



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

L'IA pour le Spatial à l'ONERA

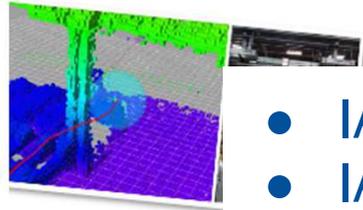
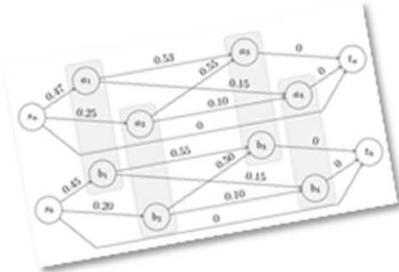
focus sur la planification

Gauthier Picard
Forum UTIAS²
5 avril 2024

ONERA AI LAB

L'IA à l'ONERA

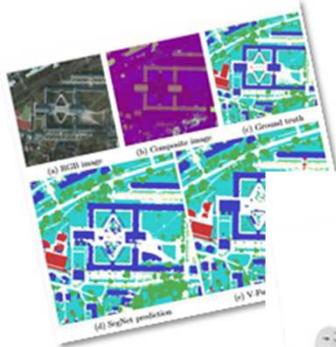
150+ experts au service de l'aérospatial



- IA fondamentale
- IA et grands codes
- Modéliser avec l'IA
- IA et décision
- IA et autonomie
- IA et perception
- IA et l'humain



$$\begin{aligned} \max \quad & \lambda \\ \text{s.t.} \quad & (1), (2), (3), (4), (5), (6) \\ & z_a = \sum_{g \in G_a} \sum_{e \in E_g} u_g(e) \cdot x_e, \quad \forall a \in A \\ & \sum_{a \in A} y_{ak} = 1, \quad \forall k \in [1, K-1] \\ & \sum_{k \in [1, K-1]} y_{ak} \leq 1, \quad \forall a \in A \\ & \lambda \leq z_a + M \sum_{k \in [1, K-1]} y_{ak}, \quad \forall a \in A \\ & z_a \geq \sum_{k \in [1, K-1]} A_k \cdot y_{ak}, \quad \forall a \in A \end{aligned}$$



Confiance

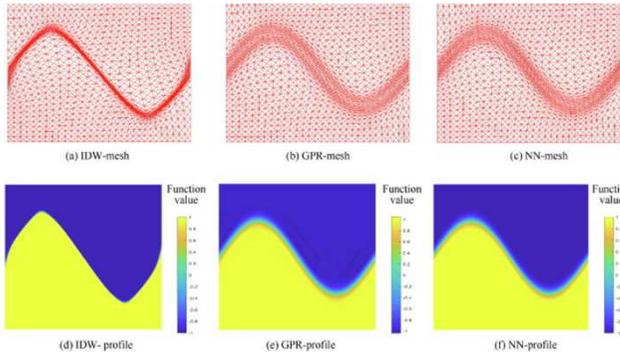
Éthique

Frugalité

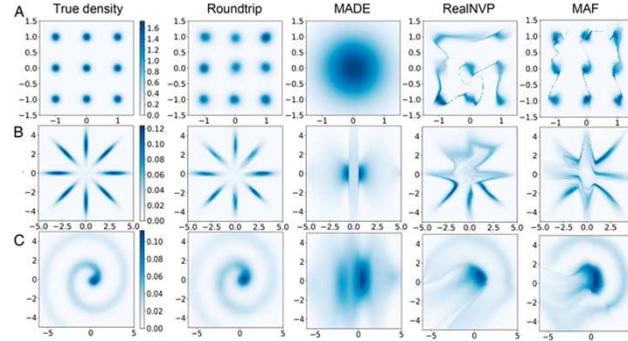


Axe IA et grands codes

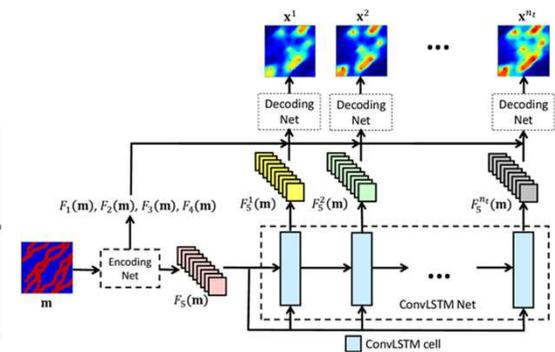
Augmenter le potentiel des pépites logicielles ONERA



Maillage basée IA
Super résolution de maillage



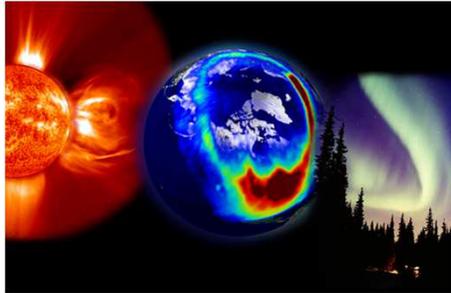
Optimisation d'une traitement
à une densité
(ex accélération de convergence)



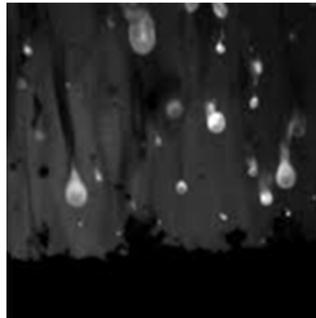
Modèle réduit basé IA

Axe Modéliser grâce à l'IA

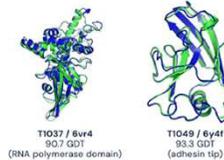
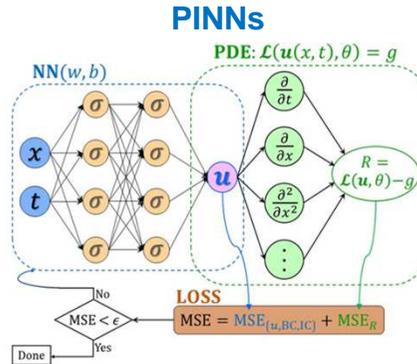
Météo spatiale Estimation du risque foudre



