



# Next-Generation Air Dominance (NGAD) : expression paradoxale de la technologisation

Alain DE NEVE

## Introduction

Au cours de l'été dernier, L'U.S. Air Force (USAF) a procédé à des tests jugés particulièrement concluants du démonstrateur de son nouveau système aérien de combat issu du programme Next-Generation Air Dominance (NGAD). Toutefois, en annonçant cette campagne d'essais, l'assistant du secrétaire de l'USAF aux acquisitions, le Dr Will Roper, a suscité l'étonnement de la plupart des observateurs des affaires de défense : en effet, la conduite d'un essai de démonstrateur dans des délais aussi serrés est une chose assez rare en matière de conception de nouveaux systèmes d'armes.

Des interrogations demeurent : le programme NGAD porte-t-il sur l'élaboration d'un nouveau type d'aéronef de combat ? Le nouveau projet de domination des airs américain est-il de nature à porter atteinte à l'interopérabilité future des forces européennes et américaines ? Et si oui, quelles sont les mesures mises en œuvre par les Européens afin de corriger le risque d'un double décrochage industriel et technologique ?

L'ambition de ce court article est de décrypter les divers constituants du programme NGAD. Au travers du programme NGAD, le Département américain de la Défense vise en réalité à refondre l'ensemble de ses procédures de développement et d'acquisition d'armements. Le but est d'éviter les écueils rencontrés dans le passé par les programmes majeurs tels que le F 35 ou le B 2, pour ne citer que les plus notoires. Les forces armées des États-Unis s'engagent désormais sur la voie de processus d'acquisition plus flexibles et réactifs. L'US Air Force a emprunté à cet effet une approche managériale d'innovation issue du milieu civilo-commercial, bâtie autour du concept de « jumeau numérique »<sup>1</sup>. Comme nous aurons l'occasion de l'observer, les questions portant sur la configuration de la plate-forme et des technologies embarquées sont peut-être les plus secondaires du programme NGAD.

<sup>1</sup> R. Rosen, G. Von Wichert, G. Lo, K. D. Bettenhausen, « About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing », *IFAC-Papers OnLine*, Vol. 28, No. 3, 2015, pp. 567–572, cf. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.141>.

## Un programme en quête de structure

---

À l'instar de précédentes entreprises destinées en leur temps à la production d'un nouveau système d'armes, le NGAD est lui-même le produit de multiples initiatives et rédactions de cahiers des charges. La volonté de lancer le développement d'un avion de combat dit de « sixième génération » remonte déjà à plusieurs années. L'effet de surprise du NGAD est donc tout relatif puisqu'il constitue, en réalité, la dernière évolution en date d'activités de recherche et de développement ininterrompues aux États-Unis. Sur le plan budgétaire, le programme NGAD bénéficie d'un budget prévisionnel de \$9 milliards jusque 2025. Pour l'exercice 2021, \$1 milliard de dollars ont été planifiés. L'année fiscale 2022 pourrait voir ce budget porté à quelque \$1,5 milliard, sous réserve de l'accord du Congrès.

Il est singulier de noter qu'à aucun moment le Département américain de la Défense n'a daigné faire explicitement mention d'une entreprise ou d'un groupe d'entreprises susceptibles d'être choisis pour le développement du programme. Or, il est de notoriété publique que chacun des trois principaux industriels spécialisés dans l'aéronautique de combat aux États-Unis dispose d'unités dédiées à la recherche avancée en matière de nouveaux concepts et prototypes. Skunk Works de Lockheed Martin est l'une des plus connues de ces unités. C'est elle qui semble avoir été chargée de la conduite du programme NGAD. Rien de définitif ne peut être affirmé au moment où ces lignes sont écrites. Toutefois, les propos du directeur financier de Lockheed Martin, Ken Possenriede, ont donné quelques indices. Lors d'une conférence téléphonique avec des analystes de Wall Street, Possenriede a affirmé que le groupe prévoyait une forte croissance à deux chiffres de sa division Skunk Works chargée du développement des programmes « classés ». À la suite de ces propos, une autre sortie remarquée du directeur financier a fini de convaincre certains observateurs du fait que Lockheed Martin était bel et bien responsable de la conduite du programme NGAD. Possenriede affirma que son groupe avait remporté un contrat décisif pour la conduite d'un projet classifié devenu la priorité absolue de ses bureaux d'études. D'autres groupes disposent de divisions dédiées à la gestion de projets classés, mais ils ne semblent pas impliqués dans ce projet. L'un d'eux, Northrop Grumman, peut certes compter depuis 2007 sur sa branche Scaled Composites acquise aux fins de la conception de prototypes avancés, mais l'entreprise se concentrera, pour les prochaines années, au développement du nouveau bombardier à long rayon d'action, le B-21 Raider<sup>2</sup>. L'entreprise Boeing, dont l'unité chargée des projets avancés, Phantom Works, a récemment acquis Aurora Flight Sciences depuis 2017, n'a quant à elle pas communiqué de quelque façon que ce soit sur son implication dans des projets nouveaux de l'U.S. Air Force.

