant *de facto* trop élevés par rapport à la concurrence¹⁴. Cette variabilité du prix de l'énergie remet en cause la stratégie du « *Standort Deutschland* »¹⁵ menée depuis près d'une décennie et visant à faire de l'Allemagne un lieu attractif pour la localisation d'industries¹⁶. Cette disponibilité de l'énergie à un coût raisonnable ou prévisible déterminera en partie la capacité de l'Allemagne à conserver son tissu industriel.

La branche industrielle de l'énergie reste quant à elle dans une situation assez contrastée. D'un côté, le marché de l'énergie allemand est très libéralisé et très dépendant du gaz, ce qui le rend particulièrement vulnérable aux variations des prix de l'énergie fixés au niveau européen¹⁷. D'un autre côté, la branche des énergies renouvelables et bas-carbone reste résiliente. Cette dernière est même perçue, comme un moyen d'allier les objectifs de décarbonation et d'assurer un minimum d'approvisionnement énergétique. La stratégie allemande en matière de sécurité énergétique vise ainsi à diversifier les sources d'approvisionnement et de produire davantage grâce à des moyens de production décarbonés (éolien, solaire principalement). L'incitation au déploiement exclusif des énergies renouvelables s'inscrit également dans la stratégie de promotion économique du modèle énergétique de *l'Energiewende* en Allemagne et ailleurs¹⁸. Autrement dit, le développement des technologies bas-carbones (plus particulièrement le solaire, l'éolien et l'hydrogène) constitue un véritable moteur économique pour les différents acteurs du secteur de l'énergie en Allemagne et s'axent fortement sur une orientation exportatrice.

Au niveau fédéral, il est intéressant de constater que les questions énergétiques et industrielles sont regroupées au sein du même ministère (BMWK) et traitées par l'agence allemande pour l'énergie (dena). La mission du BMWK se concentre sur les questions économiques et juridiques de l'énergie pour les entreprises allemandes tout en soutenant le secteur industriel de l'énergie (opérateurs énergétiques, installateurs, ingénierie des technologies énergétiques, etc.). Des partenariats énergétiques avec des États étrangers ont également été signés, sur la base d'un accord d'approvisionnement de l'énergie (ex : gaz naturel liquéfié) vers l'Allemagne en échange de l'exportation et du développement d'installations énergétiques bas-carbone par les entreprises allemandes¹⁹. D'autres ministères allemands se sont mobilisés, avec l'élaboration de feuilles de routes ou la mise en place de mesures d'accompagnement, notamment le BMBF (Ministère fédéral de la Recherche) pour l'innovation et la recherche, le AA (Ministère fédéral des Affaires étrangères) et le BMZ (Ministère fédéral de la Coopération et du Développement) pour les coopérations et des politiques de développement, et ce, conformément au *Ressortprinzip*²⁰. Aux côtés de ces actions menées au niveau fédéral, les *Länder* ne sont pas en reste. Certaines stratégies mises en place au niveau régional, plus particulièrement par la Rhénanie du Nord-Westphalie (NRW), promeuvent le développement d'une économie hydrogène afin de décarboner l'industrie et soutiennent les technologies hydrogène (électrolyses, stations de conversions appelées PtX etc.) de groupes disposant d'implantations dans la région, à l'instar de ThyssenKrupp. Dans cet objectif, un partenariat avec les Pays-Bas est en cours d'élaboration afin de sécuriser l'approvisionnement énergétique²¹.

Exportations de biens allemands selon les partenaires commerciaux



Lesehinweis: Panel a) stellt für die deutschen Güterexporte die Anteile einzelner Handelspartner zwischen 1992 und 2022 dar. Panel b) zeigt das deutsche Export- und Importvolumen für die zehn größten deutschen Exportzielländer im Jahr 2022.

Quelle: Statistisches Bundesamt, eigene Berechnungen.

Source : Office fédéral des statistiques et Ministère des finances, p. 25.

L'*Inflation Reduction Act* ou la nouvelle variable américaine

Sur le marché mondial des technologies bas-carbone (éolien, solaire et hydrogène), l'industrie énergétique allemande se trouve principalement en concurrence avec la Chine, le Japon et la Corée du Sud²². Toutefois, depuis le 16 août 2022 et la signature de l'*Inflation Reduction Act*²³ (IRA) par l'administration Biden, les États-Unis entrent de manière offensive sur ce marché des technologies bas-carbone. Concrètement, cette mesure prévoit de vastes investissements dans la décarbonation du pays ainsi que des incitations fiscales (crédits d'impôts) destinées à assurer la production sur le territoire national et à déployer des énergies et équipements bas-carbone (solaire, éolien, composants de batteries et minéraux critiques, pompe à chaleur, nucléaire et véhicules bas-carbone). En outre, sur un total de 360 milliards de dollars (Mds\$) de subventions d'ici 2032, 5,8 Mds\$ seront octroyés aux activités industrielles les plus énergivores. Le secteur de la recherche dans les technologies énergétiques devrait également bénéficier de 3,6 Mds\$ de garanties de prêt et d'au moins 2 Mds\$ de subventions. Si l'implication des États-Unis dans les efforts de décarbonation a été saluée en Europe, les mesures relatives aux contraintes de localisation (*Local-Content-regulations*) ainsi qu'aux subventions de certains secteurs industriels ont provoqué de vives contestations²⁴ entraînant la création en urgence d'un groupe de travail UE-US afin de traiter de ces questions²⁵. La proposition du *Net Zero Industry Act*²⁶ par la Commission européenne le 16 mars 2023 se veut être une réponse à l'*Inflation Reduction Act* et pointe justement les déséquilibres concurrentiels existants entre les États-Unis et l'Union européenne en matière de régulation pour la mise en œuvre des efforts de décarbonation.

Les industries allemandes voient cette mesure comme un désavantage concurrentiel touchant de plein fouet les secteurs les plus dépendants à la demande américaine. Les industries pharmaceutiques, chimiques, métallurgiques et automobiles exportent en moyenne 10% de leurs productions aux États-Unis. Ces liens commerciaux forts entre ces branches industrielles allemandes avec les États-Unis, la différence des coûts de l'énergie, et désormais les mesures encourageantes de l'*Inflation Reduction Act* renforce l'attractivité de délocaliser au moins partiellement leurs activités aux États-Unis plutôt qu'en Allemagne. De plus, le secteur de l'automobile bas-carbone allemand voit son accès au marché américain fortement freiné. Rappelons qu'en 2022, 50% des voitures électriques étaient produites en Allemagne (contre 7% aux États-Unis), dont 52% destinées au marché américain²⁷. En mêlant

investissements et protectionnisme fiscal pour la production et la consommation des énergies bas-carbone, les États-Unis assurent à la fois la pérennisation de son tissu industriel et la montée en puissance des acteurs de la branche bas-carbone de l'énergie.

Conclusion

Les enjeux de la sécurité énergétique en Allemagne dépassent le seul cadre de l'approvisionnement énergétique eu égard à son imbrication avec les enjeux industriels. Paradoxalement, cette politique allemande de priorisation des questions industrielles et économiques, à l'œuvre depuis plusieurs décennies, a entraîné une très forte dépendance énergétique envers la Russie. La guerre en Ukraine, mais également les tensions ressenties vis-à-vis de la Chine ainsi que, dans une certaine mesure, la mise en œuvre de l'*Inflation Reduction Act*, ont replacé sur le devant de la scène européenne l'importance de garantir un certain niveau de compétitivité industrielle et de souveraineté technologique qui correspond *in fine* à la conservation d'atouts industriels (contrôle des chaînes de production, maintien de compétences de la main-d'œuvre, capacité de production de certains biens sur le territoire européen etc.). La sécurité d'un approvisionnement suffisant en énergie constitue le prérequis pour pérenniser cette dynamique industrielle. De fait, la question de l'attractivité économique des pays européens pour les entreprises, fondée entre autres sur la disponibilité et les coûts de l'énergie, est particulièrement saillante en Allemagne.

Au niveau européen, la recherche de réindustrialisation des secteurs clés²⁸, de souveraineté technologique et de sécurité énergétique sont de plus en plus présents dans les documents institutionnels tels que la *Boussole stratégique*²⁹. À l'exception de la souveraineté technologique qui fut un concept porté par la présidence allemande au Conseil de l'UE en 2020, ces autres notions ne semblent pas reprises avec la même ampleur dans le débat public allemand. Les questions de disponibilité de l'énergie à un coût abordable ont d'abord fait l'objet de discussions entre les entreprises allemandes et le ministère de l'Économie afin de trouver une solution et redonner une certaine visibilité à court et moyen terme. L'industrie allemande constituant 29% de la valeur ajoutée brute totale générée par l'ensemble du tissu industriel des 27 pays membres de l'UE, il semblerait pertinent de considérer ces questions de sécurité de l'énergie et ces problématiques industrielles allemandes comme des enjeux structurants pour l'ensemble de l'Union européenne.