Mesures extraites par IA



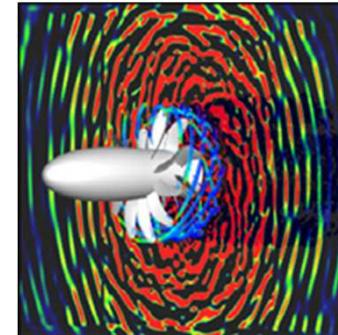
Mieux valoriser les données expérimentales ONERA



IA pour la conception de matériaux

■ Experimental result
● Computational prediction

Aider à la maîtrise de la turbulence Contrôle d'écoulement



Axe IA et l'humain

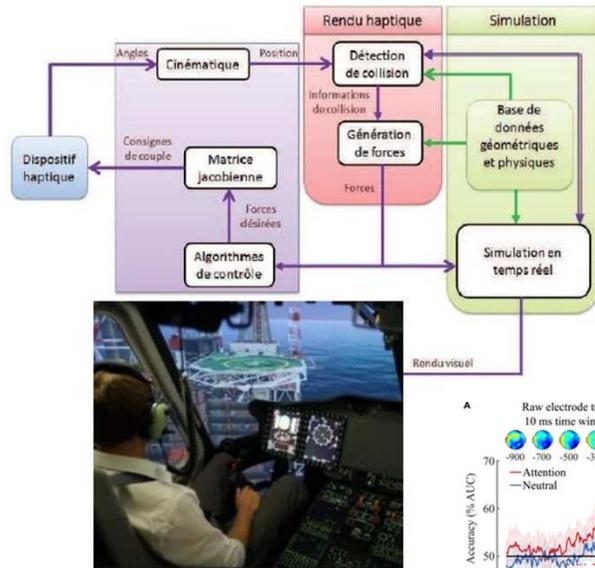
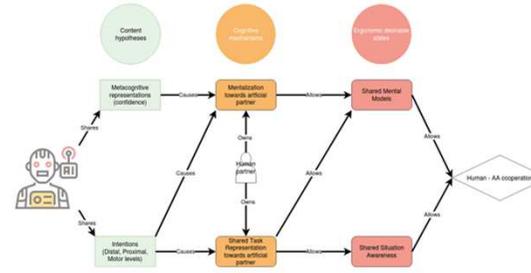
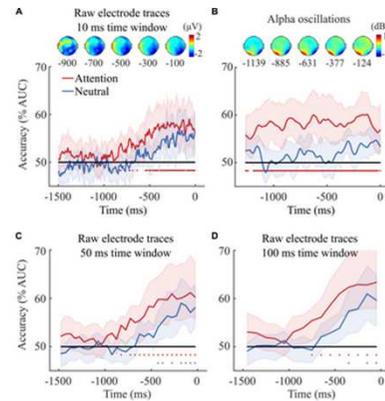


Image shown
(Viewed for one second)



Decoded output
(Shown here at 1/4 speed)

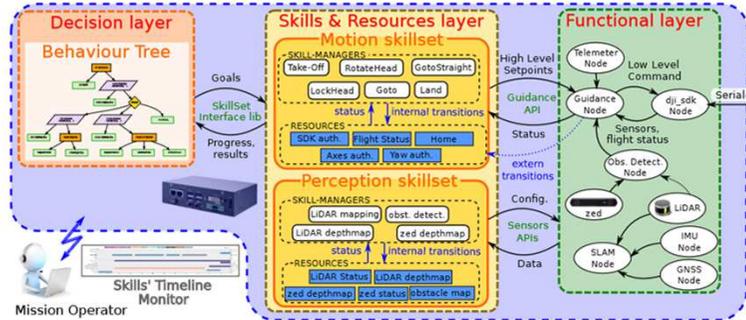


Interface haptique, vocale
Signaux physiologique
Simulateur de vol
Décision conjointe
humain-AI Explainable AI