## Un pilotage innovant : le « jumeau numérique »

---

Le programme NGAD pourrait à l'avenir conduire à une révision complète des schémas jusque-là suivis en matière de pilotage des projets industriels de défense, et ce à deux niveaux. Plutôt que de confier à une seule et même entité la conception, la mise en œuvre et le suivi d'un de la production de prototypes issus du projet, l'USAF envisage de définir des sociétés distinctes qui seraient chacune chargée d'une mission spécifique afin de réduire les cycles de développement. De la sorte, le Département de la Défense (DoD) espère pouvoir garantir à ses programmes de défense une plus grande réactivité et une meilleure flexibilité. Jusqu'à présent, les programmes d'armement majeurs du DoD reposaient sur la désignation d'un « champion » industriel. Une fois le contrat attribué, l'ensemble du programme était placé entre les mains de l'industriel désigné, ce qui était de nature à favoriser les dépassements de

---

<sup>2</sup> A. De Neve, *Le programme B-21 Raider : armement stratégique ou institutionnel ?*, Bruxelles, Institut royal supérieur de défense, Focus Paper 38, janvier 2019.

calendrier et l'envolée des coûts en cours de développement. Désormais, le DoD souhaite privilégier une approche favorisant la conduite de programmes sur la base de lignes de production plus serrées en fonction de paliers technologiques et d'objectifs de mise en œuvre strictement définis.