ANNABELLE LIVET

Chargée de recherche, FRS

Notes

1. A titre d'exemple, en 1940, la production annuelle du charbon dans la Ruhr égalait la production annuelle cumulée de la France, de la Belgique, des Pays-Bas et de la Pologne.
2. La « Politique d'ouverture à l'Est » correspondait au projet du chancelier de la RFA, Willy Brandt, à partir de 1969, de se rapprocher des pays du bloc de l'URSS. Même si cette politique n'a plus été suivie en tant que telle, la politique du chancelier allemand Gérard Schröder (1998-2002) fut, entre autres, marquée par un rapprochement avec la Russie. Cf. Hans-Joachim Spanger, "German-Russian Relations", in *Studia Diplomatica*, Vol. 65, No. 1, pp. 33-44, "The European Security System Revisited", 2012.
3. Pao-Yu Oei, Hanna Brauers & Philipp Herpich, "Lessons from Germany's hard coal mining phase-out: policies and transition from 1950 to 2018", pp. 963-979, in *Climate Policy*, 20:8, novembre 2019.
4. Chiffre dérivé des statistiques [BP Statistical Review of World Energy 2022](#). En partant d'une consommation totale de 12,64 Exajoules, dont 4,18 de pétrole, 3,26 de gaz et 2,12 de charbon. Sachant que ces trois énergies sont importées respectivement à hauteur de 97%, 90% et 88% et que respectivement, 31,6% des importations de pétrole, 55% des importations de gaz et 30% des importations de charbon proviennent de Russie.
5. Ruben Tjon-A-Meeuw, "The New Ostpolitik: Nord Stream 2 and the Politics of German-Russian Gas Relations" in *European Integration and Disintegration*, 1ère édition, Routledge, 2022.
6. Concept allemand de la « Transition énergétique » introduit en 1980 par l'Öko-Institut e.V. qui préconise en priorité la sortie du pétrole et du nucléaire au profit de l'utilisation unique des énergies renouvelables (ENR) et du charbon domestique. Voir *Wachstum, Wohlstand ohne Erdöl und Uran*, du Öko-Institut, Fribourg, 1980.
7. Concrètement, cela se traduit par un différentiel de taxe sur les prix de l'électricité entraînant des taxes pour les consommateurs privés qui s'élèvent à environ la moitié du prix de l'électricité, contre 15% à 30% pour les entreprises.
8. Communication de la Commission européenne sur le [Plan REPowerEU](#), COM(2022) 230 final, 18 mai 2022.
9. Sami Ramdani, Brévenn Giacomoni, [La stratégie russe de limitation des exportations de gaz vers l'UE : une composante de l'invasion de l'Ukraine](#), IRIS, mai 2023.
10. L'hydrogène est qualifié de « vert » lorsqu'il est produit à partir d'un procédé de craquage de molécules d'eau qui s'opère par électrolyse. La provenance de l'électricité nécessaire au fonctionnement de l'électrolyse indique le type d'hydrogène. Le label « vert » correspond à une électricité issue des énergies renouvelables uniquement.
11. Il s'agit plus particulièrement de l'industrie chimique (ex : ammoniac, méthanol, acétylène), métallurgique, raffineries et de cokéfaction, l'industrie du verre et papeterie.
12. Christina Maciejewski, Anna Behrend, [Gaspreis aktuell: So viel kostet die Kilowattstunde](#), NDR, 16.05.2023.
Voir la page [USA natural gas prices](#), Global Petrol Prices, Septembre 2022.
13. Il s'agit d'un projet proposé par le ministère de l'Économie à destination des entreprises énergivores exposées à la concurrence internationale. Ce dernier s'articule en deux temps : d'abord le BMWK va introduire un prix temporaire de l'électricité à 6 centimes/KWh jusqu'en 2030 (lorsque le prix national de l'électricité excède les 6 cent/KWh, les entreprises sont remboursées à 80% de la consommation énergétique sous garantie que ces dernières s'engagent à rester localisées en Allemagne). Sur un plus long terme, le prix de l'électricité issu des ENR est censé devenir suffisamment compétitif. Cette dynamique sera favorisée par la mise en place de contrats de vente directe d'électricité (*Power Purchase Agreement*) entre les entreprises énergivores et le producteur d'électricité géographiquement proches des activités de production de ces dernières (sans passer par un acteur intermédiaire). Cf. Jona Göbelbecker, [Chemieindustrie begrüßt Pläne für Industriestrompreis](#), ChemieTechnik, 8 mai 2023.
Sur le point des PPA, voir aussi [Développement des contrats de type PPA - CRE](#).
14. Liudmila Kotlyarova, "Das ist brutal: Für chemische Industrie lohnt sich die Produktion teils nicht mehr", *Berliner Zeitung*, 1 novembre 2022.
15. Qui peut se traduire par « Localisation en Allemagne », considérée globalement comme le pendant de la stratégie française « [Choose France](#) ». Exemple de cette stratégie pour la branche chimique et pharmaceutique : [Handlungspakt Chemie- und Pharmastandort Deutschland](#), BMWK, 6 juillet 2021.
16. Les domaines plus particulièrement ciblés sont les industries chimiques, technologiques et d'innovation.
17. Les prix de l'électricité en Europe se basent sur les mécanismes de l'offre et de la demande avec un ordre de réponse selon le taux de carbone produit. Autrement dit, les énergies renouvelables et bas-carbone sont prioritaires, puis sont appelées les centrales du gaz et à charbon. C'est le prix de la dernière énergie appelée qui fixe le prix de l'électricité de gros.
18. Le gaz et éventuellement le charbon peuvent servir d'énergies de réserve, tandis que l'hydrogène « vert » sert aussi bien à la consommation énergétique que de capacité de stockage de l'énergie.
19. Brochure, [Energy and climate partnerships and energy dialogues](#), BMWK, mars 2023.
20. Principe de relative autonomie des ministères par rapport à la Chancellerie (Art. 65 de la Loi fondamentale allemande).
21. Voir les communications sur la page : [Wasserstoff | Wirtschaft NRW](#), [consultée le 16 mai 2023].
22. Cela concerne surtout les équipements de filtration de l'air, les équipements de mesure et de gestion, les turbines éoliennes, les pompes à chaleur et les électrolyseurs. Les exportations d'énergies renouvelables, surtout le solaire, et les systèmes de climatisation sont plutôt dominés par la Chine. Voir pp. 41-46 dans le rapport d'expertise de l'institut ifo (centre des finances publiques et économie politique) du ministère fédéral des Finances, [Die Betroffenheit der deutschen Wirtschaft durch den US-Inflation Reduction Act](#), mars 2023.

23. Voir la communication de la Maison Blanche : [Building a Clean Energy Economy: A Guidebook to the Inflation Reduction Act's Investments in clean Energy and climate Action](#), version 2, 2023. Voir également la page de présentation de l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) : [The Inflation Reduction Act](#).
24. Briefing du Service de Recherche au Parlement européen (EPRS), [EU-US climate and energy relations in light of the Inflation Reduction Act](#), janvier 2023.
25. Communiqué de la Commission européenne, "[Launch of the US-EU Task Force on Inflation Reduction Act](#)", 28 octobre 2022.
26. Voir la Proposition de la Commission européenne sur un règlement pour une industrie « zéro net », COM(2023) 161 final, 16 mars 2023.
27. Voir le rapport synthétique d'expertise de l'ifo, [Die Betroffenheit der deutschen Wirtschaft durch den US-Inflation Reduction Act \(IRA\)](#), p. 29, 36-37, mars 2023.
28. En lien avec la [stratégie industrielle de l'Union européenne pour 2030](#).
29. Communication du Conseil de l'UE, [Une boussole stratégique en matière de sécurité et de défense – Pour une Union européenne qui protège ses citoyens, ses valeurs et ses intérêts, et qui contribue à la paix et à la sécurité internationales](#), 4 mai 2022.

Les ailes du futur : le développement des capacités aériennes du Japon



© NH

Publiées au mois de décembre 2022, les nouvelles Stratégies de sécurité nationale et de défense nationale du Japon décrivent un environnement global et régional très dégradé¹. Au niveau global, la guerre en Ukraine menace l'ordre international hérité de la seconde guerre mondiale et l'agression de la Russie, même si elle succède à près de 10 ans de conflit gelé, rend encore plus urgente la menace de la guerre. Au niveau régional, la radicalisation du régime chinois, la confirmation du pouvoir de Xi Jinping, Secrétaire général du parti communiste et président de la République depuis 2013, inquiètent. La posture agressive de la Chine en mer de Chine orientale et méridionale ainsi que face à Taiwan influe directement sur la perception des menaces à Tokyo. Reprise régulièrement par le premier ministre Kishida, l'expression « *Aujourd'hui l'Ukraine, demain Taiwan* », trouve un écho dans la population, même si celle-ci, à plus de 80%, demeure réticente à toute augmentation d'impôts pour financer l'effort de défense². Dans l'hypothèse d'un conflit dans le détroit de Taiwan, le Japon, où sont stationnés les effectifs les plus importants des troupes américaines en Asie, serait directement impliqué. Et comme pour rappeler à Tokyo cette implication dans tout conflit frappant la région, lors des exercices militaires du mois d'août 2022 dans le détroit de Taiwan, la République populaire de Chine (RPC) a tiré cinq missiles dans la zone économique exclusive de l'archipel, au large de l'archipel des Ryukyu (Okinawa), dont l'île de Yonaguni se situe à une centaine de kilomètres des côtes taiwanaises.

Dans le même temps, la Corée du Nord poursuit le développement de ses capacités nucléaires et balistiques, accroissant un peu plus les menaces immédiates que l'archipel doit prendre en compte.

Face à ces défis, Tokyo a élaboré de nouvelles priorités qui passent notamment par la consolidation de l'alliance avec les États-Unis, le développement des capacités et l'ouverture à de nouveaux partenariats, dans l'espoir de renforcer le « filet de sécurité » sur lequel les autorités espèrent pouvoir compter. Le développement des capacités aériennes de l'archipel

et les projets de coopération mis en place sont déterminés par cette triple exigence, à la recherche d'un équilibre difficile entre autonomie, prise en compte de l'opinion publique et préservation de l'alliance principale avec Washington.

Un rôle plus ambitieux en matière de défense

Pour répondre à ces nouveaux défis, l'objectif du gouvernement japonais, depuis le retour au pouvoir du premier ministre Shinzo Abe en 2012, a été de progressivement desserrer les contraintes qui pèsent sur les moyens d'action militaire du Japon. Avec une série de réformes adoptées en 2015, le gouvernement Abe a levé plusieurs tabous, dont celui de la défense collective, qui permet en théorie aux forces d'autodéfense de défendre leurs alliés en cas d'opération conjointe, y compris dans le cadre des opérations de maintien de la paix de l'ONU. L'interdiction totale d'exportation de matériels militaires a également été levée en 2014. Les textes adoptés au mois de décembre 2022 élargissent – toujours en théorie – un peu plus le périmètre d'action des FAD (forces d'autodéfense) en autorisant notamment une capacité de frappe à distance, contre des bases de missiles en territoire ennemi, si le Japon a été la cible d'une première frappe³.

Le deuxième élément de cette évolution est l'augmentation du budget de la défense. Longtemps limité à 1% du PIB du pays, n'ayant quasiment pas connu d'augmentation jusqu'à la fin des années 2010, la nouvelle stratégie de sécurité du Japon prévoit une augmentation sur cinq ans, qui devrait porter en 2027 le budget des forces d'autodéfense à 2% du PIB de 2023. Cette décision correspond autant à la volonté de donner un signal fort d'engagement à l'allié américain - qui attend de l'ensemble de ses alliés un effort de défense plus conséquent - qu'à la volonté d'accroître massivement le budget de la défense. Et ce chiffre de 2 % devrait être atteint en intégrant dans le budget du ministère de la Défense celui des garde-côtes, qui dépendent du ministère des Transports, ainsi que la construction d'infrastructures civiles qui peuvent indirectement servir aux besoins de la défense.

Toutefois, avec un montant prévu de 80 milliards de dollars en 2027, soit une augmentation de 50% par rapport au budget actuel, le Japon a également pour ambition d'augmenter ses capacités de défense. Parmi les priorités définies dans le Livre blanc 2022 de la Défense, l'une des priorités est de développer les capacités d'observation sur terre et dans les airs dans l'environnement immédiat de l'archipel. Il s'agit notamment de répondre aux incursions constantes de la République populaire de Chine à proximité de l'archipel des Senkaku, intégré à l'Empire japonais en 1895 mais revendiqué par Pékin depuis les années 1970. Ces capacités doivent également permettre de renforcer la défense des îles isolées ou éloignées, qui est une priorité des forces d'autodéfense (FAD) mais aussi des garde-côtes⁴. Plus spécifiquement, en ce qui concerne les forces aériennes, le dernier Livre blanc de la défense mentionne aussi les capacités de décollage court ou vertical, afin de consolider les opérations dans le Pacifique et de tirer parti de la reconversion des porte-hélicoptères Izumo et Kaga en porte-aéronefs multirôles, décidée en 2018 sous le gouvernement Abe.

Enfin, Tokyo ambitionne de soutenir sa base industrielle et technologique et de retrouver une industrie de défense dynamique et performante, capable de répondre d'une manière plus autonome aux besoins de la guerre moderne⁵. A ceci s'ajoute une dimension de fierté nationale longtemps réprimée mais qui n'a pas disparu.

