Le projet IRMA

Une illustration de l’utilisation de l’IA pour le spatial, des centres de données HPC aux dispositifs embarqués

Forum Teratec 2025

22/05/2025

Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.

Présentation de l'IRT Saint Exupéry

L'IRT Saint Exupéry est un institut de recherche intégré et collaboratif, qui accélère le transfert de technologies vers les industries de l'aéronautique et du spatial. Nos projets sont financés par l'État en proportion de la contribution industrielle.

Laboratoires publics

Recherche multi-partenariale intégrée

Industriels

CHIFFRES CLÉS (01 2025)

39M€ Budget annuel

171 Publications & communications en 2024

63 Projets en cours

COLLABORATEURS

388

271 Collaborateurs IRT
dont
20 Doctorants

117 Collaborateurs MAD

QUATRE AXES TECHNOLOGIQUES AU SERVICE DE L'INDUSTRIE

- Technologies plus vertes
- Technologies de fabrication avancées
- Technologies intelligentes
- Méthodes et outils pour le développement de systèmes complexes

NOS EXPERTISES CLÉS EN TECHNOLOGIES INTELLIGENTES

- IA efficiente en environnements complexes.
- IA certifiable pour les systèmes critiques.
- Connectivité 5G/6G & capteurs intelligents.

Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

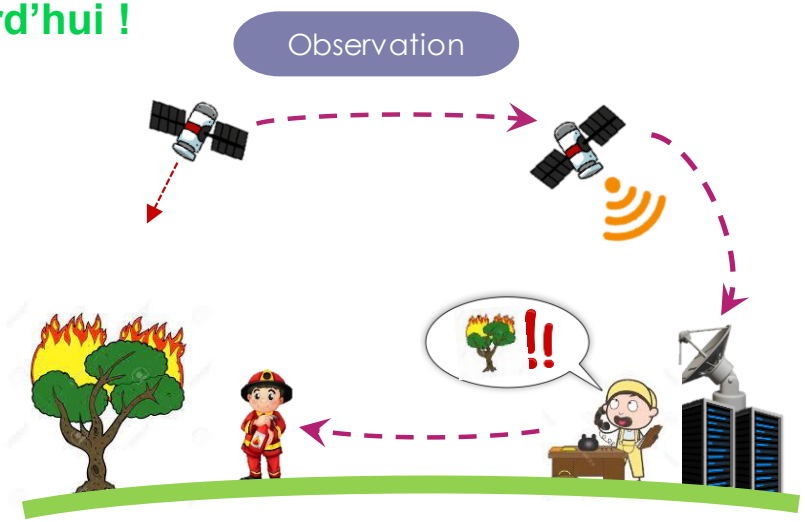
Le projet IRMA - Contexte

IA pour la Réactivité Mission basée sur l'Analyse image

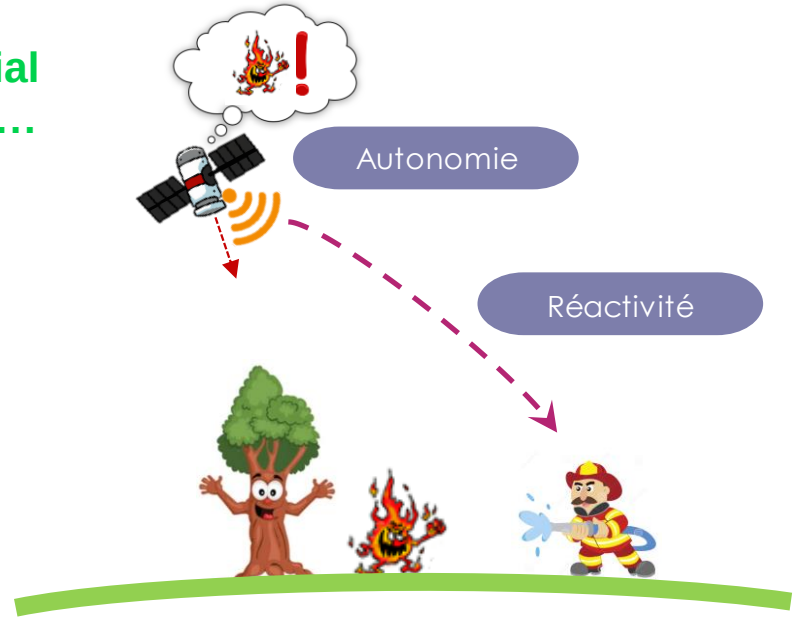
Contexte / besoins marché