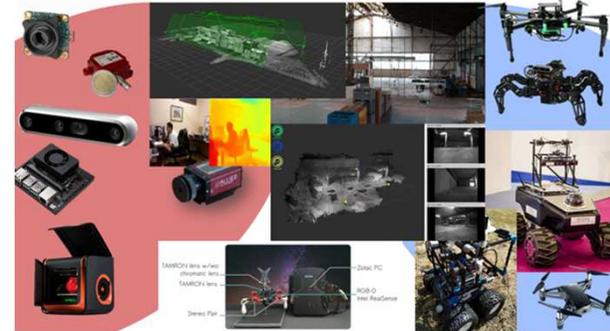


Axe IA et autonomie

Architecture de décision et d'exécution



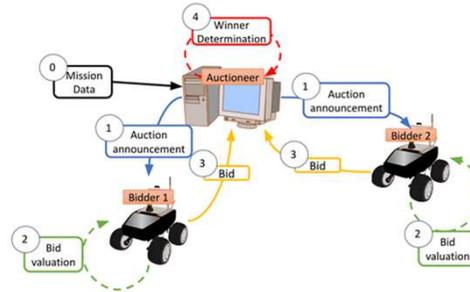
IA embarquée



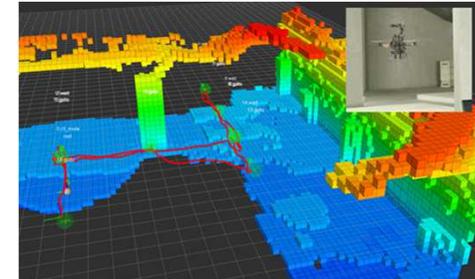
Robotique collective et hétérogène



Autonomie décisionnelle

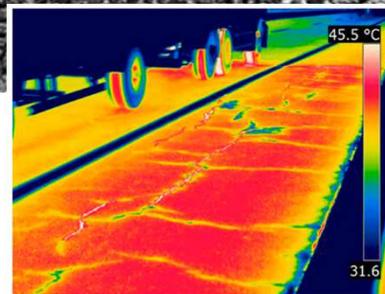
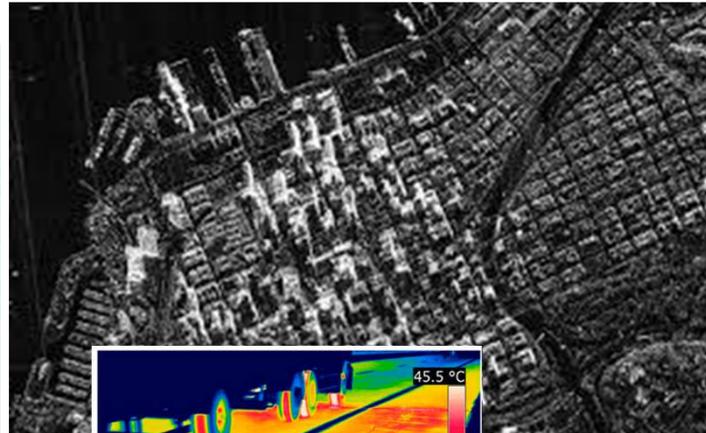


Navigation et cartographie



Axe IA et perception

Traitement et/ou génération d'images physiques
(hyperspectrale, SAR, thermique ...)



geoint



explicabilité de la perception



Perception augmentée IA et Geolnt

Les travaux de l'ONERA pour AI4GEO

Responsabilité du Lot « Traitements d'images »

Avec deux axes principaux :

- Repousser les limites de segmentation sémantique haute résolution
- Benchmarker les techniques existantes de détection de changements



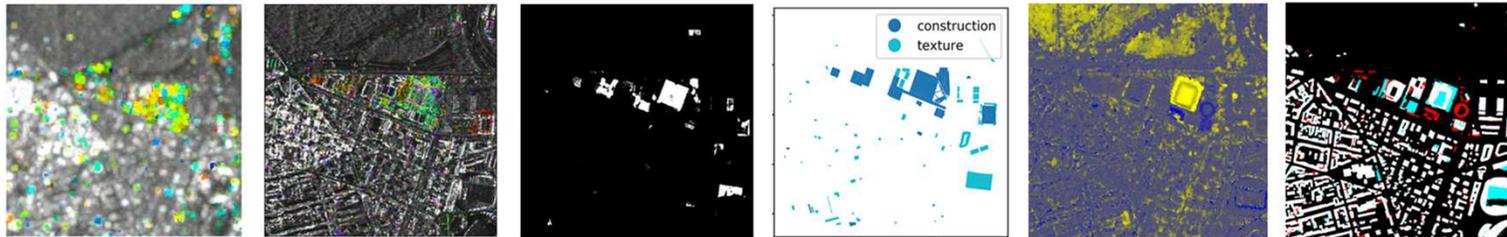
Approches faiblement supervisées /
autosupervisées / Par renforcement

Approches classiques statistiques radar

Différence de cartes d'occupation des sols par apprentissage profond

Différences de modèles 3D obtenus par stéréo

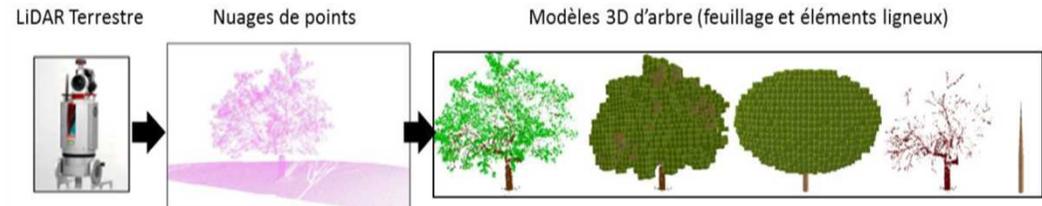
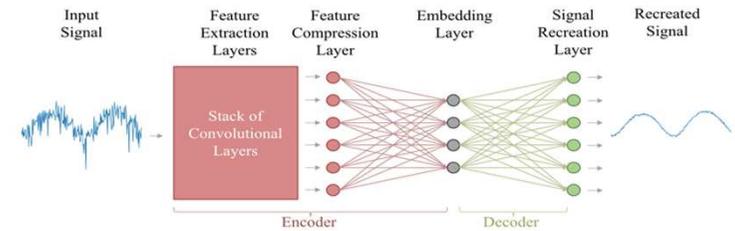
Détection de changement par apprentissage supervisé / Non supervisé



Perception augmentée IA et Geolnt

PRF DREAM Dynamic Raise of EArth Monitoring

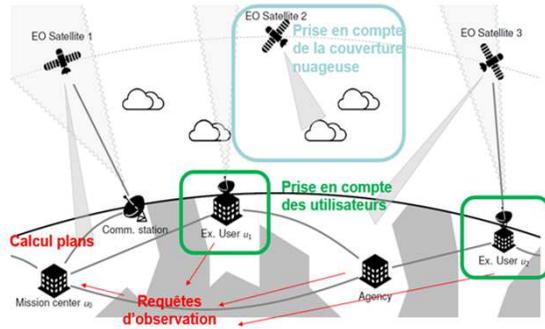
- Mener l'intelligence Géospatiale : au-delà des dimensions de l'Image
 - Piles temporelles
 - Images multimodales : radar/optique, radar/thermique
 - Données hétérogènes : Conversation texte/images
 - 3D
- Articuler la Physique et le Deep Learning
 - Végétation : Convergence des modèles radar et optique
 - Apport du deep learning pour la simulation d'images radar
- S'inscrire dans les défis méthodologiques actuels du Machine Learning
 - Apprentissage non standard
 - Approches texte / image
 - Qualification des algorithmes