Le renforcement de la coopération internationale doit servir ces ambitions, Tokyo aspirant à occuper une place de leader pour les projets conjoints éventuellement mis en œuvre, ces projets étant destinés à apporter au Japon le moyen de renforcer ses propres capacités industrielles⁶. La multiplication des accords ACSA (*Acquisition and servicing agreement*) et RAA (*Reciprocal access agreement*) ont pour objectif de consolider les liens de défense et de sécurité avec des pays qui partagent les mêmes visions, et en partie les mêmes intérêts, et de faciliter la signature d'accords de défense conjoints portant sur le transfert d'équipements et de technologies.

En dépit de ces ambitions proclamées, l'industrie de défense japonaise souffre de nombreuses lacunes. Interdite d'exportation jusqu'en 2014, et largement soumise aux liens de dépendance aux États-Unis pour des raisons stratégiques, elle n'a pas eu l'opportunité, après la seconde guerre mondiale, de retrouver un niveau d'excellence global au niveau technologique. Selon Heigo Sato, spécialiste des questions de défense, l'industrie de défense japonaise n'est pas compétitive, ni en termes de coût, ni technologiquement et pâtit d'un manque de cohérence dans la commande publique⁷. Créée en 2015, dans la foulée des premières réformes Abe concernant le secteur de la défense, l'*Acquisition Technology and Logistics Agency* (ATLA), destinée à promouvoir les projets de recherche conjoints dans le secteur de la défense et à donner plus de visibilité à long terme aux entreprises japonaises de défense en matière de programme d'acquisition, n'a pas encore pleinement rempli son rôle, soumise à des priorités contradictoires⁸.

En dépit de critiques récurrentes concernant les dépassements de coût et les délais, l'essentiel des équipements majeurs, notamment dans l'aéronautique, vient des États-Unis et

le mouvement s'est encore accéléré sous la présidence Trump (2017-2021), par souci d'apaiser un allié difficile en multipliant les achats. Le montant des acquisitions sur étagère aux États-Unis a été multiplié par trois de 2014 à 2019, pour atteindre 6,2 milliards de dollars sur un budget total de 17,7 milliards de dollars. L'essentiel du budget a été consacré à la mise à niveau des F-15, à l'acquisition de F-35 A et B ainsi que de ravitailleurs en vol KC-46A, d'un AWACS E2D et d'un V-22 Osprey pour les forces terrestres d'autodéfense, répondant ainsi aux attentes de Washington et d'un président qui voulait mettre « l'Amérique d'abord »⁹.

Privés de contrats et de visibilité, les grands groupes japonais, en dépit d'une tradition encore fièrement exposée au musée de la Marine à Kure, se défont de leurs branches consacrées à la défense. Globalement, cette dimension ne représente que 4% de leurs activités et peut peser sur leur image auprès du public¹⁰. C'est ainsi que Komatsu, Mitsui Shipbuilding, Daicel ou encore Sumitomo Heavy Industry ont cédé leurs activités militaires.

Les accords de coopération ont donc pour objectif à la fois de consolider les liens de défense vitaux avec les États-Unis et d'autres partenaires mais aussi de contribuer à la construction d'une base industrielle et technologique de défense plus performante et plus autonome. En dehors des États-Unis, gérés par des accords spécifiques liés au traité de défense et de sécurité, le Japon a signé des ACSA avec l'Australie en 2013, le Royaume-Uni en 2017, la France en 2018 et l'Italie en 2019. Des RAA ont également été signés avec l'Australie en 2022 et le Royaume-Uni en 2023. Les négociations avec la France ont été ouvertes en 2020 mais n'ont pas encore abouti¹¹.

En ce qui concerne les forces aériennes d'autodéfense, les priorités concernent l'acquisition d'une capacité de contrôle et de surveillance renforcée sur terre et dans les airs afin de mener des missions plus nombreuses et prolongées en période de tensions, y compris au moyen de drones. À terme, les drones pourraient remplacer une partie des avions d'observations des forces maritimes d'autodéfense et des garde-côtes. Ces dernières sont d'ores et déjà équipées de deux drones américains Sea Vanguard dont elles partagent les informations avec les forces d'autodéfense¹². Le Japon souhaite également renforcer ses escadrons de transport et de ravitaillement en vol. Enfin, la flotte de chasse doit être modernisée pour conserver une avance technologique dissuasive face à la puissance chinoise.

C'est dans ce cadre que le projet d'avion de chasse du futur FX, et les projets de coopération avec le Royaume-Uni et l'Italie ont été mis en place.

Le projet FX de développement conjoint : l'avenir de la chasse japonaise ?

Les premières études de développement du nouvel avion de chasse japonais, destiné à remplacer le F-2, ont été lancées à la fin des années 2000. Le projet doit aujourd'hui répondre aux trois obligations de développement des capacités militaires du Japon, de consolidation de la base industrielle et

technologique de défense dans l'aéronautique, et d'ouverture à d'autres partenaires, notamment européens pour élargir la base de soutien de l'archipel face à des menaces croissantes. Déployé dans les années 2000, le F-2 sera progressivement remplacé par le F-X (ou F-3) à partir de 2035.

Dans une vision particulièrement ambitieuse, il s'agirait pour le Japon de prendre la tête des fabricants d'avions de sixième génération en Asie, la supériorité démontrée de la technologie japonaise ayant une fonction dissuasive face à la Chine¹³. L'objectif est de renforcer les capacités de combat aérien et de frappe air-sol et de contribuer à la création d'une base industrielle capable de produire un nombre important d'appareils¹⁴. En 2020, le ministère de la Défense a sélectionné Mitsubishi Heavy Industry (MHI) comme industriel leader du projet. Dans ses projets de coopération, Tokyo ne souhaite pas mettre en place une *joint-venture*, solution imposée par les États-Unis pour le F-2, afin de conserver la direction et la maîtrise du projet. Mais au-delà des capacités « classiques », le F-X doit également intégrer la dimension de connectivité avec l'espace (constellations de satellites) et les drones qui améliorent la capacité de détection, les fonctions ELINT et ROEM d'analyse et de transmission des données en temps réel, et assurer potentiellement les fonctions de commandement aéroporté¹⁵. Enfin, le projet F-X doit prendre en compte la dimension éventuelle de décollage court ou vertical (VTOSL) pour tirer au mieux parti des plateformes porte-aéronefs multirôles Izumo et Kaga¹⁶. Avec le F-X, le Japon ambitionne de revenir pleinement dans la production aéronautique militaire et de disposer de la capacité d'étendre sans contrainte la durée de vie de sa nouvelle plate-forme en procédant à des mises à niveau incrémentales au fil des avancées technologiques¹⁷.

Le problème avec les États-Unis

Cette ambition et cette volonté d'autonomie sont ce qui a posé problème avec les États-Unis pour la production du F-2 japonais. Le F-X doit toutefois garantir une interopérabilité parfaite avec les forces de l'allié américain, qui assure la défense de l'archipel, et initialement le ministère japonais de la Défense avait sélectionné Lockheed Martin comme partenaire du projet. Au-delà des questions récurrentes de dépassement de budget, de délais trop prolongés et de manque de transparence dans la fixation des prix dans le cadre du système FMS (*Foreign military sales*) américain, l'enjeu principal pour le Japon est celui de la maîtrise technologique¹⁸. Dans une interview accordée au site *Seijimagajin* de la NHK, Takamasa Iba, en charge du projet F-X au sein de l'ATLA, se montre particulièrement sévère. Il rappelle les difficultés rencontrées dans la volonté japonaise de développer le F-2 dans les années 1990 et le refus des États-Unis de lever leur contrôle des technologies les plus sensibles et du code source. A nouveau, en 2020, les États-Unis et Lockheed Martin ont refusé de partager les informations du code source, interdisant au Japon de procéder librement à d'éventuelles mises à niveau de l'appareil¹⁹. Ce sont pour ces raisons, jointes aux difficultés rencontrées par les chaînes de production aux États-Unis à la suite de la guerre en Ukraine, que les choix de coopération du Japon se sont portés sur le Royaume-Uni associé à l'Italie.

Un partenariat triangulaire ambitieux et complexe

Au mois de décembre 2022, dans un communiqué commun, le Japon, le Royaume-Uni et l'Italie ont annoncé leur partenariat pour un « *Global combat air program* » (CGAP) qui unit les projets de développement du F-X japonais et du futur avion de combat britannique Tempest²⁰ (rejoint par l'Italie en septembre 2019). La période d'élaboration du projet et des plans de production doit s'étendre jusqu'en 2027. A ce stade, les industriels potentiellement impliqués seraient, pour le Royaume-Uni, BAE systems, Leonardo UK, MBDA UK et Rolls-Royce, pour le Japon, MHI, Mitsubishi Electric et IHI corp., et pour l'Italie, Avio Aero (GE), Elettronica, Leonardo et MBDA Italia. Selon les trois États partenaires, le projet doit permettre d'approfondir la coopération en matière de défense, de science et de technologie, d'intégrer les chaînes d'approvisionnement et de renforcer leur base industrielle et technologique de défense²¹.

Pour le Japon, le Royaume-Uni est un partenaire privilégié. Selon les déclarations de responsables du ministère japonais des Affaires étrangères, Tokyo considère le Royaume-Uni, allié des États-Unis, comme un « quasi allié »²². Contraint par la nécessité de demeurer au plus près des États-Unis, y compris dans les projets de coopération « européens », et dominé par un tropisme « anglo-saxon », Tokyo ne peut accorder ce rôle à la France pour le matériel militaire²³. Un accord RAA a été signé avec Londres au mois de janvier 2023, qualifié de « *most significant defense pact between London and Tokyo in more than a century* ». C'est le premier qui ait été signé avec une puissance européenne²⁴. Tentant, après le Brexit, de mieux s'ancrer en Asie en tant que *Global Britain*, le Royaume-Uni a également posé sa candidature à l'accord commercial CPTPP (*Comprehensive and progressive agreement for trans pacific partnership*) défendu par le Japon depuis 2018, après que les États-Unis de Donald Trump aient abandonné le projet précédent de TPP (*Trans Pacific Partnership*).

Mais la coopération du Japon avec la Grande Bretagne dans le domaine des technologies militaires précède les annonces concernant le projet F-X. Depuis 2014, date d'autorisation des projets conjoints, le Royaume-Uni est de très loin en Europe le premier partenaire du Japon avec des projets de recherche dans le domaine des biotech, des missiles et des moteurs d'avion. Dans le même temps, il n'y a eu avec la France qu'un projet de détection de mines et aucun avec l'Allemagne ou l'Italie.

Des questions en suspens

Toutefois, en dépit de cette volonté affirmée de coopération, un certain nombre de points ont été soulevés par la partie japonaise. Ces éléments concernent la répartition des compétences et les transferts de technologie entre entreprises japonaises et britanniques, le coût et les délais, et enfin la question des exportations.