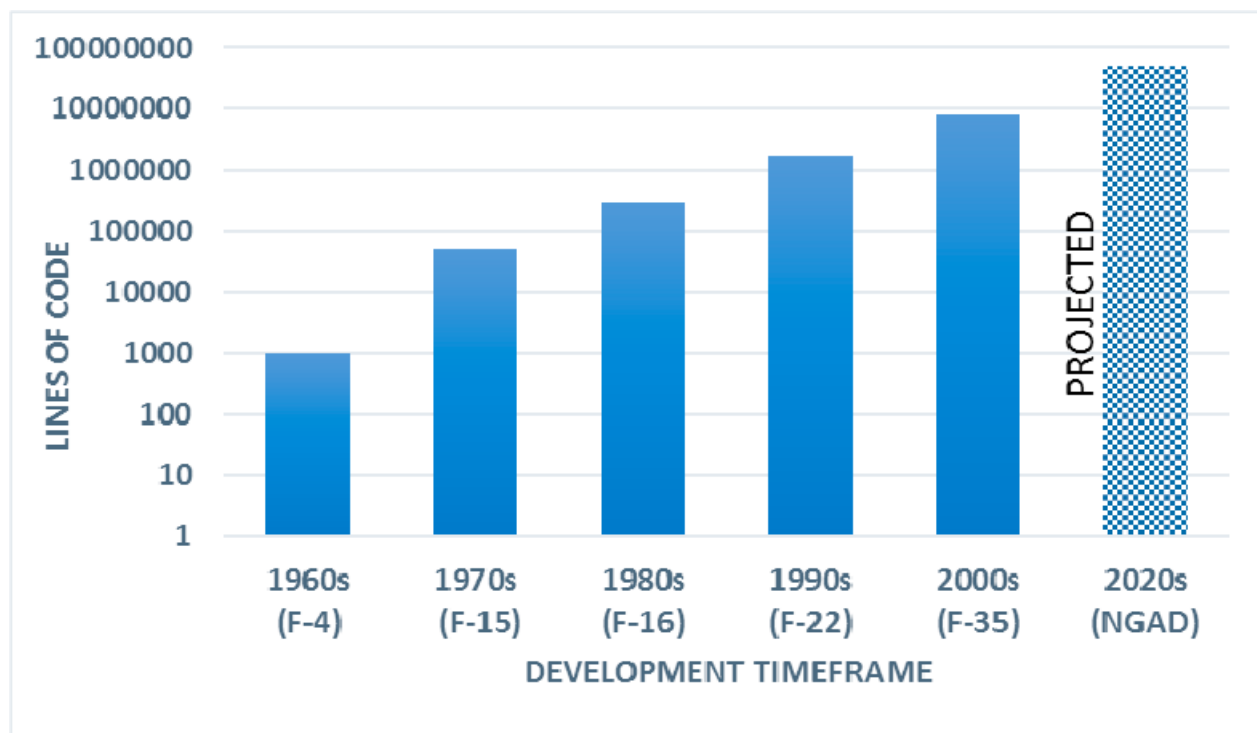


Diagramme 1 : nombre de lignes de code dans les divers programmes d'avions de combat existants et futurs des forces armées des États-Unis (West & Blackburn, 2017)

En vue d'atteindre cet objectif, l'US Air Force a choisi de miser sur le concept de « jumeau numérique » issu de l'ingénierie numérique (Digital Thread & Digital Twin). La conception d'armements selon une approche « fly-fix-fly » (que nous pourrions traduire par « tester-corriger-tester ») se révèle inappropriée à la structure même des programmes militaires de demain. Si les armements qui composent les arsenaux des nations industrialisées se révèlent plus efficaces et plus polyvalents, ils se montrent également plus complexes, plus interconnectés et sont des « ogres de données ». En l'espace de soixante ans, le nombre de lignes de code source d'un avion de combat a été multiplié par 100.000 (voir Diagramme 1). Actuellement, le F-35 Lightning II intègre pas moins de 8 millions de lignes de code source dans son système. Au rythme de progression observé durant ces soixante dernières années, les projections actuelles soutiennent que le NGAD pourrait comprendre entre 50 et 100 millions de lignes de code source<sup>3</sup>. La complexité exponentielle des plates-formes de combat a atteint un niveau tel que ce ne sont pas moins de 75 à 90 % du budget total du développement logiciel qui sont désormais affectés aux seuls processus de vérification et de validation (V&V) des lignes de code source. Ce poste budgétaire consacré au processus V&V est particulièrement sujet à une hausse incontrôlée des dépenses de développement<sup>4</sup>. Le « jumeau numérique » consiste donc à concevoir un double virtuel du système d'armes que l'on souhaite mettre au point et à simuler son comportement en temps réel.

<sup>3</sup> T. D. West, M. Blackburn, « Is Digital Thread/Digital Twin Affordable? A Systemic Assessment of the Cost of DoD's Latest Manhattan Project », *Procedia Computer Science*, Vol. 114, 2017, pp. 47–56, cf. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.003>.

<sup>4</sup> M. Blackburn, R. Cloutier-Stevens, G. Witus, « Introducing Model-Based Systems Engineering – Transforming System Engineering through Model-Based Systems Engineering », 2014, *Systems Engineering Research Center*.

## Une inconnue : la puissance de calcul

---

L'enthousiasme de l'US Air Force et en particulier des défenseurs de cette approche issue de l'ingénierie numérique pêche cependant par un aspect, et non des moindres : la disponibilité de la puissance de calcul, ou plutôt son indisponibilité. La puissance computationnelle qui devrait être mobilisée pour permettre une implémentation complète du « jumeau numérique » pour la conception d'un nouveau système d'armes aussi avancé et complexe que le NGAD n'est tout simplement pas au rendez-vous<sup>5</sup>. Certes, l'initiative lancée en 2015 sous l'impulsion du Président Barak Obama au travers de la National Strategic Computing Initiative (NSCI) devrait permettre d'aboutir d'ici 2022 au développement d'un ordinateur exaflopique (1018 flops). Toutefois, une telle capacité s'avérerait limitée dans la perspective de la conception d'un « jumeau numérique » adapté au développement d'un avion de combat de nouvelle génération intégrant autant de lignes de code source que le NGAD. Les prévisions les plus optimistes supposent que la capacité de calcul requise ne pourrait être atteinte au plus tôt qu'en 2025. C'est là un calendrier de développement qui projette donc l'US Air Force au-delà de l'échéance qu'elle s'était originellement fixée pour le développement d'une capacité de nouvelle génération destinée à contrer la montée en puissance de la Chine et de la Russie sur le plan aéronautique.

