

Du stratégique au tactique : l'IA embarquée comme déclencheur d'une bascule doctrinale du spatial de défense

Benoît Tapia, Paul Lasserre

Loft Orbital, 45 boulevard de Strasbourg, 31000 Toulouse, France

benoit.tapia@loftorbital.com; paul.lasserre@loftorbital.com

Résumé

Le spatial de défense bascule du stratégique vers le tactique. Les capteurs orbitaux deviennent réactifs, intégrés aux cycles de décision opérationnels, et ce glissement reconfigure les doctrines d'emploi. L'intelligence artificielle embarquée est le déclencheur de cette bascule. Elle déplace le calcul utile depuis le sol vers l'orbite, et transforme un capteur en producteur de signal directement actionnable.

Avec plus de trois années et une quinzaine d'expérimentations IA embarquées sur YAM-6 (Premier satellite de Loft Orbital comprenant des GPUs à bord avec un lien géostationnaire satellitaire permanent) et du partenariat NASA JPL NAVI sur YAM-9 (dernier satellite expérimental lancé en Octobre 2025 avec des modèles de fondations pré-chargés sur le satellite), cette intervention présente les retours opérationnels de Loft Orbital, puis expose les problèmes ouverts que pose le passage à l'échelle constellation avec YAC-4 (Constellation avec IA embarquée initialement de 10 satellites lancés entre 2026 et 2027): coordination IA distribuée entre satellites, inférence multi-modale à bord, exécution de modèles de fondation sous contrainte compute orbital, et usage des modèles de fondation pour compresser à bord le signal réellement utile au décideur sur bande passante limitée.

Mots-clés

IA embarquée, spatial de défense, constellation de satellites, modèles de fondation, edge inference orbital, doctrine d'emploi.

Abstract

Defense space is shifting from strategic to tactical. Orbital sensors are becoming reactive, integrated into operational decision cycles, and this shift is rewriting employment doctrines. Embedded artificial intelligence is the trigger. It moves useful compute from ground to orbit and turns a sensor into a producer of directly actionable signal. Drawing on more than three years and around fifteen embedded AI experiments aboard YAM-6 (Loft Orbital's first satellite to carry onboard GPUs with a permanent geostationary satellite link), and the NASA JPL NAVI partnership on YAM-9 (our most recent experimental satellite, launched in October 2025 with foundation models preloaded on board), this talk presents Loft Orbital's operational feedback, then frames the open problems raised by scaling to constellation level with

YAC-4: distributed AI coordination across satellites, multi-modal onboard inference, foundation-model execution under orbital compute constraints, and the use of foundation models to compress, on orbit, the signal that truly matters to the decision-maker over bandwidth-limited links.

Keywords

embedded AI, defense space, satellite constellation, foundation models, orbital edge inference, employment doctrine.

1 Contexte et angle de l'intervention

Loft Orbital opère une infrastructure orbitale qui permet à un client de mettre une charge utile en orbite en moins de douze mois et de l'opérer comme un service géré. Notre satellite YAM-6 héberge depuis trois ans des charges utiles d'inférence optiques et RF SIGINT en partenariat avec des acteurs tels qu'Helsing, Little Place Labs ou Agenium en France. YAM-9 porte le partenariat NASA JPL NAVI sur l'autonomie embarquée. Au total, une quinzaine d'expérimentations IA ont volé sur notre flotte. YAC-4, première constellation AI-powered de dix satellites pour commencer, concentre désormais notre R&D système et débutera son lancement lors du dernier trimestre 2026.

L'intervention adopte un angle prospectif et exécutif, en complémentarité avec les approches plus techniques attendues du CEA et d'AGENIUM. Elle défend une thèse simple : le spatial de défense bascule du stratégique vers le tactique, l'IA embarquée est le déclencheur de cette bascule, et la doctrine d'emploi n'a pas encore rattrapé la technologie. Le chantier doctrinal est ouvert et appelle un travail conjoint entre opérateurs orbitaux, état-major et recherche publique. La présentation s'organise en trois temps. Les retours d'orbite, qui établissent que la maturité technologique est franchie. Les problèmes ouverts à l'échelle constellation, qui définissent l'agenda de recherche. Les implications doctrinales, qui posent les bonnes questions pour les années qui viennent.

1.1 Retours d'orbite

YAM-6 et YAM-9 démontrent la stabilité opérationnelle d'une inférence RF SIGINT ou optique à bord sur trois années, incluant cycle MLOps orbital et tolérance à la dérive thermique. Le partenariat avec NASA en particulier explore l'autonomie de décision sous indisponibilité de liaison sol, transférable au domaine défense. Le portefeuille d'expérimentations associé fait émerger une typologie récurrente de problèmes : qualification du modèle pour l'orbite, uplink, observabilité à distance, gestion des faux positifs avec un humain au sol qui ne peut pas tout vérifier.