Selon Takamasa Iba, en charge du projet au sein de l'ATLA, au-delà des problèmes de langues qui rendent les discussions plus difficiles, un certain nombre de sujets, qui donneraient lieu à une « lutte acharnée » (熾烈な綱引き sic), relèvent de

divergences d'intérêts plus profondes. Le Japon veut retrouver une base industrielle et technologique de défense plus autonome, notamment dans l'aéronautique, et souhaite tout particulièrement utiliser un moteur japonais pour son futur avion, ce qui n'était pas le cas avec le F-2. Depuis 2018, l'ATLA soutient le projet IHI de moteur XF9 qui pourrait équiper le F-X en lui donnant, selon Tokyo, une silhouette plus fine et moins détectable²⁵. Un projet de recherche conjoint est également en cours avec le Royaume-Uni, qui pourrait concurrencer le projet IHI. Selon Takamasa Iba, le Japon est bien positionné traditionnellement sur les matériaux, le fuselage et les ailes ainsi que sur les radars. La question demeure de savoir dans ces conditions comment s'effectuera le partage avec les partenaires étatiques de Tokyo, tout aussi soucieux de soutenir leur propre base industrielle.

La question de la maîtrise des coûts a également été soulevée. Le Japon a investi près de 4 milliards de dollars dans le projet FX avant la signature de l'accord de coopération et – très contraint budgétairement – veut éviter tout dérapage budgétaire, se sentant également plus libre d'imposer ses conditions au partenaire britannique plutôt qu'à l'allié américain²⁶. En Grande Bretagne, certains analystes considèrent en revanche que Tokyo manque d'expérience et devra accepter à la fois des augmentations inévitables et d'éventuels allongements des délais²⁷.

Mais la question des exportations, directement liée à celle des coûts, est sans doute celle qui potentiellement peut poser le plus de problème pour la viabilité du projet de coopération à terme. Tokyo affirme que le transfert de matériels de défense et de technologies est un instrument majeur pour renforcer la paix et la stabilité et pour créer un environnement de sécurité plus favorable aux intérêts du Japon en aidant des pays agressés ou menacés en violation du droit international. Avant 2014, toute exportation d'armes était interdite. Depuis, le Japon a vendu des radars aux Philippines (un pays qui partage ses inquiétudes face à la Chine), amorcé une négociation qui n'a pas abouti pour la fourniture d'avions à l'Inde et offert des équipements non létaux à l'Ukraine.

L'interdiction totale a été remplacée par « *Les trois principes sur le transfert du matériel et des technologies de défense* ». Le premier principe porte sur l'interdiction de tout transfert non conforme aux traités internationaux auxquels le Japon a adhéré et aux résolutions de l'ONU ou vers des États en conflit. Le second principe impose que les transferts soient limités aux cas qui servent activement la paix, contribuent à la sécurité du Japon et ne posent aucun problème pour la sécurité du Japon. Le troisième principe exige un contrôle strict des transferts à une autre partie, imposant systématiquement l'autorisation du gouvernement japonais²⁸. Le parti gouvernemental PLD (parti libéral démocrate) a proposé une révision de ces trois principes facilitant les exportations et la mise en œuvre de coopérations internationales, en accord avec les préconisations du ministère de la Défense. Il n'existe toutefois pas d'unanimité politique sur ce sujet, ni entre le PLD et son allié Komeito qui y est hostile, ni même au sein du PLD entre factions divergentes²⁹. Selon un sondage récent, seuls 20 % de la population soutient une remise en cause des trois principes d'exportation, et 54 % de ceux qui sont favorables aux exportations d'arme le sont uniquement si elles sont non létales³⁰. Dans le cas des avions de chasse plus particulièrement, l'obstacle de la létalité est mis en avant, y compris par des entreprises dont la première mission n'est pas la défense et qui refusent d'être associées à des pertes en vie humaine³¹. De plus, ces entreprises craignent le coût d'une mise à niveau de leur sécurité, y compris de leur cybersécurité, pour satisfaire d'éventuels partenaires étrangers³².

Dans ces conditions, Tokyo déplore que le Royaume-Uni et l'Italie soient « obsédés par les exportations », et la divergence de perception et d'intérêts ne pourra éternellement être repoussée entre le Japon, qui place en priorité la reconstruction de son industrie de défense aussi pour des raisons de prestige et de fierté nationale, et le Royaume-Uni qui, selon Tokyo, privilégie les gains potentiels dans ce partenariat en raison des difficultés de l'économie britannique³³.

Enfin, comme l'Aukus, le projet tripartite de développement d'un avion du futur est à très long terme. Toute évolution stratégique dans la région, allant dans le sens d'un bouleversement des équilibres, une réduction ou au contraire une accélération de la menace pourrait mettre en danger ce projet qui répond d'abord aux exigences d'aujourd'hui.

Valérie NIQUET

Maître de recherche, spécialiste de l'Asie
Directeur du programme Japon-FRS
Fondation pour la recherche stratégique

Notes

1. [National Security Strategy](#), décembre 2022 ; [National Defense Strategy](#), 16 décembre 2022.
2. « [80 % in Japan oppose tax hike to finance defense spending poll says](#) », *Japan Times*, 7 mai 2023.
3. *National Security Strategy*, *op.cit.*
4. [Defense of Japan 2022](#), Ministry of Defense, 2022.
5. *National Defense Strategy*, *op.cit.*
6. *Ibid.*
7. « Despite defense buildup, Japan's arm industry struggles », *The Associated Press*, 29 décembre 2021.
8. *Ibid.*
9. *Defense of Japan 2022*, *op.cit.* De 2016 à 2020, les États-Unis ont fourni 97 % du matériel importé par le Japon, in Jon Harper, « [US, Japan set to enhance cooperation on military RD](#) », *National defense magazine*, 18 août 2021.
10. Le musée des forces maritimes d'autodéfense, ou musée du Yamato, du nom du cuirassé Yamato, le plus important de sa classe construit dans les chantiers naval de Kure, à quelques kilomètres de Hiroshima, présente de nombreuses réalisations des grandes entreprises de défense japonaises (Nakajima devenu Subaru pour les moteurs, Mitsubishi heavy industries pour l'aviation et les torpilles suicide etc.).
11. La poursuite de ces négociations a été mentionnée lors du [7^{ème} dialogue 2 plus 2](#), qui s'est tenu à distance entre Paris et Tokyo le 7 mai 2023.
12. Hidekazu Imai, « [Japan's coast guard to expand fleet of reconnaissance drones](#) », *Nikkei Asia*, 16 janvier 2023.
13. Interview de Iwasaki Shigeru, « Japan's Air Defense : prospects for the FX Fighter », *Nippon.com*, 23.06.2022.
14. *Ibid.*
15. *Ibid.*
16. Akira Takeishi, « [最新情報：どうなる次期戦闘機？日英伊共同開発担当者に直撃](#) » (quid du prochain avion de chasse ? Un coup pour les développeurs japonais, britanniques et italiens), *NHK*, 25 avril 2023.
17. *Defense of Japan 2022*, *op.cit.*
18. Akira Takeishi, *op.cit.*
19. Gabriel Dominguez, « Japan, UK, Italy to jointly develop next generation fighter aircraft by 2035 », *Japan Times*, 9 décembre 2022.
20. *Ibid.*
21. *Ibid.*
22. « [Broad agreement on defense pact shows deepening of japan-UK ties](#) », *Yomiuri Shimbun*, 6 mai 2023.
23. La France est présente dans la fourniture de matériels non militaires aux garde-côtes, équipés de 13 hélicoptères Puma et Super Puma H-225 et de 2 Falcon 900.
24. « Broad agreement on defense pact shows deepening of Japan-UK ties », *op.cit.* La première alliance sino-britannique, dirigée contre l'Empire russe puis l'URSS en Asie centrale et dans le Pacifique a duré de 1902 à 1922.
25. Akira Takeishi, *op.cit.*
26. *Ibid.*
27. Entretien, Tokyo, mai 2023.
28. *Defense of Japan 2022*, *op.cit.*
29. Une première série d'entretiens sur le sujet entre les deux partis a eu lieu le 23 avril 2023. « Japan Ruling Parties hold first talks on easing weapons export rules », *Japan Times*, 26 avril 2023.
30. « 80 % in Japan oppose tax hike plan to cover defense spending polls find », *The Japan Times*, 7 mai 2023.
31. Akira Takeishi, *op.cit.*
32. *Defense of Japan 2022*.
33. Akira Takeishi, *op.cit.*



© Shutterstock

Le maître-mot pour la base industrielle et technologique de défense (BITD) en Inde est la quête de l'autosuffisance, ou pour reprendre l'expression consacrée depuis 2020 « *Atmanirbhar Bharat Abhiyan* » (« La campagne pour une Inde autosuffisante », en hindi). L'objectif est de réduire les importations au bénéfice de la production nationale appelée à devenir plus performante, voire exportatrice, en impliquant les industriels, publics et privés, les start-ups, les organismes de R&D et les utilisateurs. Le gouvernement a récemment évalué le succès de sa démarche par le fait que la production nationale dans le secteur de la défense a dépassé en 2022-23 les 1000 milliards de roupies (quelques 12 milliards d'euros), résultat attribué, outre à une politique d'achat devant favoriser, aux réformes entreprises. Il y eut la « corporatisation » en 2021 des 41 arsenaux transformés en sept nouvelles entreprises de défense du secteur public (DPSU selon l'acronyme en anglais), à côté des neuf déjà inexistantes, et le développement du secteur privé de l'armement à travers l'augmentation du nombre de licences industrielles accordées. Mais si les importations indiennes d'armement ont, selon les données du SIPRI, baissé de 11% entre 2013-17 et 2018-22, la dépendance envers l'étranger pour les équipements militaires est encore suffisamment présente pour ne pas affecter les capacités opérationnelles en cas de crise internationale.

Une politique de substitution aux importations

Si, au fil des ans, l'Inde a maîtrisé la production sous licence de modèles étrangers, l'étape suivante pour être autonome doit être la capacité à concevoir des plateformes et des systèmes modernes et d'en détenir les droits de propriété intellectuelle. Lors de la présentation du budget de la défense en début d'année 2023, il fut annoncé que 75% des dépenses consacrées à l'achat d'armement seront réservées à la production nationale. Ainsi, en mars 2023, le ministère de la Défense, afin de donner corps au « *Make in India* »¹, signa des contrats incluant l'acquisition d'avions d'entraînement, de bâtiments de surface, de différents types de missiles, d'un satellite pour l'armée afin d'améliorer ses capacités de guerre réseau-centrée, de radars, de systèmes de défense aérienne, etc. Le même mois, le *Defence Acquisition Council* (DAC), le principal organe en charge de l'acquisition d'équipements de

défense, délivra un « accord de nécessité » (*Acceptance of Necessity*), première étape vers la passation de marchés, pour 225 missiles BrahMos, des systèmes de guerre électronique Shakti, 60 hélicoptères utilitaires à destination de la Marine, environ 300 systèmes avancés de canons d'artillerie tractés (ATAGS) pour l'armée de Terre, des missiles à longue portée pour les chasseurs Sukhoi-30 de l'armée de l'Air indienne et neuf hélicoptères légers avancés destinés aux garde-côtes. L'autorisation accordée entre dans le cadre de la catégorie d'acquisition prioritaire ou « *Buy (Indian-Indigenously Designed Developed and Manufactured)* », instituée en 2016 et prévoyant l'achat auprès d'un fournisseur indien, avec un minimum de 50% de contenu local sur la base du coût de la valeur totale du contrat.