La question du cheminement de l'U.S. Air Force vers l'intégration des solutions d'ingénierie numérique au sein des programmes technologiques avancés permet de mieux comprendre la place occupée par Lockheed Martin au sein du projet NGAD. Comme nous l'avons mentionné, l'un des aspects rendant la conception d'un « jumeau numérique » encore plus complexe et sujette à des débordements de coûts tient au fait que les systèmes d'armes futurs seront intégrés à un « système des systèmes » également composé de plusieurs millions de lignes de code source. L'interaction de ces lignes de code source de provenances diverses générera un terrain propice à des perturbations prévisibles. Le système ODIN (Operational Data Integrated Network) qui sera intégré au F-35, en lieu et place de son malheureux prédécesseur, ALIS (Autonomic Logistics Information System), incarne d'ores et déjà cette dynamique réticulaire. Or, parmi les solutions transitoires envisagées par l'USAF en l'attente d'une puissance de calcul adaptée à la conception de « jumeaux numériques » fiables figurent la collecte et l'emploi des données ainsi collectées par les systèmes ALIS/ODIN. Cette solution doit permettre d'avancer temporairement sur l'affinement des modèles numériques destinés à la conception de futurs systèmes d'armes. Les données provenant des diverses plates formes F-35 seraient alors intégrées à des modèles d'analyse, certes moins performants que ceux idéalement souhaités, mais dont la vertu serait d'offrir aux gestionnaires du programme NGAD des informations évolutives précieuses pour une évaluation partielle des caractéristiques de vol et de missions.

Néanmoins, une comparaison du temps qu'a nécessité l'écriture des lignes de code source du F-35 avec celui qu'on suppose nécessaire à la conception des lignes de code source du NGAD aboutit à des projections vertigineuses. Nous savons que le système logiciel primaire du F-35 comporte près de 8 millions de lignes de code source. À celles-ci s'ajoutent les lignes de code issues des interactions du système logiciel primaire avec les sous-systèmes et autres éléments constitutifs du système des systèmes dans lequel le F-35 s'insère. Ceci porte la totalité des lignes de code à un nombre situé entre 500 millions et un milliard. Or il a fallu près de vingt ans aux ingénieurs de Lockheed Martin pour produire, intégrer et gérer ces 500 millions à un milliard de lignes de code pour le F-35. Si l'on imagine que le système logiciel primaire du NGAD puisse approcher les 100 millions de lignes de code source et que celles-ci interagissent selon le même ordre de grandeur avec les lignes de code des sous systèmes, il faudrait près de 180 ans et pas moins de 20.000 programmeurs à temps plein pour stabiliser, vérifier, sécuriser et valider l'ensemble des lignes de code du NGAD en tenant compte en outre des lignes de code produites par l'intégration du NGAD dans un futur système des systèmes<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> A. Cerrone, J. Hochhalter, G. Heber, A. Ingraffea, "On the effects of modeling as-manufactured geometry: toward digital twin", *International Journal of Aerospace Engineering*, 2014, cf. <https://doi.org/10.1155/2014/439278>.

<sup>6</sup> T. D. West, M. Blackburn, « Is Digital Thread/Digital Twin Affordable? A Systemic Assessment of the Cost of DoD's Latest Manhattan Project », *Procedia Computer Science*, Vol. 114, 2017, pp. 47–56, cf. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.003>.



Il résulte donc de cette analyse que les enjeux du programme NGAD dépassent très largement les seules questions d'ordre géostratégique autour du futur potentiel des forces aériennes russe et chinoise. Au-delà de la seule dimension capacitaire, c'est l'avenir même de la gestion informatique des données produites par des systèmes de combat aux architectures numériques toujours plus complexes et interconnectées qui se situe au cœur d'un programme tel que le NGAD. Les États-Unis sont actuellement à l'affût de solutions provisoires qui leur permettront d'aiguiser au mieux la conception de nouvelles générations d'armements propres à garantir leur domination stratégique à l'échelle mondiale. On peut légitimement penser que les enseignements acquis au travers des informations et données recueillies auprès de la large gamme de systèmes vendus à l'export participeront incidemment à cette démarche, et ce sans que les forces armées importatrices de matériel U.S. aient en permanence conscience de la finalité ultime de ce processus de transfert de données.