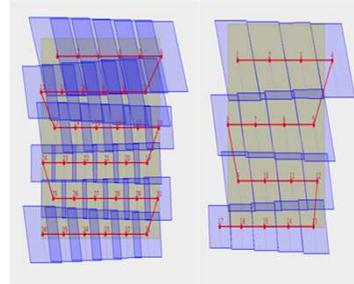
Modélisation multimodale et IA
pour la végétation

Focus sur la planification

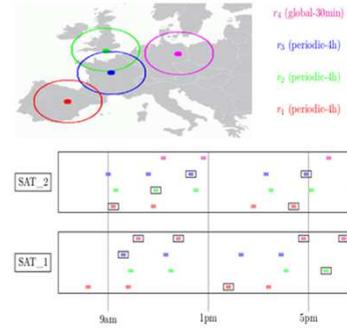
Planification pour les missions EOS



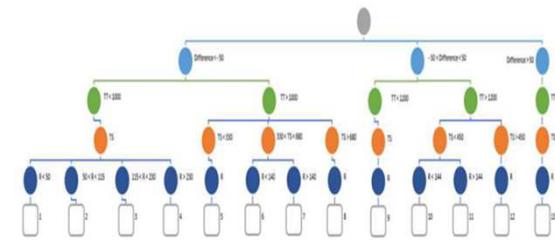
Planification optimale



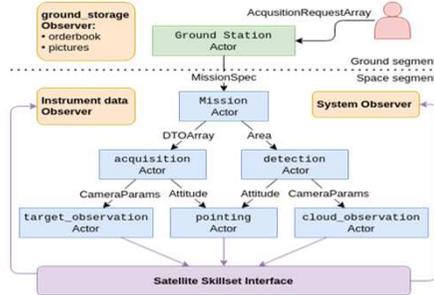
Partage multi-utilisateurs



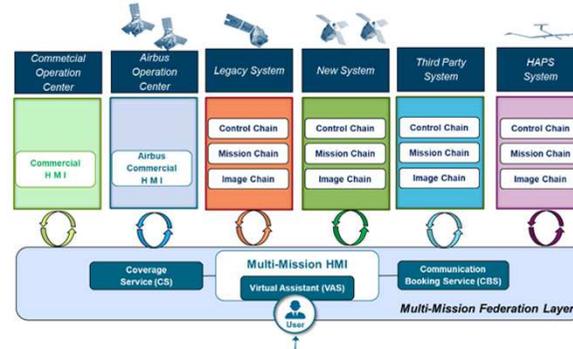
Gestion des incertitudes



Architecture bord et décision embarquée



Fédération multi-missions

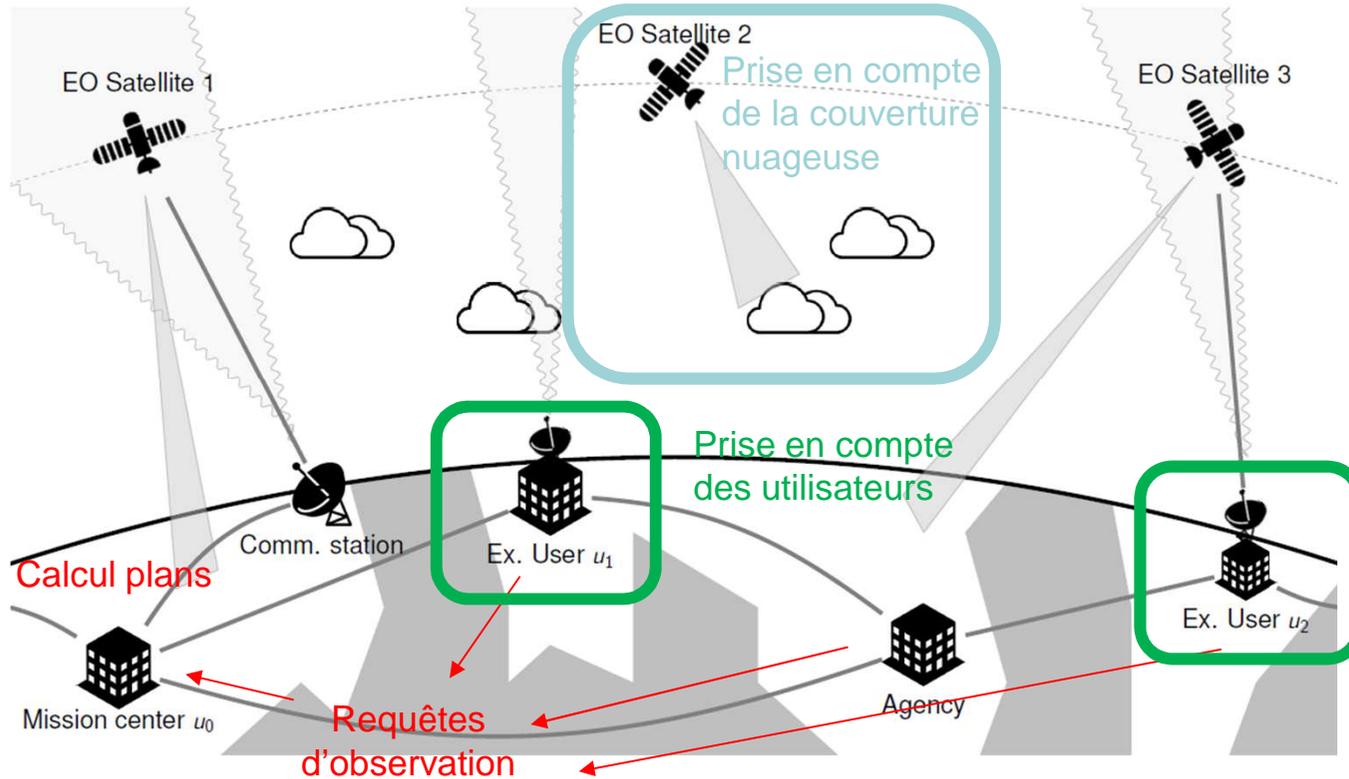


PRF ACCEOS
PSPC LiChIE
HE DOMINO-E

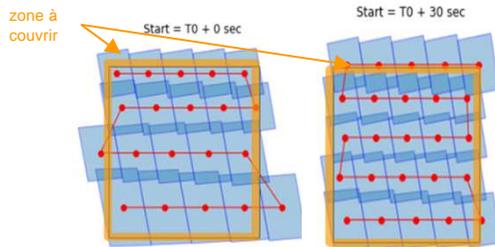


Planification & autonomie – problématiques associées

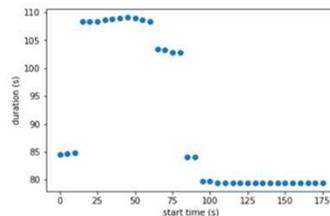
PSPC LiChIE – PRF ACCEOS



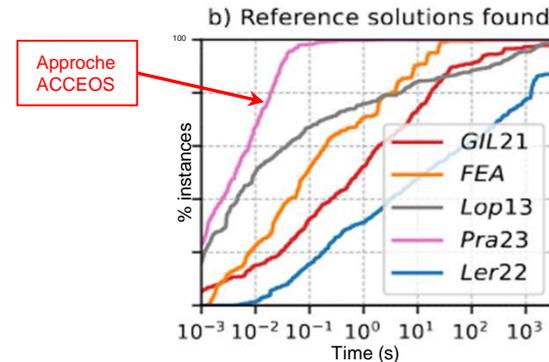
- **Méthodes de planification *meshless*** pour couvrir des polygones convexes (exploitation de l’empreinte réelle du capteur au sol)
 - Gains significatifs en termes de capacités d’acquisition



Durée de couverture de la zone en fonction de la date de début d’acquisition