L'indigénisation a aussi pris la forme de plusieurs « listes positives » énumérant des équipements interdits à l'importation dans un délai prescrit. Cette politique de substitution aux importations comporte deux catégories. La première concerne, depuis août 2020, les plateformes et les systèmes d'armes. C'est ainsi que 411 équipements doivent laisser place, d'ici la fin de la décennie, à une production nationale. On y retrouve, entre autres, des chars légers, des pièces d'artillerie, des destroyers, différents types de missiles, des avions de combat et de transport, des hélicoptères, des systèmes d'alerte et de contrôle aéroportés, ou encore des lance-roquettes multiples. Ainsi, l'armée a besoin d'environ 200 hélicoptères utilitaires et des hélicoptères de combats légers qui seront réalisés par HAL et auxquels, pour ces derniers, doit être intégré le missile guidé antichar (ATGM) Helina, développé localement. Il fut annoncé que l'Organisation pour la recherche et le développement de la défense (DRDO) et l'entreprise privée Larsen & Toubro (L&T) fabriqueront le prototype d'un char léger conçu et développé en Inde, baptisé « projet Zorawar ». La seconde catégorie porte sur les sous-systèmes, les pièces détachées et les composants nécessaires à différents types d'armes. A ce titre, une quatrième liste est parue en mai 2023 avec 928 articles, intégrant des pièces pour les avions de combat Sukhoi-30 et Jaguar, les systèmes de lutte contre les incendies à bord des navires de guerre, les générateurs pour turbines à gaz, etc. Sur les 4 666 articles répertoriés au total dans cette seconde catégorie, plus de 2 700 figurant sur les trois listes

précédentes ont été « indigénisés », selon le ministère de la Défense². Derrière ces chiffres impressionnants se cache une réalité parfois plus modeste car englobant des compresseurs, des systèmes de refroidissement et de lubrification, des soupapes de sécurité et aussi des écrous, rivets, des joints d'étanchéité, etc.

L'indigénisation passe aussi par un appel aux fabricants d'équipement d'origine (OEM), appelés à investir en Inde dans le cadre de coentreprises ou, selon le modèle du partenariat stratégique, associant une entreprise indienne et un OEM autour d'un projet (production de sous-marins, d'hélicoptères de nouvelle génération, d'avions de chasse et de chars de combat du futur) incorporant des transferts de technologie permettant à l'avenir de se passer d'une coopération extérieure. Ce dernier modèle a du mal à décoller – aucun projet lancé à ce jour – notamment face à des demandes jugées, technologiquement et en termes de responsabilité en matière de contrôle, irréalistes, à l'image du programme P-75I relatif à la construction locale de six sous-marins conventionnels (à propulsion diesel-électrique) et pour laquelle plusieurs entreprises étrangères ont préféré se retirer de l'appel d'offre. Cela n'est pas sans rappeler l'abandon en 2015 du contrat portant sur 126 avions de combat Rafale, dont 108 appareils censés être fabriqués par HAL dans le cadre d'un transfert de technologie de l'entreprise Dassault Aviation, et qui finalement a vu l'achat en urgence de 36 Rafale sur étagère. Pourtant, la pénurie persistante de sous-marins empêche la Marine de réaliser son objectif stratégique de contrôle et de déni de la mer dans la région de l'océan Indien, afin de rivaliser avec la montée en puissance rapide de la flotte chinoise de sous-marins.

Les autorités indiennes peuvent toujours se féliciter de l'accord associant Airbus Defence & Space et Tata Advanced Systems Limited pour la construction en Inde de 40 avions cargo C-295 (mais avec un premier lot de 16 exemplaires produits en Espagne), en vue de remplacer la flotte vieillissante d'Avro-748 entrés en service au début des années 1960. Ce développement est considéré comme important car, pour la première fois, un avion militaire sera produit en Inde par un consortium privé et pour lequel une chaîne d'assemblage a été inaugurée au Gujarat à l'automne 2022. Témoignage toutefois de la lenteur du processus, dix années se sont écoulées depuis l'accord de nécessité donné par le DAC. Toujours dans le secteur aéronautique, outre le perfectionnement de l'avion de combat léger, avec ses variantes Mk1A et Mk2, on compte les projets AMCA (*Advanced Medium Combat Aircraft*), un chasseur bimoteur de cinquième génération pour l'IAF et la Marine, et le TEDBF³ (*Twin Engine Deck Based Fighter*) pour le porte-avions INS Vikrant en service depuis septembre 2022, deux projets qui attendent encore le feu vert du *Cabinet Committee on Security* relatif à la fabrication d'un prototype.

Afin de renforcer ses capacités offensives, l'armée a commencé à recevoir son premier système de drones en essaim destiné à être utilisé sur le champ de bataille. Ce système, capable d'atteindre des cibles situées à au moins 50 km en territoire ennemi, a été fourni par une start-up indienne, New Space Research & Technologies, créée en 2017 et basée à Bengaluru. Il s'agit là d'un exemple parmi d'autres de l'effort

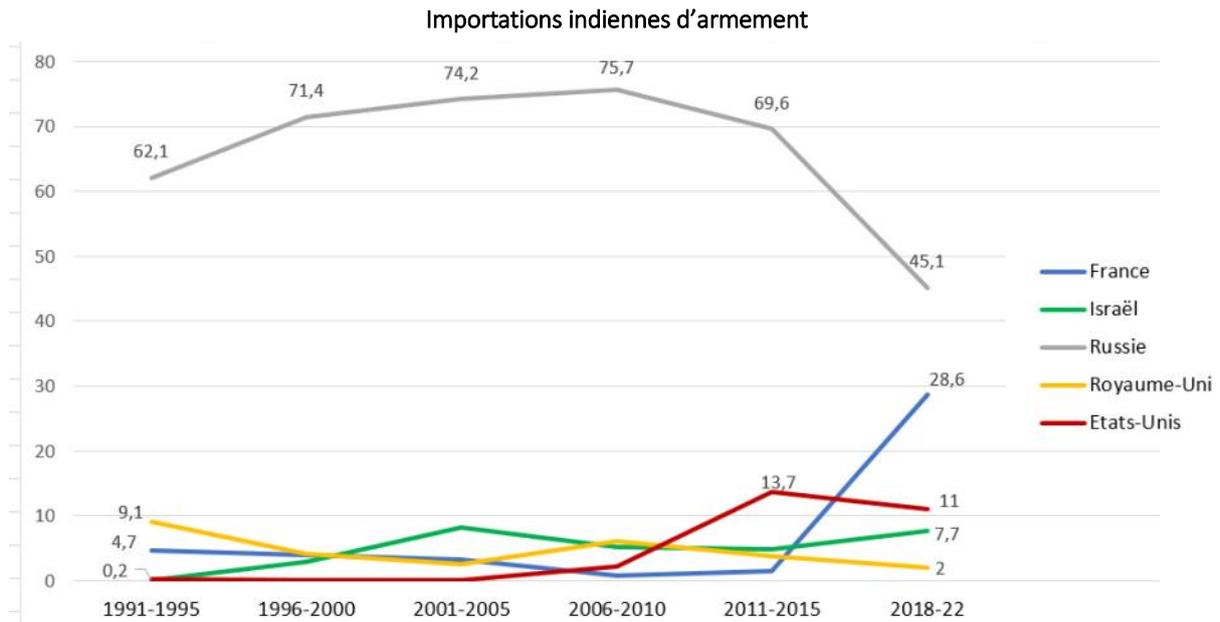
« Atmanirbhar » du gouvernement centré sur le développement de technologies militaires disruptives.

Les entreprises indiennes du secteur de la défense, notamment les nouveaux entrants du secteur privé, en particulier, micro, petites et moyennes entreprises, continuent à réclamer des procédures bureaucratiques moins rigides et moins complexes, et surtout des volumes de commandes suffisants et récurrents susceptibles de permettre des économies d'échelle et donc de justifier des dépenses d'investissement. L'indigénisation pourrait ne pas être nécessairement moins coûteuse que des importations.

S'il est un domaine dans lequel l'Inde a pu développer une autosuffisance, c'est celui des missiles balistiques. Elle est aussi devenue autonome dans le développement de systèmes de missiles antibalistiques. Après la démonstration réussie d'un système de défense antimissile terrestre, la DRDO et la Marine ont mené avec succès, en avril 2023, le premier essai en vol d'un missile intercepteur endoatmosphérique basé en mer, ce qui a permis au pays d'entrer dans le club fermé des nations disposant d'une capacité de défense antimissile balistique navale. L'Inde s'est aussi lancée dans la mise au point d'un superstatoréacteur, réalisant en janvier 2023 un 3^{ème} essai de son véhicule de démonstration technologique hypersonique.

La dépendance aux importations demeure

Si l'accent est mis sur la production nationale, l'Inde n'en demeure pas moins le premier pays importateur au monde pour la période 2018-2022, reflet des lacunes du complexe militaro-industriel. Si la Russie continue d'être le premier fournisseur d'équipements de défense du pays, sa part dans les importations indiennes a décru mais trop lentement pour que New Delhi en fasse abstraction dans son positionnement sur le conflit en Ukraine. Outre la priorité accordée par l'industrie russe de défense à la constitution de stocks pour poursuivre la guerre au risque de peser sur les capacités opérationnelles indiennes, les sanctions américaines envers la Russie compliquent les fournitures d'armement. Plus de 2 milliards de dollars dus par l'Inde sont ainsi bloqués faute d'un mécanisme de paiements permettant de contourner les sanctions. La Russie a suspendu un crédit pour la concrétisation de ventes d'environ 10 milliards de dollars portant sur la livraison de pièces détachées et de deux batteries de défense antiaérienne et antimissile mobile S-400 (trois ont déjà été livrées). New Delhi refuse de payer ses achats en dollars en raison de la crainte de sanctions secondaires. De son côté, la Russie n'est pas favorable à un paiement en roupies considérant les réserves déjà importantes de monnaie indienne en sa possession. Rappelons que les forces armées utilisent plus de 250 Sukhoi SU-30 MKI, des MiG-29, des hélicoptères, sept sous-marins de classe Kilo et plus de 1200 chars T-90, opérationnels pour au moins encore une décennie et pour lesquels des pièces détachées⁴ sont nécessaires. D'autres contrats sont en cours comme la construction dans le chantier naval russe de Yantar (Kaliningrad) de deux frégates dans le cadre du « Projet 11356 », la modernisation de la flotte des Sukhoi-30 MKI et la mise à niveau des MiG-29. Un représentant de l'IAF a indiqué au Parlement que la Russie ne pourrait honorer toutes les commandes du fait de la guerre en Ukraine⁵. Si le Groupe



Source : SIPRI 2023

d'action financière (FATF) devait décider de renforcer les sanctions à l'encontre de la Russie, cela compliquerait encore un peu plus la coopération de défense avec l'Inde.