- Le domaine de l'observation de la Terre a vu ces dernières décennies l'avènement de grandes constellations de satellites. En 2023, le programme Copernicus produisait à lui seul 30 To de nouvelles données chaque jour.
- Le temps d'accès à ces données reste relativement long, avec un délai typique de 24 heures, en raison des contraintes de transmission vers le sol (survol d'une station) et de la charge de traitement des centres de calcul.

Le spatial aujourd'hui !



Le spatial demain…



Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

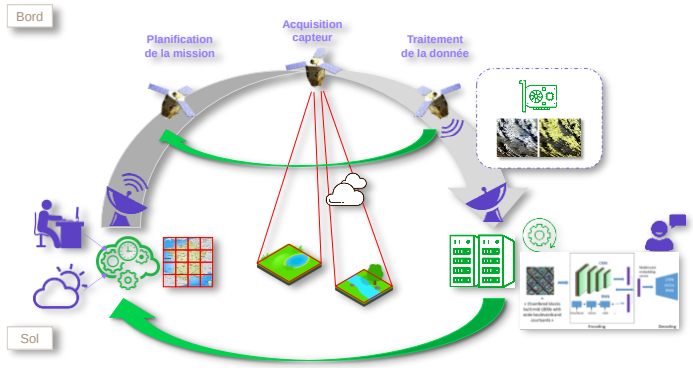
Le projet IRMA - En un slide

IA pour la Réactivité Mission basée sur l'Analyse image

Réduire la latence des constellations d'observation en transférant une partie des traitements à bord, et en intégrant une boucle de décision réactive pilotée par l'IA.

4.0 M€
(incl. Fr2030)

3 ans
(2023 → 2026)



Activités / Résultats attendus

- **Planification de mission :**
  - **Au sol :** Répartition dynamique des requêtes entre capteurs.
  - **A bord :** Priorisation de la transmission de façon décentralisée.
- **Traitement de la donnée :**
  - **A bord :** IA pour la détection d'évènements sur cibles embarquées.
  - **Au sol :** Interprétation sémantique multimodale (optique, radar, texte…).
- **Boucle complète :**
  - **Optimisation** de la mission basée sur l'analyse de la donnée.
  - **Démonstrateur** système en laboratoire, et expérimentations en vol.