- **Algorithmes de séquençage** d’observations avec fenêtres temporelles et aspects time-dependent
 - obtention de gains d’un ordre de grandeur par rapport à l’état de l’art

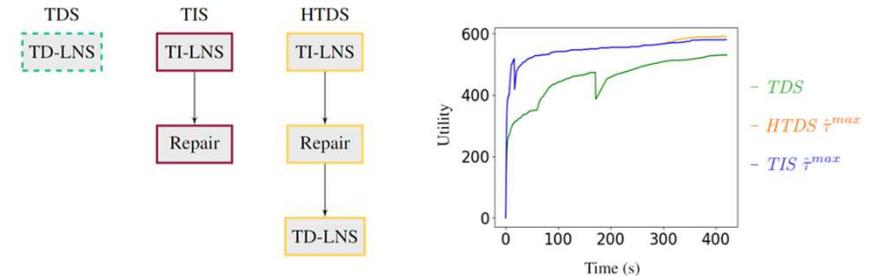


[source : CITI lab]

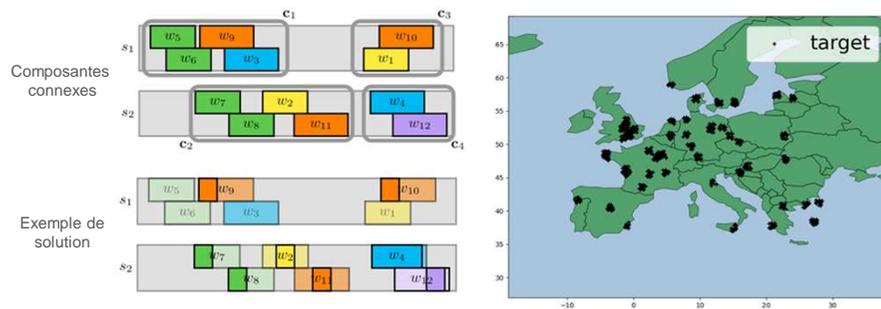
- Planification constellation (thèse Squillaci, 2020-2023)
 - gestion de requêtes hétérogènes (oneshot, périodique, systématique...)
 - définition de méthodes de type Large Neighborhood Search (processus itéré de « destruction + réparation » optimisant localement une solution)
 - hybridation de méthodes d'optimisation (détails : LNS + PPC)
 - expérimentations (16 satellites, altitude 800 km, >= 1000 requêtes)

- Travaux en cours

- Comparaison de modèles *time-dependent* et *non time-dependent* (prise en compte plus ou moins fine de la cinématique réelle des satellites)
- Approche hybride avec modèle *time-independent* = modèle de substitution



- Optimisation et apprentissage, notamment pour l'estimation des durées de balayage de grandes zones (approche de type *empirical model learning*) (Thèse Barrault, 2023-2026, CNES)