Les dépenses d'acquisitions d'armement à l'étranger ont diminué, passant de 46% en 2018-19 à 36,7% des achats globaux fin 2022. Pour autant, l'Inde, dans un environnement régional qui n'invite pas à baisser la garde avec les frontières contestées avec la Chine et le Pakistan et l'expansion de la Marine chinoise dans l'océan Indien, va encore rester pendant de nombreuses années dépendante d'importations. Pour enrayer la baisse du nombre des escadrons de l'IAF, l'acquisition de 114 avions de combat a fait l'objet d'un appel d'offres en avril 2019 auprès des avionneurs mondiaux⁶. Le projet, qui implique que l'OEM retenu installe une usine en Inde, devrait bientôt recevoir l'accord de nécessité. Les trois armées doivent acquérir, parmi d'autres achats, des drones MQ-9B Reaper/Sea Guardian de General Atomics-Aeronautics Systems Incorporated (GA-ASI), dont le maintien en condition opérationnelle sera confié à HAL. Parmi les contrats en cours, il y a l'acquisition par la Marine de 24 hélicoptères multirôle MH 60R de Lockheed Martin/Sikorsky.

Une indigénisation partielle

Des plateformes présentées comme indigènes restent encore significativement dépendantes d'apports étrangers. Les moteurs des systèmes terrestres, comme les chars de combat Arjun, les véhicules de combat d'infanterie BMP-2/2K, les obusiers automoteurs chenillés K-9 Vajra-T de 155 mm/52 mm, ont été importés. Il en va de même pour les systèmes de transmission et d'autres équipements connexes, dont certains ont été construits localement sous licence mais avec une collaboration étrangère suivie. L'essentiel de la force aérienne indienne est composée aujourd'hui d'aéronefs d'origine étrangère (avions de combat Rafale et MiG-29 Fulcrum, chasseurs Su-30MKI et Jaguar, hélicoptères d'attaque AH-64 Apache, hélicoptères de transport lourd CH-47 Chinook, avions de transport stratégique lourd C-17 Globemaster III ou

encore avions de transport C-130J-30 Super Hercules). Le système de détection et de commandement aéroporté Netra repose sur l'appareil ERJ-145 du brésilien Embraer, modernisé localement. L'hélicoptère moyen polyvalent (ALH) Dhruv, mis en service en 2002, et le premier hélicoptère de combat léger (LCH), le Prachand, formellement mis en service dans l'IAF à l'automne 2022, incorporent tous une proportion élevée de systèmes importés (moteurs, avionique, armements) représentant environ la moitié du coût de l'appareil. C'est un moteur importé, le GE-414 de l'américain General Electric, qui équipe le Tejas dans ses variantes actuelles et futures, tout comme l'AMCA en projet. A ce sujet, les Indiens escomptent que l'*Initiative on Critical and Emerging Technologies*, lancée en début d'année avec les Américains, facilitera le transfert de technologie permettant la fabrication de ce moteur sur le sol indien, en collaboration avec le DRDO et un partenaire privé indien restant à identifier.

Par ailleurs, l'INS Vikrant, premier porte-avions conçu par la Direction de la conception navale de la Marine indienne et construit par Cochin Shipyard Limited, est officiellement à 76% « indigène ». Toutefois, il a recours à une propulsion d'origine étrangère, tout comme le groupe aérien embarqué⁷. Bien que largement présenté comme « indigène », le char léger du projet Zorawar, destiné notamment à être déployé pour faire face à la menace chinoise sur la frontière himalayenne, disposerait d'un moteur et d'une transmission importés et verrait sa coque équipée d'une tourelle de 105 mm fabriquée par la société belge John Cockerill.

Conclusion

L'indigénisation aura d'autant plus de chance d'aboutir à des résultats que le budget du ministère de la Défense (environ 2% du PIB ces dernières années, en-deçà des 3% parfois jugés nécessaires pour mener une guerre sur deux fronts) permettra de soutenir activement la recherche et le développement, que ce soit à travers le financement du DRDO ou d'autres programmes comme l'initiative iDEX⁸ (*Innovations*

For Defence Excellence). Ensuite, le maintien d'une croissance économique forte – autour de 6% dans les années à venir d'après les projections – est le premier outil pour générer les ressources alimentant le renforcement de l'écosystème de défense à travers des commandes s'inscrivant dans la durée et susceptibles également d'attirer les investissements des acteurs privés. La conception et le développement de plateformes et de systèmes est un processus long et complexe qui concorde difficilement avec la permanence de la menace, une situation sécuritaire propice aux achats sur étagère pour répondre aux besoins nationaux. La quête de l'autosuffisance, notion qui reste relative, promet d'être longue.

GILLES BOQUERAT

Chercheur associé, FRS

Notes

1. L'initiative du « *Make in India* », qui concerne tout le secteur industriel, est lancée en septembre 2014 par Narendra Modi, peu après son accession au poste de Premier ministre.
2. « *2,736 defence items on domestic shopping list* », *The Hindustan Times*, 17 mai 2023.
3. En attendant la réalisation du TEDBF, les Indiens ont mis en concurrence le Rafale M de Dassault Aviation et le F/A-18 Super Hornet de Boeing pour l'acquisition de 26 exemplaires.
4. « [Russian arms sales to India stall due to fears over US sanctions](#) », *The Economic Times*, 21 avril 2023
5. *Standing Committee on Defence (2022-23), 17th Lok Sabha, Ministry of Defence, Demands for Grants (2023-24), 36th Report, Lok Sabha Secretariat, mars 2023, p. 20.*
6. Sur les 31 escadrons actuels, les trois escadrons de Mig-21 seront retirés du service d'ici 2025. Il en sera de même progressivement pour les Jaguar, les Mirage-2000 et les Mig-29 d'ici la fin de la décennie. Et, au début des années 2040, lorsque la plupart de ces appareils auront été retirés du service, le tour viendra des Sukhoi SU-30.
7. C'est également le cas du système utilisé pour le décollage et l'atterrissage d'appareils (STOVAR), ainsi que des équipements de manutention d'aéronefs en provenance de Russie. En outre, les deux ascenseurs pour les avions du navire ont également été importés du Royaume-Uni, et les portes des hangars de Suède.
8. L'iDEX s'inscrit dans la recherche de l'autosuffisance en encourageant l'innovation et le développement technologique grâce à la contribution des industriels, y compris ceux venant des PME, des start-ups, des instituts de R&D et des universités.

Le wargaming en France :

une méthodologie en devenir

Tout observateur des questions de défense a été confronté à la nouvelle tendance des *wargames* en France. Faire des *wargames* serait ainsi gage d'innovation. Mais comme tout concept désormais d'usage courant, il devient progressivement un mot valise qui entraîne confusion et mésusage. Aussi, si ce retour en grâce est plus que bienvenue pour les études prospectives, encore faut-il appréhender au mieux l'outil et son emploi.

Il s'agit de bien distinguer, le *wargame* (le jeu) et le *wargaming* (la méthodologie), puisque s'ils s'incarnent tous deux dans le recours au jeu pour mettre en pratique une problématique stratégique, ils diffèrent dans l'objectif poursuivi et surtout leur processus de mise en œuvre. Ainsi, l'usage adéquat au plan professionnel liant la simulation mise en œuvre (le *wargame*) et son analyse approfondie (le *wargaming*) ne va pas de soi.

En effet, l'outil qu'est le *wargame* -ou pour utiliser un vocabulaire français la « simulation sous forme de jeu »-, doit être prolongé par le corpus analytique de la méthodologie qu'est le *wargaming* s'il souhaite être utilisé à des fins d'études prospectives. Dans le cas contraire, faire un *wargame* revient à réaliser une partie de jeu, qui ne peut raisonnablement être utilisée par la suite pour produire une étude stratégique, puisque des pans majeurs de l'exactitude scientifique n'ont pas été pris en compte (étude des biais cognitifs, pondération de la variance, etc.).

Par conséquent, pour appréhender au mieux l'apport du *wargaming* professionnel et la nécessité de son emploi, il convient d'aborder trois dimensions. En premier lieu, le regain d'intérêt des *wargames* en Europe et les opportunités et problématiques qui en découlent seront analysés. Dans un second temps, une étude de l'essence de la méthodologie du *wargaming* sera alors possible. Enfin, dans un troisième temps, sera mis en exergue l'intérêt du *wargaming* pour la réflexion stratégique et la définition des processus d'innovations capacitaires et doctrinaux.

Un regain d'intérêt réel mais reposant sur un usage confus

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, pour des raisons autant politiques que militaires, le *wargaming* avait pratiquement disparu en France malgré un passé prolifique. La France, comme toutes les puissances européennes, a en effet massivement utilisé dans les armées le *wargaming* après 1870, en particulier dans ses processus de planification¹. Le désamour post-1945 pour le *wargaming* repose alors autant sur la focale nucléaire de la défense, qui diminue les besoins de planification d'opérations armées conventionnelles et donc leur test par le biais de *wargames* de type *kriegsspiel*, que sur une approche culturelle réticente à la mise en œuvre d'outils prospectifs fondés sur le jeu face à une guerre précédente dont l'anticipation avait été très mauvaise.

Le retour de la haute intensité dans le débat stratégique et le besoin d'études prospectives qui l'accompagne (industries de l'armement, économie, loi de programmation, évolutions doctrinales, etc.) a permis d'offrir un nouvel éclairage sur la nécessité de recourir à des méthodologies pratiques, faisant réémerger l'intérêt de mobiliser de nouveau l'outil des *wargames*, non sans confusion dans la mise en œuvre.

Le retour en grâce des wargames dans les questions de défense

Faire des *wargames* en France devient depuis quelques années une pratique de plus en plus régulière, et touche aussi bien le monde civil que militaire. L'on ne compte plus en effet les sessions dédiées au sein des armées pour tous les types de jeux², comme dernièrement la compétition organisée entre militaires à l'École de Guerre en novembre 2022³. Le phénomène gagne également les forums et exercices militaires, avec des présentations de simulations clés en main ou la mise en œuvre de sessions de jeu permettant de découvrir l'outil (cf. l'édition 2021 de la Fabrique défense avec l'organisation de *wargames* à Paris et à Lyon)⁴. Dans le même ordre d'idées, l'intérêt pour l'outil et sa compréhension, même

théorique, ne cesse de croître, en témoigne la multiplication des articles de presse et des conférences dédiées qui dépassent les seuls magazines spécialisés dans les jeux de hobby (jusqu'ici en France représentée par *VaeVictis*) pour explorer la pratique professionnelle des *wargames*⁵. Le *wargame* devient même une clé de lecture des conflits en cours, la glose entourant son emploi par l'Ukraine –avec l'appui des américains– pour planifier ses offensives en étant un exemple récent.

Un usage encore confus voire contreproductif

Si le retour en grâce des *wargames* est indéniable, et d'autant plus intéressant que ces nombreuses utilisations et mentions en popularisent la pratique, leur utilisation s'avère par contre souvent problématique. Ainsi, en l'absence d'une compréhension fine de l'outil, une confusion est régulièrement opérée entre la pratique du jeu et son utilisation pour la recherche et les études prospectives. Ces dernières nécessitent en effet une approche méthodologique reposant sur un processus analytique approfondie et pas seulement des parties de jeu. En ce sens, le *wargaming* comme méthode est indispensable.