2 Problèmes ouverts à l'échelle constellation avec YAC-4

Coordination IA inter-satellite. Une constellation de dix satellites passant sur une même zone à quelques heures, voire minutes, d'écart doit se coordonner pour ne pas dupliquer l'effort, répartir les tâches selon l'angle

d'observation ou la modalité du capteur, et fusionner les vues partielles depuis plusieurs modalités avant le downlink. À l'échelle de cinquante satellites IA-powered, vers laquelle Loft Orbital se dirige, l'enjeu devient le retasking en quelques secondes : un satellite détecte un événement, la constellation décide automatiquement quelle unité ré-observe à plus haute résolution selon ses capacités embarquées et sa position, ou prolonge le cycle de « cue » vers un drone, un avion ou tout moyen aval de « fulfilment ». Trois axes restent ouverts : ordonnancement distribué, allocation de ressources sous indisponibilité partielle, et hétérogénéité des capacités embarquées entre nœuds.

Combinaison capteurs et plateformes. Une constellation tactique gagne à mixer des satellites grand champ orientés nadir, dédiés à la détection grossière sur larges fauchées, et des satellites plus agiles à haute résolution capables de zoomer sur un événement signalé. Le ratio entre les deux, la classe de bus retenue, et la cinématique d'orbite déterminent le profil opérationnel atteignable. La réponse n'est pas la même pour la surveillance maritime, la veille RF ou le suivi d'objet mobile.

Inférence multi-modale à bord. Combiner RF, optique, thermique et télémétrie de plateforme dans une fenêtre de quelques minutes de visibilité, sous enveloppe énergétique très contrainte. Modèle multi-modal unique ou orchestrateur léger qui appelle des modèles spécialisés, la question est ouverte.

Exécution de modèles de fondation sous contrainte compute orbital. Les NPU (Neural Processing Units) spatiales actuelles offrent quelques centaines de GOPS (Giga Operations Per Second) dans une enveloppe de quelques dizaines de watts (un NVIDIA H100, accélérateur par défaut aujourd'hui dans n'importe quel data center cloud, consomme 700 W). Quelles techniques de compression, quantization, sparsification, mixture of experts, donnent le meilleur ratio capacité utile par watt et par kilo en orbite.

Modèles de fondation comme compresseurs sémantiques. Un satellite tactique a quelques mégabits par seconde de downlink, un capteur EO génère des gigabits par seconde. On ne transmet pas, on choisit. Utiliser un modèle de fondation à bord pour transformer la donnée brute en signal sémantique compact, qui tient dans le canal disponible et reste actionnable par le décideur. Ce n'est pas de la compression algorithmique classique, c'est une décision éditoriale automatisée, avec des implications doctrinales et de confiance substantielles. Concrètement, l'approche que nous testons avec un modèle compact tel que Gemma 3 dans le cadre du partenariat NASA ouvre deux pistes. Une description textuelle de la scène, qui descend en quelques kilo-octets là où l'image brute pèse plusieurs gigaoctets. Ou une transmission différentielle des seuls changements par rapport à un fond stocké au sol, qui ramène le téraoctet quotidien d'un capteur EO à quelques mégaoctets de delta sémantique. L'unité d'information n'est plus le pixel, c'est l'événement.

Super-résolution comme levier d'architecture constellation. Combinée à des techniques de reconstruction sous-pixel issues du domaine académique, la super-résolution change l'équation de la constellation.

Avec moins de satellites haute résolution, on peut tenir une vue tactique continue en haute résolution en exploitant le signal réellement présent dans les pixels à basse résolution pour suivre un objet sans hallucination, et en s'appuyant sur la dernière image haute résolution acquise par un autre satellite de la constellation pour reconstruire le contexte aussitôt qu'on dispose d'un taux de revisite suffisamment donné. La résolution effective devient une fonction de la constellation, pas du capteur.

3 Conclusion et appel à collaboration

La technologie mûrit rapidement, pas la doctrine. Le chantier est ouvert et il appelle un travail conjoint entre opérateurs orbitaux, état-major et recherche publique. Loft Orbital met YAC-4 à disposition comme plateforme commerciale sur les problèmes ouverts identifiés. Inria, ONERA et AMIAD sont les interlocuteurs naturels en France. Le spatial de défense n'attendra pas la doctrine. Autant l'écrire à temps.