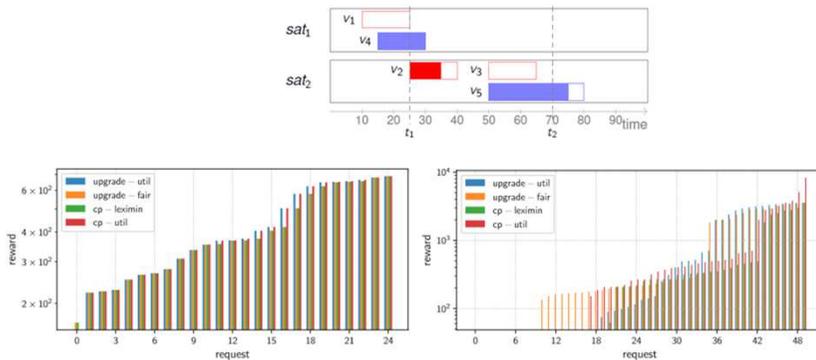


Planification multi-utilisateurs

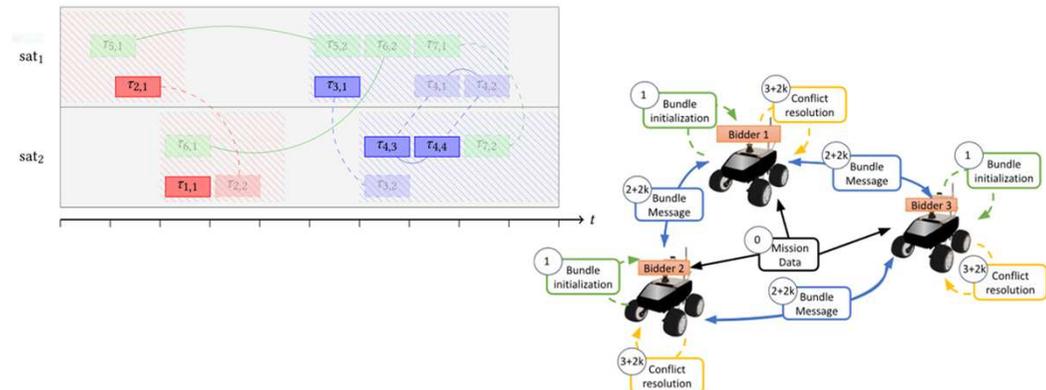
Approches multi-agents

- Prise en compte des **utilisateurs finaux** dans l'allocation des observations et dans la planification
- Algorithmes d'allocation optimaux pour l'utilité et algorithmes optimaux pour l'**équité** avec **découpage des portions d'orbite**
 - Leximin, leximin approché, round-robin, programmation par contraintes, ...

(Post-doc Maqrot, 2021-2022)



- Planification de requêtes d'observations en prenant en compte les **portions d'orbite exclusives**
 - Objectif : obtenir un plan optimal garantissant la **confidentialité** des observations sur les portions exclusives
 - Algorithmes à base d'**enchères**
 - Algorithmes d'**optimisation distribuée**



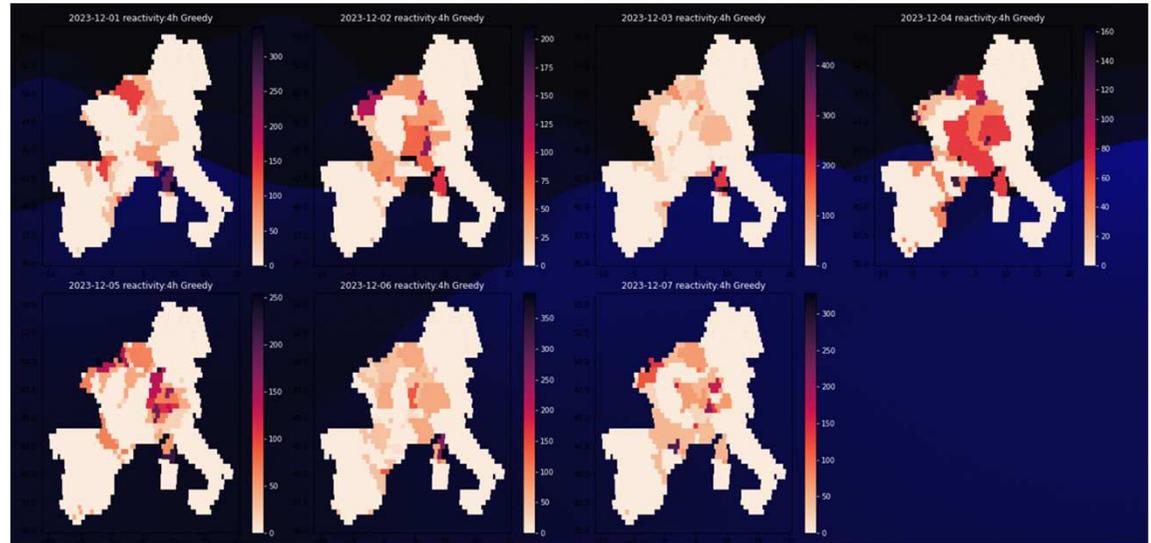
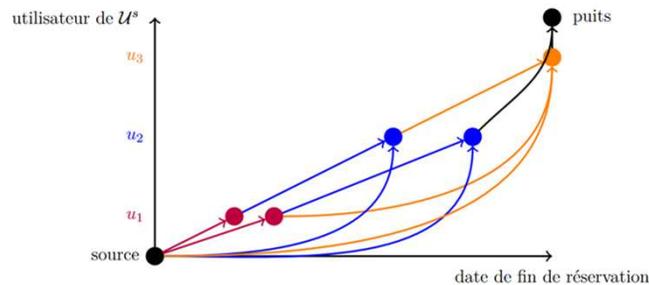
Planification multi-utilisateurs

Couverture de grandes zones

Partage d'une constellation pour la
couverture de **grandes zones**
avec **réactivité** (e.g. 2h, 4h)

- Algorithme glouton
- Recherche locale
- Arc-flow

(Post-doc Robbes, 2023-2024)