Partenaires

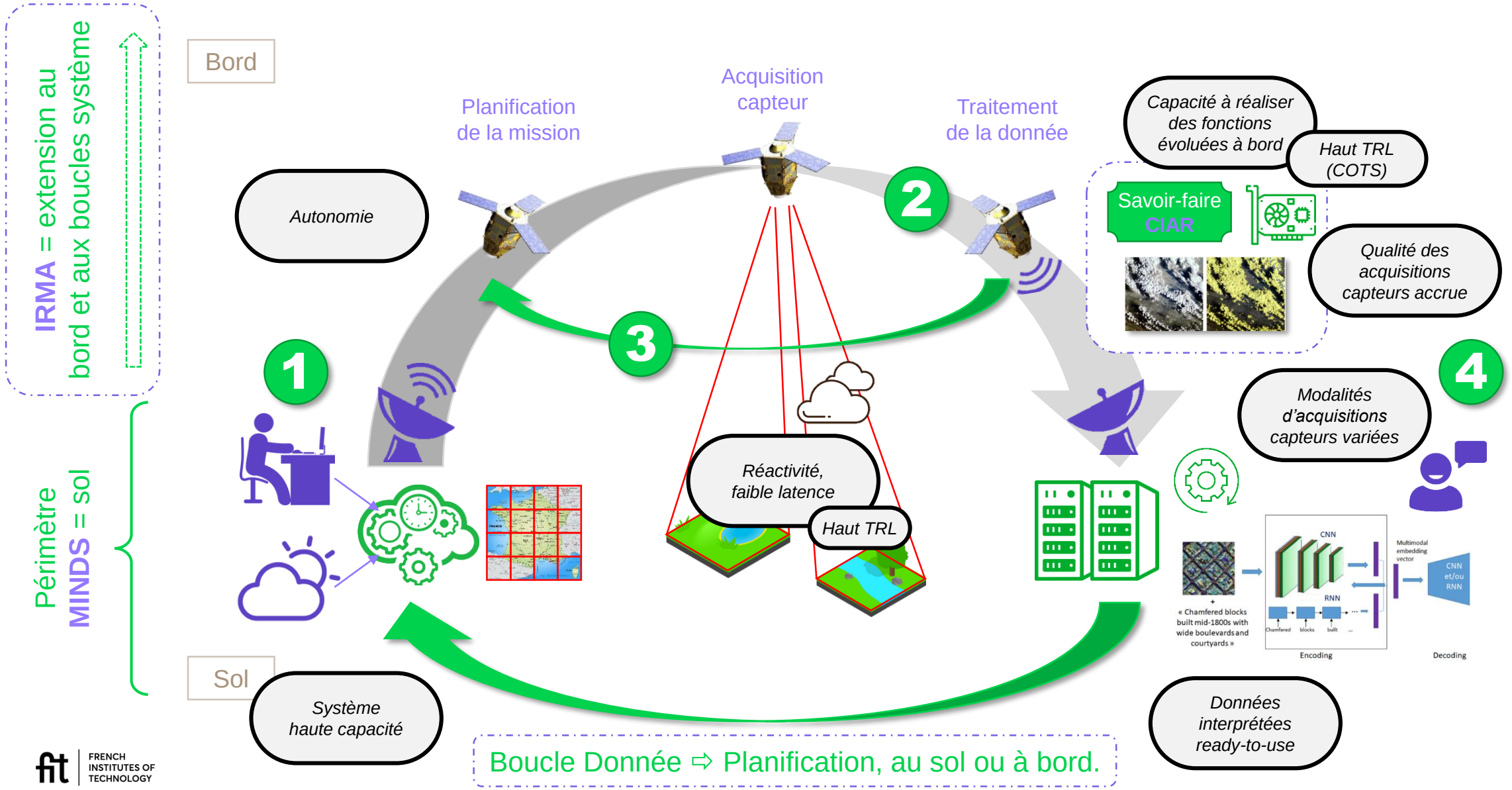
- **Thales Alenia Space** (Maîtrise d'œuvre spatiale)
- **Activeeon** (Logiciel d'orchestration)
- **Geo4i** (Experts géo-intelligence)
- **JoliBrain** (Conception d'applications IA)

- **Partenaire académique :** Université Côte d'Azur.
- **Soutien des agences :** ESA et CNES.
- **Collaboration :** SmartSat CRC (Australie).

FRENCH INSTITUTES OF TECHNOLOGY

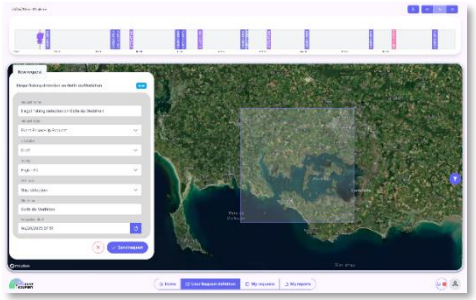
Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

Le projet IRMA - Un scénario d'illustration en 4 étapes



Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

1 Planification centrale de la mission au sol



Un utilisateur souhaite placer une zone côtière sous surveillance pour y déceler d'éventuelles activités maritimes problématiques (pêche illégale, trafic, etc.).

Il sélectionne la zone géographique correspondante dans l'interface mission du système et planifie une requête pour imager cet endroit de façon régulière. Il demande à ce qu'une alerte soit émise immédiatement en cas de présence d'un navire suspect dans la zone.