## Vitesse ou précipitation ?

---

Présentée comme un coup d'éclat, l'annonce des tests d'un nouvel avion de combat par l'U.S. Air Force ne saurait rendre compte de toutes les particularités des différentes phases d'essai effectuées dans le cadre de la recherche de technologies militaires nouvelles. Bien qu'il ait été évoqué que l'U.S. Air Force puisse être animée par la volonté de conduire un programme d'exploration technologique dans des délais extrêmement serrés, d'aucuns ont estimé qu'il serait difficile d'imaginer que des projets d'envergure tels que des systèmes d'armes complexes et intégrés sur le plan numérique ne suivent pas scrupuleusement les étapes convenues d'une démarche exploratoire. Tous les programmes de développement technologique ont à leurs débuts été engagés afin d'aboutir dans les meilleurs délais à un produit finalisé et opérationnel. Or il est notoire que les programmes d'armement modernes connaissent des processus de production industrielle de plus en plus étendus dans le temps et, par conséquent, des accroissements de coûts exponentiels aux causes diverses (Luttwak, 2007).

Par ailleurs, la conception de démonstrateurs technologiques n'a pas toujours débouché sur la production industrielle d'une plate-forme nouvelle. Les exemples sont nombreux. Ainsi en fut-il, dans les années 1980, du démonstrateur conçu par la société Northrop Grumman dans le cadre du programme Tacit Blue<sup>7</sup> : la conception de ce démonstrateur ne fut suivie d'aucune construction de plate-forme présentant quelque similarité avec l'engin-test. Néanmoins, les technologies étudiées dans le cadre du programme Tacit Blue furent exploitées et intégrées dans le projet JSTARS dont la cellule aérienne n'a strictement rien en commun avec les conformations du démonstrateur Tacit Blue. Autre illustration d'un démonstrateur technologique sans suite industrielle : le programme Bird of Prey mené par Boeing. Le Bird of Prey a pratiquement acquis le statut de programme exploratoire légendaire. Il refait régulièrement surface dans des articles de la presse spécialisée. À l'instar de la cellule aérienne du Tacit Blue, le Bird of Prey n'a jamais été suivi du moindre contrat de développement. La raison d'être de la plate-forme du Bird of Prey repose uniquement sur le test et la qualification éventuelle de nouvelles technologies dans des registres les plus divers (allant de la furtivité à la détection et au renseignement). On peut encore, et enfin, citer l'exemple du J-UCAS dont il a été fait mention précédemment. Le J-UCAS, programme de démonstration technologique mené conjointement par l'U.S. Air Force, l'U.S. Navy et la DARPA, avant d'être officiellement « achevé » en 2006 à la suite de divergences de vue entre les deux services concernés et l'Agence de recherche avancée des forces armées américaines, a lui aussi donné lieu à une campagne de tests à grande échelle selon un programme composé de divers paliers<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> L'objectif du démonstrateur élaboré par Northrop Grumman était, au travers d'une plate-forme pilotée par un seul pilote, de tester un ensemble de technologies de détection de pointe pour la conduite d'opérations dans des espaces aériens hostiles.

<sup>8</sup> A. De Neve, C. Wasinski, « Looking beyond the J-UCAS's demise », *Defence & Security Analysis*, Vol. 27, No. 3, 2010.

## Conclusion

---

La campagne de tests conduite cet été par l'U.S. Air Force doit être analysée à l'aune des expériences passées et nous amener à nous interroger sur les motivations profondes qui ont poussé l'U.S. Air Force à communiquer plus spécifiquement sur cette campagne d'essais. S'il peut exister des considérations d'ordre stratégique à l'origine du NGAD, la part occupée par la numérisation dans l'évaluation des technologies constitutives du programme est tout aussi essentielle. Cette numérisation poussée doit faciliter et accélérer l'évaluation des technologies dans des délais plus serrés et, de ce fait, participer à la réduction des coûts de développement. Elle doit surtout répondre à une question centrale : comment assurer, demain, le développement de systèmes d'armes d'une complexité sans précédent tout en garantissant leur fiabilité ?



Les vues exprimées dans ce document sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les positions de l'Institut royal supérieur de défense, de la Défense belge ou celles du gouvernement belge.

[www.defence-institute.be](http://www.defence-institute.be)

@ IRSD – Tous droits réservés