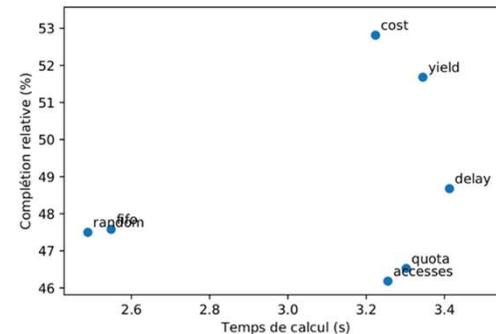
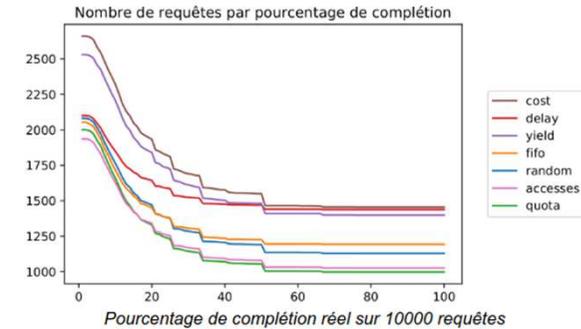
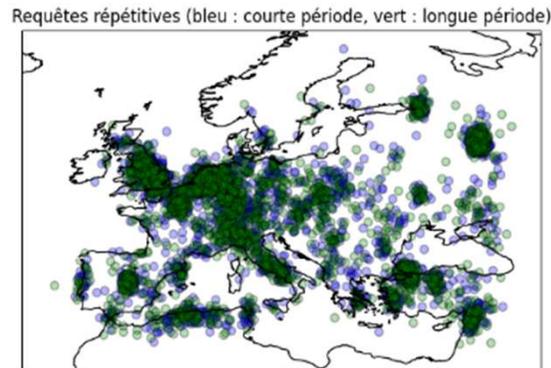
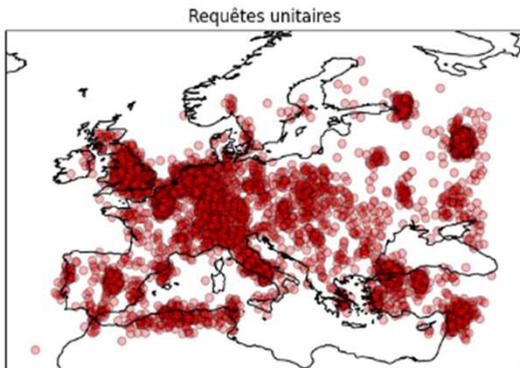


Planification de requêtes répétitives

ITT CNES (ADS, ONERA)

Algorithmes pour requêtes composites

- Périodicité infra/supra-journalière
- Coexistence de requêtes one-shot et périodiques
- Approche heuristique
 - coût, rentabilité, quota, fifo, délai, accès, random
 - hiérarchisables

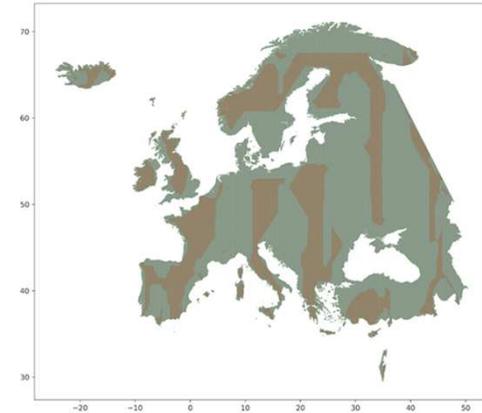
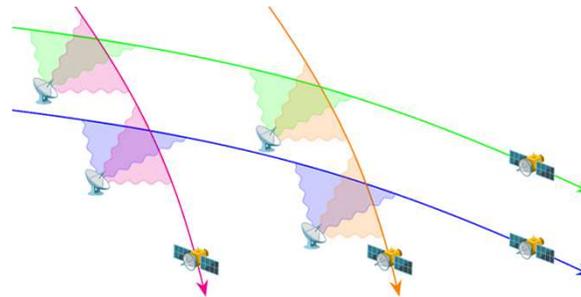
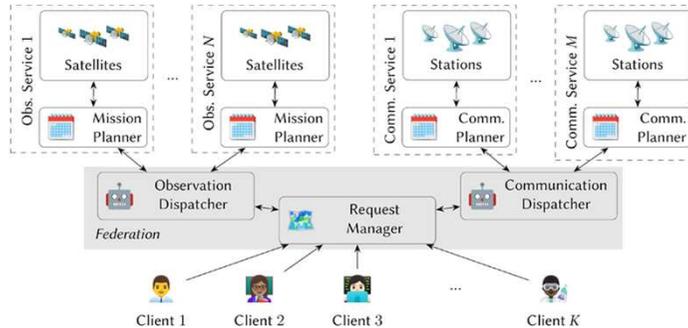
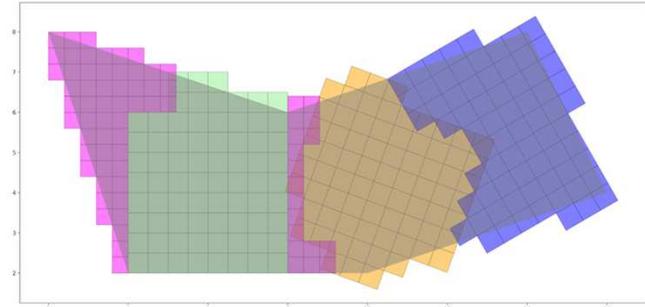


Comparaison des heuristiques en termes de temps de calcul et de complétion relative moyenne

Fédération multi-mission

HE DOMINO-E (ADS)