Cible d'exécution = CPU

Le problème à résoudre :

Décider **quel satellite du système observera la zone demandée et quand**, tout en tenant compte des autres requêtes utilisateurs et de multiples contraintes : priorités relatives des acquisitions, visibilité de la zone depuis les orbites, capacité thermique / énergétique / mémoire du satellite, etc.

Solution technologique développée à l'IRT :

L'équipe IRMA a développé un **système multiagent de planification de mission.** Contrairement à l'algorithme de référence glouton, ce système est dynamique et peut intégrer un flux continu de nouvelles requêtes. Il est aussi capable de passer à l'échelle pour les grandes constellations.

Nombres de requêtes planifiées en plus par rapport au glouton	Class 1 2 satellites - 3000 requests			Class 2 5 satellites - 6000 requests			Class 3 7 satellites - 8000 requests			Class 4 10 satellites - 12000 requests		
Complexity index	25	63	111	29	65	110	21	55	112	21	60	127
Nb planned acquisitions by AMAS in delta with HGreedy	-2%	+26%	+32%	+8%	+20%	+14%	+1%	+14%	+5%	+0%	+6%	+19%

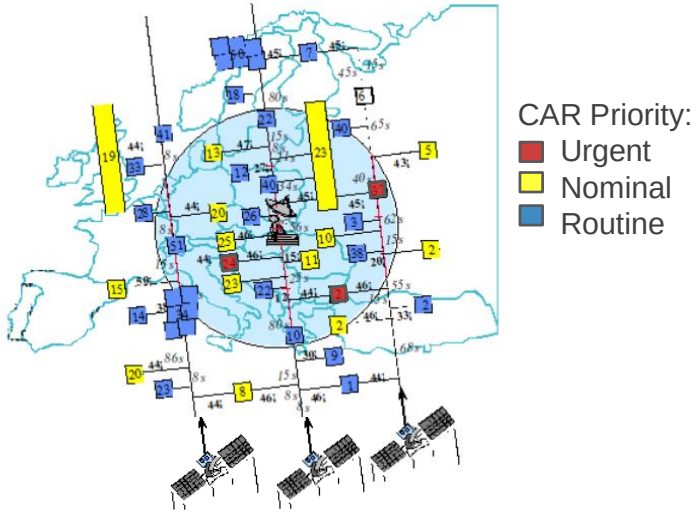


Illustration du problème de planification mission

Benjamin MARCHAND et al. "Dynamic Mission Planning Performances for Agile Earth Observing Satellites with Adaptive Multi-Agent System." International Workshop on Planning & Scheduling for Space (2025).

Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

2 Traitement d'image embarqué sur satellite

Un satellite optique survole la côte et capture une image de la zone. Des traitements d'images embarqués s'activent à bord pour analyser le contenu de la scène.

Plusieurs dizaines à centaines de navires sont détectés et classifiés en temps réel par un algorithme d'intelligence artificielle. Parmi eux, l'algorithme identifie un certain type de navire qui n'a rien à faire dans cette zone côtière.

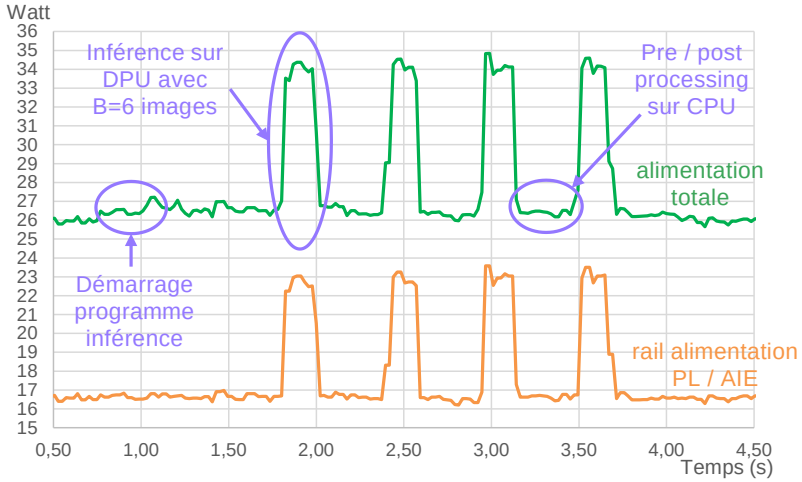
Cible d'exécution = SoC FPGA

Le problème à résoudre :

Il n'y a pas d'air dans l'espace pour faire tourner des ventilateurs… Les cibles d'exécution chauffent vite sur les satellites, et on ne peut pas consommer plus de **quelques watts à quelques dizaines de watts au maximum**. Il faut donc être capable d'optimiser les solutions IA pour ces contraintes.