De fait, la pratique des *wargames* suppose, pour un juste emploi, une étude fine des biais cognitifs. Il s'agit également de pouvoir régler au mieux les problématiques de la variance des résultats (chance, jets de dé, mauvais emploi des règles, etc.) et de la définition de la rationalité des décisions prises. Le tout afin de pouvoir tirer des leçons réelles et pondérées des simulations réalisées. Pour ce faire, seul le recours à un cadre analytique multidisciplinaire, créé en amont et adapté à l'objet de recherche/objectif défini, est à même d'apporter une solution.

Or, la plupart des usages professionnels des *wargames* en Europe ne dépassent pas le cadre de l'évènement qui consiste à ne réaliser qu'une partie de jeu unique sans l'insérer dans un processus analytique complet. Si le caractère de rayonnement (c'est-à-dire une opération de communication) est parfois le seul objectif de ces utilisations, ce qui ne nécessite pas une étude approfondie, cela devient inadapté dès que l'on entend tirer des enseignements des *wargames* mis en œuvre. De fait, par une seule réalisation d'une partie de jeu, sans cadre méthodologique et processus rigoureux d'analyse, est confondu le jeu (*wargame*) et son usage professionnel comme méthodologie d'analyse prospective (*wargaming*).

Les problèmes affiliés à ce mauvais usage ne sont pas anodins, avec des risques élevés de biais de confirmation, de prophéties auto-réalisatrices... faussant par essence les résultats. En somme, dans le cadre d'un *wargame* utilisé dans un évènement unique, l'outil est réduit à sa seule expression ludique, basculant vers un usage récréatif identique à celui des jeux de hobby⁶.

Exploiter le potentiel professionnel des *wargames*, nécessite d'en comprendre l'essence qu'est la méthodologie (le *wargaming*), seule à même d'en faire un usage cohérent et pertinent.

La méthodologie du *wargaming* : clé de l'emploi des *wargames* pour la prospective

Employer une méthode prospective dans un cadre professionnel revient à la fois à déployer une méthodologie adaptée aux études des processus d'innovation et d'anticipation, et à en comprendre la juste application selon un processus rigoureux. Ces deux dimensions forment le cœur de ce qu'est le *wargaming*.

*Le *wargaming* comme outil d'analyse prospective*

La méthodologie qu'est le *wargaming* repose certes sur la mise en place de simulations sous la forme de jeux (les *wargames* quelle que soit leur forme : *stress test*, *kriegspiel*, gestion de crise, *matrix game*), mais ne trouve son intérêt que dans la phase d'analyse et d'exploitation des *wargames* qui accompagne la partie et la prolonge.

Ainsi, le *wargame* en tant que simple jeu n'est que la partie immergée de l'iceberg (le moyen), et le cœur de son usage pour les études prospectives repose donc sur le *wargaming* (la méthodologie) qui se place en amont et en aval de la conduite des *wargames* (parties de jeu) avec pour phase principale l'analyse.

Cette méthodologie doit alors faire en sorte de répondre aux défis évoqués plus haut concernant l'étude prospective reposant sur l'incertitude et les risques de biais cognitifs. Bien que multiples, ces défis analytiques s'attachent avant tout à la gestion (la plus efficiente possible) de trois grandes dimensions : la définition de la rationalité des décisions⁷, la chasse aux biais de toute nature (aussi bien concernant ceux des joueurs que ceux du jeu dont le processus de création -*game design*- peut influencer indirectement les résultats), et la gestion de la variance par la répétition des simulations et la diversité des panels de joueurs afin de déceler des dynamiques et redondances⁸.

En somme, il s'agit de pouvoir pondérer les résultats du jeu en appliquant une grille analytique identifiant et modérant les effets de l'incertitude et des biais cognitifs.

Un travail de définition d'une grille analytique adaptée doit donc s'opérer à chaque création de *wargame* professionnel pour répondre au mieux aux objectifs et aux risques de biais dédiés (un jeu usant de lancer de dés impose, par exemple, une gestion de la variance plus élevée qu'une simulation sans mécanisme de hasard), selon une procédure scientifique rigoureuse et ouverte à l'autocritique⁹. Ce n'est qu'à ce prix que le *wargaming* peut être réalisé.

*Du juste usage du *wargaming**

Une fois les contours de la méthode compris, encore faut-il en définir le juste emploi puisqu'elle doit s'adapter aux besoins/objectifs exprimés et au contexte. Pour ce faire, le premier impératif dans un cadre professionnel est de faire la chasse aux jeux « clé en main ». Leurs intérêts ludiques et d'initiation sont en effet notables, mais ils ne peuvent prétendre à exprimer un réel *wargaming* puisque la méthode prospective varie en fonction de chaque besoin et chaque contexte. Se fonder sur un jeu unique que l'on adapte à

chaque besoin, revient en réalité le plus souvent à tordre les résultats en adaptant inconsciemment le besoin/contexte au jeu, alors qu'il s'agit en réalité de faire l'inverse¹⁰.

Réaliser un processus d'étude prospective par l'usage de *wargames* implique de ce fait de répondre à un processus de création adapté. Celui-ci repose schématiquement sur cinq grandes étapes¹¹ :

◆ **La question initiale : la méthodologie du *wargaming* est-elle la plus adaptée au besoin ?**

Par cette interrogation se résout bon nombre de distinctions entre l'emploi uniquement ludique des *wargames* et le besoin de recourir à une réelle analyse qui repose donc sur l'emploi du *wargaming* comme méthodologie.

◆ **La définition du modèle de la simulation**

Le *wargaming* ne procède pas d'un schéma de jeu figé, et doit donc définir le type de simulation le plus adapté aux besoins prospectifs. Il n'y aurait, en effet, pas de sens par exemple à traiter d'un processus de réponse à une crise économique par une simulation de conflit armé (cf. un *kriegspiel* selon la terminologie des *wargames*).

◆ **La modélisation de la simulation et la création du livret de jeu**

Etape de *game design* qui repose à la fois sur un travail théorique de définition de la grille analytique qui sera appliquée pour tirer les résultats des parties de jeu, et sur un travail pratique de parties test permettant d'affiner les mécaniques de jeu.

◆ **La conduite de la simulation**

Moment de jeu à proprement parler, le nombre de parties jouées est alors adapté aux besoins de diversité des approches pour l'analyse (plusieurs panels de joueurs, plusieurs parties jouées pour réduire l'empreinte du hasard notamment en cas de jets de dés).

◆ **L'analyse des résultats**

Cœur de la méthodologie, il s'agit d'appliquer la grille analytique afin d'identifier les biais décisionnels et du hasard pour exprimer les résultats de l'étude prospective grâce à l'expression de dynamiques récurrentes.

Il s'agit également et selon le contexte et les besoins exprimés, de pouvoir retranscrire le plus de variables possibles de la prospective. De ce fait, plusieurs *wargames* différents ou conduits de manières diverses peuvent être nécessaires pour tirer des résultats pertinents.

Le *wargaming* entend en effet avant tout permettre d'exprimer des éléments non-prévus, une modélisation des possibles, et la compréhension/anticipation de l'adversaire. Dans ce cadre, des jeux renversant successivement les approches pour porter la focale également sur les options de l'adversaire, ou jouant sur l'introduction ou la suppression de variables et moyens, faisant évoluer les contextes, peuvent s'avérer nécessaire.

Le *wargaming* se conçoit ainsi comme une méthodologie agile, devant adapter le type et le nombre de jeux aux besoins prospectifs et aux objectifs assignés.

L'enjeu étant toujours identique, il est nécessaire de mettre en œuvre le plus d'outils possible pour repousser les limites de la prospective et de la simulation (risque de prophéties auto-réalisatrices, effet silos, confusion avec un exercice, etc.) et éviter d'en faire un usage contreproductif, ou parcouru de biais majeurs¹².

Le *wargaming* professionnel, un potentiel à exploiter d'urgence

Une fois la méthodologie mieux appréhendée, il convient de s'intéresser à l'intérêt de son emploi en tant que méthodologie prospective, et en particulier ses atouts pour la réflexion stratégique, les politiques d'innovation et la prospective industrielle, les forces armées, etc.

Les cinq fonctions du *wargaming* professionnel

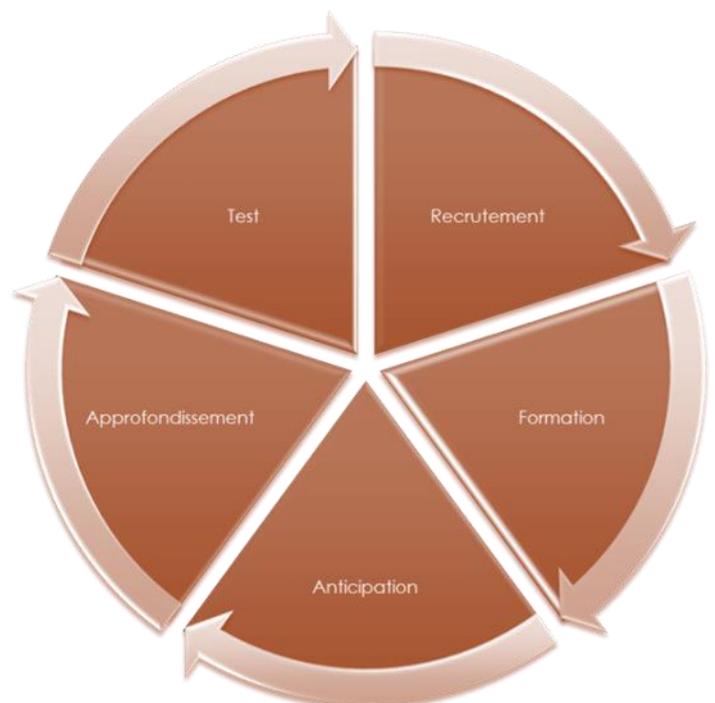
Le *wargaming* en tant qu'outil est pensé pour correspondre à l'ensemble des besoins de simulation et d'anticipation d'une structure¹³ : processus d'innovation, de formation et de test/anticipation.

Le *wargaming* peut ainsi être utilisé dès le recrutement des nouveaux entrants pour tester leur aptitude au travail en équipe ou à la gestion de tâches multiples (un usage courant au sein des grandes entreprises américaines).

Il est également adapté à tous types de formation et d'acculturation aux nouvelles variables (une fonction particulièrement utilisée dans les forces armées américaines que ce soit pour apprendre les gestes élémentaires aux soldats, ou pour développer la réflexion et l'anticipation des officiers supérieurs avec des modules de cours dédiés)¹⁴.