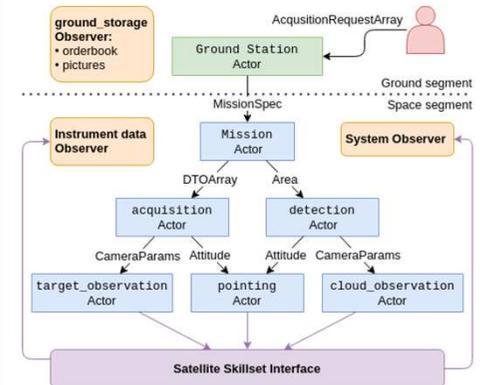
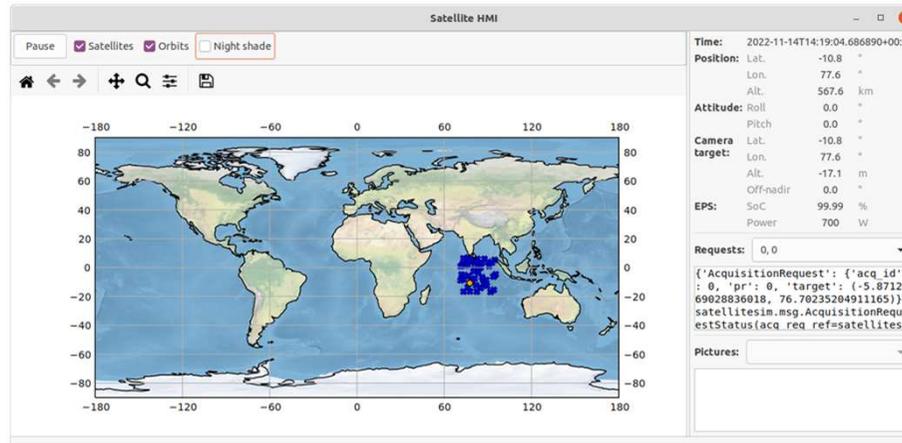
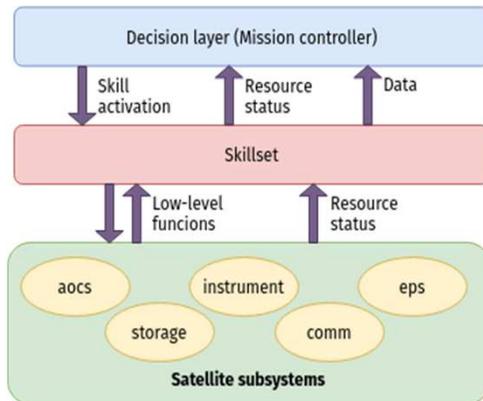
- Couverture grande zone **multi-missions**
 - *Dispatch* et planification automatique
 - Zones à l'échelle de continents
 - Réduction du délai de livraison
 - Incertitudes sur la charge réelle des missions
- Réservations de stations au sol (**GSaaS**)
 - Adaptation à la charge et aux interférences
 - Incertitudes sur la charge réelle des stations



Planification bord

Autonomie et décision guidée par les buts

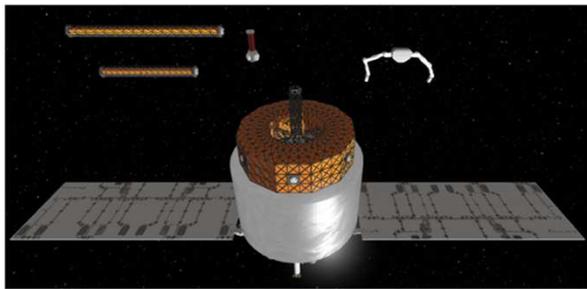
- **Architecture** divisée en trois couches
 - Couche **décisionnelle** hébergeant le contrôleur de mission: hiérarchie d'acteurs gérant des buts par décomposition en tâches élémentaires
 - Couche **skillset** : interface faisant abstraction des comportements et des fonctions élémentaires du satellite à travers des skills
 - Couche **fonctionnelle** : implémentation des fonctions embarquées
- Implémentation en **acteurs et skillset** OARA dans le middleware ROS2
(Post-doc Bailon-Ruiz, 2021-2023)



Planification pour l'assemblage en orbite

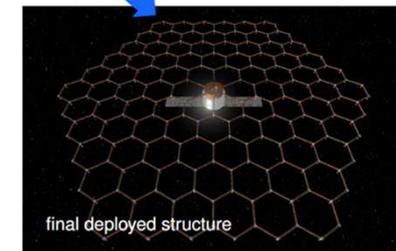
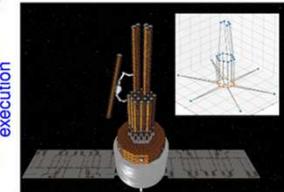
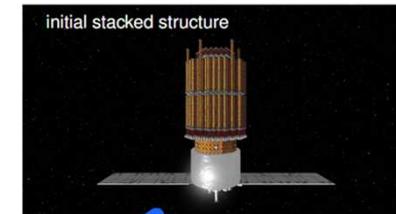
PRF ASTROLABE

- Systèmes de **robots spatiaux** mobiles pour **l'assemblage en orbite** de **très grandes structures**
 - **robots rampants** capables de se déplacer le long d'une poutrelle
 - **structure modulaire en treillis**
 - poutrelles équipées d'interfaces standard
 - connecteurs reliant les couches du treillis
 - nœuds d'attache équipés d'interfaces standards
- Mouvement des **robots autonomes**
 - **Contrôle de la vitesse** des robots et du C-o-M
 - **Trajectoires** spécifiques le long des poutrelles
- **Planification multi-agents**
 - **Allocation de tâches**
 - **Coordination** entre les robots
 - Tirer parti de la **redondance**



Calcul de plans d'assemblage en orbite

Instance	no. Beams	Search time(s)	Expanded nodes	Plan length
Small	3	0.02	7	6
Medium	27	5.8	47	42
Large	70	160	115	114
Huge	300	16.000	511	510





IA de confiance
IA embarquée
IA hybride
IA frugale

ONERA **AI LAB**

Merci pour votre attention !

Gauthier Picard – gauthier.picard@onera.fr

ONERA AI LAB