Solution technologique développée à l'IRT :

L'équipe IRMA a développé une **expertise dans le déploiement de réseaux de neurones sur cibles embarquées** et maîtrise les chaînes des différents constructeurs (AMD, Intel, NVIDIA, etc.) pour déployer de l'IA pour le traitement d'images (dont la détection d'objets).



Profils de puissance d'une inférence de détection de navires sur Versal VCK190

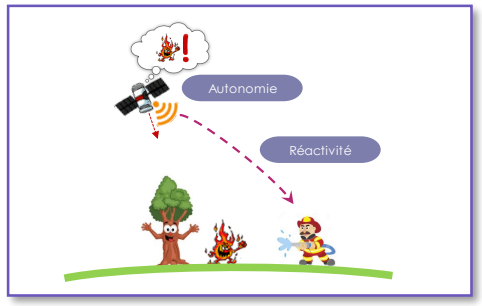
Performances d'un réseau de détection (YOLOv3) sur différentes cibles

Cible	Quant.	Précision	Rappel	F1-Score	AP50
modèle tf.keras	FP64	0,416	0,784	0,543	0,676
Jetson NX	FP16	0,415	0,784	0,543	0,675
Jetson NX	INT8	0,386	0,779	0,516	0,654
Jetson Nano	FP16	0,416	0,785	0,544	0,676
ZCU104	INT8	0,388	0,781	0,518	0,659

Thomas GOUDEMANT et al. "Détection de navires embarquable à bord de satellites." Conference on Artificial Intelligence for Defence (2022).

Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

3 Plan de vidage à bord et suivi réactif



Suivant la demande de l'utilisateur qui a souhaité être averti en cas de présence d'un navire suspect, le satellite envoie immédiatement une alerte au centre de mission.

A la réception de cette alerte, la fonction de planification sol intègre une nouvelle requête prioritaire au plan de mission pour confirmer l'information et suivre le navire. La demande de suivi est transmise à un second satellite passant prochainement sur la zone.

Cible d'exécution = OBC

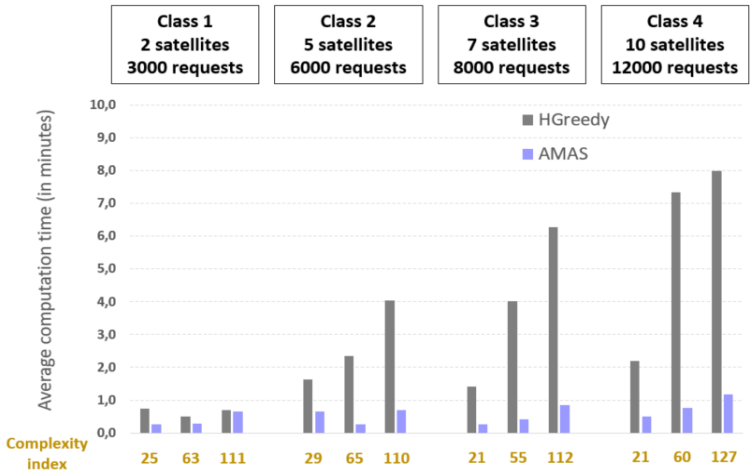
Le problème à résoudre :

Comment redescendre l'information le plus vite possible ? On peut procéder en deux temps :

- Emettre d'abord une alerte de quelques kilooctets sur un canal permanent de faible transmission.
- Lors d'un prochain passage sur station, s'assurer que l'image du navire soit téléversée en priorité.

