

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة العليا للإعلام الآلي -- 8 ماي 1945 -- سيدي بلعباس
École Supérieure en Informatique – 08 Mai 1945 – Sidi Bel Abbès



Dissertation

To obtain the diploma of State Engineer
Field: Computer Science
Speciality: Artificial Intelligence and Data Science

Theme

Orbital Plasticity

Resource-Efficient Few-Shot Continual Learning for Autonomous Earth Observation
Satellites

Presented By : Elbatoul Zerga

Submitted : June 2026

Supervised by :

[Placeholder]

Dr.Meziane Iftene

Dr.Larabi Mohammed El Amin

Dr.Chaib Souleymene

[Placeholder]

President

Supervisor

Co-supervisor

Co-supervisor

Examiner

Academic year : 2025/2026

Abstract

Autonomous Earth Observation (EO) satellites must perform inference and adaptation inside a strict operational envelope: RAM ≤ 1 MB for STM32H7-class deployment, an OPS-SAT Operational SWaP Limit of ≤ 1.2 W, and a mission-critical throughput target of ≤ 10 ms per image patch. Conventional deep networks exceed this envelope and cannot support multi-year missions that encounter new terrain classes without severe forgetting.

This thesis proposes **Orbital Plasticity**, a sensor-agnostic Few-Shot Continual Learning framework for on-board satellite intelligence. The validated Level 2 system combines PEFT-LoRA adaptation with five architecture-agnostic amendments: tiered rank scaling, multi-pass checkpointing, uncertainty-aware dataset curation, adaptive spiking prototype timing, and semantic drift guarding. NanoProtoNet remains the Level 1 physical implementation target for STM32H7 deployment.

On EuroSAT RGB, the primary run demonstrates measured plasticity ($\Delta M' \in \{0.3000, 0.4000, 0.5000\}$), no measured forgetting (BWT = 0.0000), and a 0.60 MB runtime footprint with 100 % low-power SPN residence at $T = 50$. A separate RGB spectral-twin stress test exposes the Highway/River limitation (6.0 % diagnostic accuracy), while the 13-band Sentinel-2 multispectral extension reaches 70.7 % final 5-way accuracy, showing that NIR/SWIR evidence can harden ambiguous decision boundaries.

Keywords: Few-Shot Continual Learning, Earth Observation, LoRA, Spiking Neural Networks, Semantic Drift Guard, Edge Deployment, OPS-SAT, STM32H7, Orbital Plasticity.

Résumé

Les satellites d’observation de la Terre autonomes font face à une **triade de contraintes opérationnelles**: empreinte mémoire (≤ 1 Mo pour STM32H7), budget énergétique (≤ 1.2 W OPS-SAT, limite SWaP opérationnelle), et débit de traitement (≤ 10 ms par image). Cette thèse propose **Orbital Plasticity**, un cadre d’apprentissage continu en peu d’exemples pour l’intelligence embarquée des satellites. Validé sur EuroSAT RGB, le meilleur essai atteint une plasticité mesurée ($\Delta M' \in \{0.3000, 0.4000, 0.5000\}$), un transfert rétrograde nul (BWT = 0.0000), et une empreinte d’exécution de 0.60 Mo. Un essai de stress séparé sur les jumeaux spectraux est conservé comme cas d’échec ($\Delta M'_{\text{moyen}} = -0.0200$), motivant une escalade A1 plus agressive. Une configuration multispectrale complète ensuite l’entrée RGB par 13 bandes Sentinel-2 et atteint 70.7 % en *5-way* final sur les classes spectralement confusables.

Mots-clés: Apprentissage continu, Observation de la Terre, LoRA adaptatif, Réseau de neurones impulsionnels, Déploiement embarqué.