Son chemin peut ensuite se poursuivre pour s'insérer au sein des processus d'innovation. Il s'agit d'une composante très

L'usage idéal du *wargaming* : une méthode pour l'ensemble des besoins professionnels



Source : Cours donné par l'auteur lors de la semaine PSL à l'ENS (2023)

développée dans les industries de défense anglo-saxonnes, aussi bien pour l'étude des technologies émergentes, que pour l'anticipation des programmes d'armement et des budgets¹⁵, ou encore pour le test de l'évolution du contexte économique. Sur ce dernier volet, les États-Unis développent depuis 2008 (en réaction à la crise des *subprimes*) un *wargame* annuel explorant les mécanismes de réponse à une crise financière d'ampleur. Pour ce faire, sont réalisés différents *wargames* mis en œuvre pour explorer le plus de variables possibles (programmes d'investissement pluriannuels par le biais d'un *matrix game*, *stress test* sous la forme de *serious game*, gestion de crise, réactions « opérationnelles » sous forme de décision d'investissement sur plateau de jeu, etc.) qui sont ensuite analysés et pondérés par une procédure complète d'analyse méthodologique des résultats du type *wargaming* permettant de faire émerger les principales dynamiques et les enseignements de ce test¹⁶. En outre, l'emploi du *wargaming* dans les processus d'innovation n'est pas réductible à la seule variable industrielle et économique, mais s'incarne également au plan militaire au sein des processus de réflexion et de définition des nouvelles doctrines (la *Third Offset Strategy* et les *All Domain Operations* ont ainsi fait l'objet de *wargames* tout au long de leur création)¹⁷.

Enfin, le *wargaming* s'adapte tout particulièrement aux procédures de test aussi bien pour les plans d'opération que pour la mise en œuvre d'une stratégie commerciale. Il s'agit alors avant tout d'essayer de déstabiliser les postulats établis (c'est ici que prennent le plus souvent place les *kriegspiel* au plan militaire, ou les *wargames* de gestion de crise et *red team*).

En somme, le *wargaming* apparaît comme un outil idéal pour la conduite d'études prospectives ou les besoins d'une entreprise : aide au recrutement, processus de formation, aide aux processus d'innovation, test des produits finaux, etc.

Lexique terminologique

Wargame : simulation sous forme de jeu. Il peut prendre des formes variées : gestion de crise, simulation, *Kriegspiel*, *matrix game*, etc. La différence entre les *wargames* de hobby et professionnels réside dans l'objectif de leur emploi (ludique pour les *wargames* de hobbys, réponse à un besoin/problématique pour les *wargames* professionnels).

Simulation : parfois interchangeable avec le mot *wargame*, il apparaît cependant à l'usage qu'une confusion puisse s'opérer avec les simulations informatiques ou les simulateurs (de pilotage, de vol). Aussi, les simulations seront évoquées uniquement pour désigner les simulateurs et pratiques affiliées.

Wargaming : méthodologie usant des *wargames* dans le cadre d'un processus d'études prospectives, d'aide au recrutement, de formation, de test des doctrines et produits finaux, etc. Le *wargaming* est ainsi un outil particulièrement adapté aux besoins professionnels.

Kriegspiel : simulation d'opérations militaires sur carte ou par le biais d'un jeu de plateau. Les *Kriegspiel* – créés par les prussiens suite à la défaite d'Iéna – sont considérés comme les premiers *wargames* professionnels modernes auxquels ils ont d'ailleurs donné leur nom (jeu de guerre).

Un potentiel sous-exploité qui mérite une attention particulière

Fort de ce constat des apports du *wargaming*, il apparaît cependant que son emploi est encore trop limité en France. De fait, au-delà des confusions précitées entre usage de *wargames* et réalisation de *wargaming*, les institutions et entreprises s'emparent à peine de la méthodologie¹⁸. La place de l'outil dans les processus de formation/anticipation/innovation a du mal à être trouvée, et l'usage reste parcelaire.

Beaucoup reste donc à faire, notamment pour les domaines non-militaires où la culture du *wargame* (construite autour du *kriegspiel*) est historiquement absente, ce qui nécessite une adaptation et un investissement particulier. A titre d'exemple, un usage sur les problématiques économiques et financières est à développer. Les intérêts sont alors multiples, de l'accompagnement RH, au test de la résilience des structures aux crises, en passant par l'identification des chaînes de dépendance ou la possibilité d'offrir un cadre d'échange novateur pour les acteurs civilo-militaires de le BITD.

In fine, si le potentiel du *wargaming* en France est indéniable, il est indispensable de se saisir au plus tôt de l'outil pour en maîtriser la méthodologie et le juste usage. Le pont entre experts du *wargaming* et acteurs professionnels/institutions émerge ainsi comme un enjeu fondamental à court terme.

THIBAUT FOUILLET

Chargé de recherche, FR5

Game design : processus de création d'un *wargame*, définissant le ou les scénarios, les règles, la grille d'analyse le cas échéant.

Game play : réalisation des parties de jeu, durant lesquelles les informations sont collectées en vue de l'analyse ultérieure.

Gestion de crise : type de *wargame* qui entend placer les joueurs dans une situation de crise pour les acteurs incarnés qui doivent définir des mécanismes de réponse en un temps contraint.

Red Team : type de *wargame* consistant à se placer à la place d'un adversaire potentiel pour chercher à mettre en défaut un plan établi afin d'en faire émerger des dimensions non-prévues et d'en améliorer la résilience.

Matrix game : dernier né des *wargames* professionnels, il s'agit d'une méthode créant la confrontation interactive organisée et développée d'idées sur un scénario permettant de fonder une nouvelle vision sur un risque prospectif ainsi que d'en tester la pertinence et de faire émerger des solutions et leur degrés de plausibilité.

Notes

1. Certains ont même démontré *a posteriori* leur efficacité puisqu'en 1938 avait été jouée une percée des Allemands par les Ardennes et la défaite française qui l'accompagnait (Naval War College, « On wargaming: how wargames have shaped history and how they may shape the future », *Newport Papers*, 2019, pp. 47-50). Une leçon non-prise en compte par le haut commandement, qui démontre la différence fondamentale entre jouer des *wargames* et en faire une analyse correcte par le *wargaming*.
2. Depuis les très connus *Kriegspiel* (simulations d'États-majors sur carte), jusqu'à la gestion de crise et en passant par les *matrix game* (John Curry, Chris Engle, Peter Perla, *The matrix games hand-book, The history of wargaming project*, 2018, 280 pages).
3. Antoine Bourguilleau, « Jouer pour gagner la guerre : usages et mésusages du jeu de guerre par les militaires », *DSI*, n°164, mars-avril 2023, 4 pages.
4. L'entreprise Pytharec, particulièrement active sur ce segment, participe ainsi à une session d'initiation à l'usage de *wargames* pour la planification dans le cadre de l'exercice de l'armée de Terre ORION.
5. Hugues Maillot, « Guerre en Ukraine : comment le «wargaming influence les conflits modernes », *Le Figaro*, 10 mars 2023, 4 pages.
6. Il s'agit en effet de la seule différence entre un wargame professionnel ou de hobby. Le jeu en lui-même n'est pas suffisant, parce que des simulations créées à l'origine par des civils pour un usage civil ont été récupérées et utilisées à des fins militaires et professionnelles (cf. le jeu *Gulf Strike* utilisé par l'armée américaine pour préparer l'opération *Desert Storm*). Le seul critère déterminant est ainsi l'objectif qui sous-tend l'utilisation du jeu : si elle est uniquement récréative/événementielle alors le wargame est de hobby, tandis que si elle est employée pour répondre à des besoins stratégiques ou de prospective alors le wargame est réputé d'usage professionnel. Pour plus de détails, voir : Thibault Fouillet, *Le wargaming : un outil de recherche stratégique*, L'Harmattan, 2023, pp. 31-38.
7. Reposant avant tout sur l'étude sociologique des facteurs pouvant altérer la rationalité des décisions (sociologie de groupe, pression du temps, place du hasard, etc.), il s'agit d'identifier -si cela est possible- les décisions irrationnelles ou sujettes à caution pour les écarter des leçons à tirer et pondérer les résultats obtenus.
8. Thibault Fouillet, *Le wargaming : un outil de recherché stratégique*, *op. cit.*, pp. 54-64 et 76-78.
9. Peter Perla, *The art of wargaming: a guide for professionals and hobbyists*, Naval Institute Press, Maryland (États-Unis), 1990, 364 pages.
10. Taylor Grossman, « The Promise and Peril of Wargaming », *CSS Analyses in Security Policy*, n°319, mars 2023, 4 pages.
11. Etapes déduites de l'expérience de l'auteur, et formalisées au fil des processus analytique set des cours dédiés (cf. Cours sur le *wargaming*, PSL week, ENS, 2023).
12. Le dernier exemple en date de ce risque sont les *wargames* réalisés par la RAND corporation en 2016 postulant une invasion des États baltes par la Russie. Ils décrivaient en effet un succès russe en 72h mais surtout l'impossibilité d'une contre-attaque otanienne par la densité de la bulle de déni d'accès aérienne mise en œuvre (David A. Shlapak, Michael Johnson, *Reinforcing Deterrence on NATO's Eastern Flank: Wargaming the Defense of the Baltics*, RAND Corporation, 2016, 16 pages). Une position erronée, qui en se basant sur des valeurs maximales de l'efficacité de systèmes russes non-pondérées, du fait d'une analyse de *game design* superficielle, a méconnu la réalité et projette une image de vulnérabilité largement contredite par la suite (Robert Dalsjö, Christofer Berglund, Michael Jonsson, *Bursting the Bubble, Russian A2/AD in the Baltic Sea Region: Capabilities, Countermeasures, and Implications*, FOI, 2019, 116 pages).
13. Voir notamment : Thibault Fouillet, *Le wargaming : un outil de recherche stratégique*, *op. cit.* ; Taylor Grossman, « The Promise and Peril of Wargaming », *op. cit.* ; Aggie Hirst, « Wargames Resurgent: The Hyperrealities of Military Gaming from Recruitment to Rehabilitation », *International Studies Quarterly*, n°66, 2022, 13 pages.
14. Johan Erik, *Wargaming in Military Education for Army Officers and Officer Cadets*, King's College, Londres, 2017, 286 pages. Ces modules peuvent même durer plusieurs mois comme à l'US Naval War College, avec un apprentissage complet du *wargaming*, depuis l'acculturation à leur usage dans la réflexion, jusqu'à la création de processus analytiques reposant sur les *wargames*, en passant par l'apprentissage de la mise en œuvre des méthodologies analytiques du *wargaming*.
15. Un exemple saillant étant le wargame SAFE créé dans les années 1970 aux États-Unis pour tester les politiques d'investissement de défense à horizon dix ans en explorant les diverses solutions possibles et leur impact sur les capacités ainsi développées pour les forces armées et les problématiques de réalisation pour les industriels. Les *wargames* français contemporains autour de la LPM s'incarnent donc clairement dans cette filiation.
16. Eamon Javers, « [Pentagon perps for economic warfare](#) », politico.com, publié le 4 septembre 2009.
17. Aggie Hirst, « States of play: evaluating the renaissance in US military wargaming », *Critical Military Studies*, vol. 8, n° 1, 2022, pp. 1-21.
18. Ce qui ne doit pas occulter les premières utilisations en la matière comme, par exemple, au sein du processus de définition du combat collaboratif par les armées, ou encore la volonté d'une codification française de la pratique des *wargames* militaires par la création d'un *Handbook* par le CICDE.

www.frstrategie.org

ISSN : 2274-598X
© FRS - Tous droits réservés