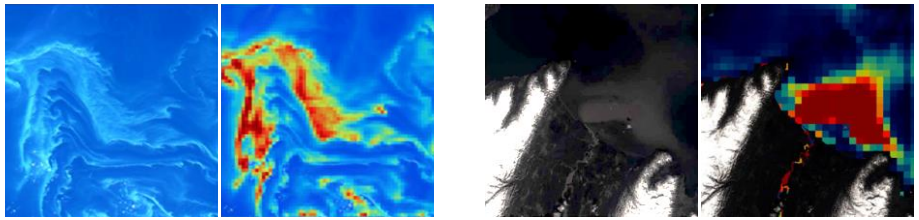
Solution technologique développée à l'IRT :

La planification dynamique développée sur IRMA permet d'intégrer une nouvelle demande urgente sans perturber le plan de mission qui contient déjà des milliers de requêtes. L'équipe projet développe également des **algorithmes pour optimiser l'ordre de vidage des images** du satellite.



Temps de réponse de l'algorithme de planification à une nouvelle requête urgente

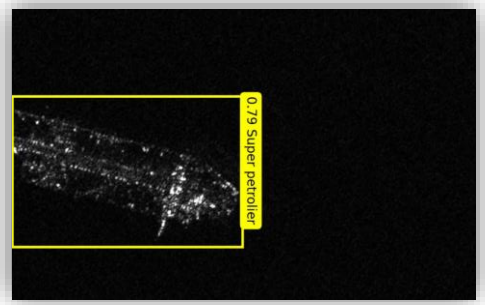
Illustration d'une fonction de priorisation des données à bord basée sur de la détection d'anomalies



Thomas GOUDEMANT et al. "Onboard Anomaly Detection for Marine Environmental Protection." IEEE Journal of selected topics in applied Earth observation and remote sensing (2024).

Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

4 Traitement multimodal de la donnée au sol



Un second satellite survole la zone côtière. Il s'agit cette fois d'un satellite radar capable d'apporter une information complémentaire à l'optique, et ce, même par temps nuageux.

Une fois la donnée du second satellite redescendue au sol, les données optiques et radars sont mises en commun, et des algorithmes d'intelligence artificielle multimodaux s'activent afin d'obtenir une analyse exhaustive de la situation.

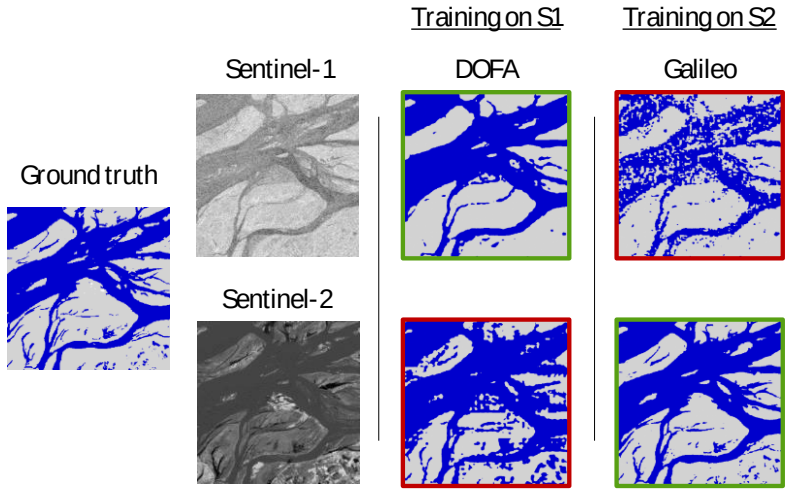
Cible d'exécution = GPU

Le problème à résoudre :

Retrouver le navire initial dans l'image radar, bien que cette image présente des **caractéristiques très différentes** de l'image optique. Etre capable de continuer à assurer un suivi de la situation quelle que soit la modalité des prochains satellites qui passeront sur la zone.

Solution technologique développée à l'IRT :

L'équipe IRMA développe des **algorithmes multimodaux** capables de créer des représentations proches en sortie d'encodeur malgré des modalités d'entrée différentes. Elle évalue également la capacité des modèles de fondation à généraliser efficacement sur différents types de capteurs.



Evaluation de la généralisation de modèles de fondation entre différents types d'imagerie

Illustration d'une tâche de retrieval multimodal

Requête **Résultats du retrieval multimodal**

Julia COHEN et al. "Evaluation of cross-domain generalization capabilities of remote sensing foundation Models." ESA-NASA International Workshop on AI foundation Model for Earth Observation (2025).

Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

Le projet IRMA - Synthèse et perspectives

L'IA redéfinit l'architecture des systèmes spatiaux :

- Le traitement de la donnée ne se fait **plus uniquement dans des centres de calcul HPC** au sol : il se déporte partiellement à bord des satellites.
- Les fonctions IA peuvent être centralisées (e.g. planification de la mission) ou décentralisées (e.g. planification du vidage).
- Les modèles doivent tourner sur des **cibles matérielles différentes** en fonction de leur place dans l'architecture : CPU, GPU, SoC FPGA, OBC…

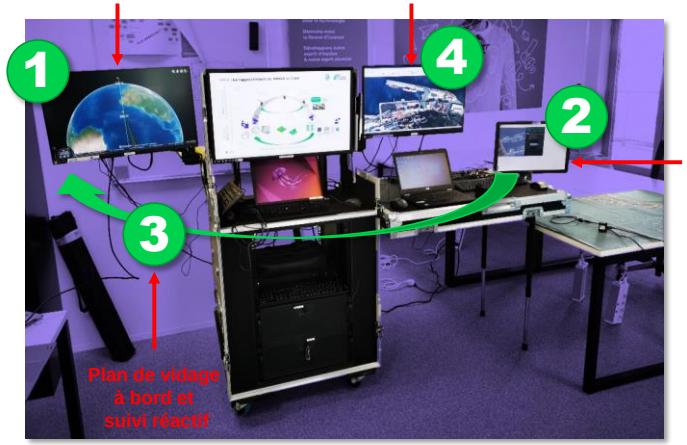
Ce scénario n'est pas qu'illustratif…

- Les technologies du projet IRMA sont intégrées à un **démonstrateur système** en laboratoire qui permet de dérouler des scénarios bout en bout.
- La qualité des travaux et l'expertise de l'IRT Saint Exupéry lui ont également valu d'être **sélectionné sur 3 démonstrations en orbite** en 2024.
- Ces démos contribuent à la montée en maturité de nos technologies sur des images réelles, et dans des conditions proches de scénarios opérationnels.

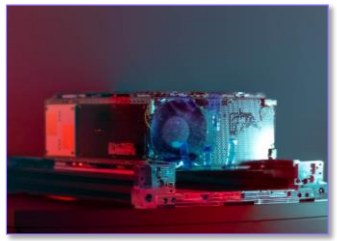
Nous cherchons de nouveaux partenaires !

- Nous préparons une **suite au projet IRMA** qui a pour ambition de continuer sur la lancée actuelle en s'ouvrant à d'autres applications, comme les drones.
- Un sujet important sera d'être capable d'aller vers des applicatifs génériques et modulaires, réutilisables pour divers cas d'applications et cibles matérielles.
- La durée du projet sera de trois ans, avec un **démarrage prévu le 1er septembre 2026**. Vous souhaitez rejoindre l'initiative ? Contactez-nous !

Contact : adrien.girard@irt-saintexupery.com



La démonstration système bout en bout des technologies IRMA



Φsat-2 :

- Cubesat, SSO 500 km.
- GSD 5 m, 8 bandes spectrales.
- Accélérateur Intel Myriad 2.
- **Tir effectué** le 16/08/2024.

Kanyini :

- Même orbite que Φsat-2.
- GSD 70 m, 50 bandes.
- Accélérateur Intel Myriad 2.
- **Tir effectué** le 16/08/2024.

IMAGIN-e :

- Embarqué sur ISS (400 km).
- GSD 50 m, 7 bandes parmi 50.
- Clusters CPU / Space SDK.
- **Tir effectué** le 21/03/2024.

IRMA a été sélectionné sur trois démonstrations en orbite lancées en 2024

Confidential and proprietary document - All rights reserved - This document is the property of IRT Saint Exupéry. It may however contain third party proprietary information.
{OPEN}

IRT SAINT EXUPÉRY

Merci de votre attention