



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

www.onera.fr

L'IA pour le Spatial à l'ONERA

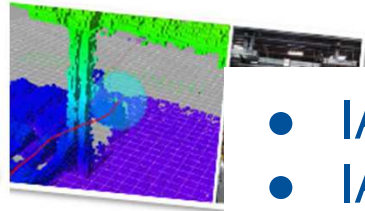
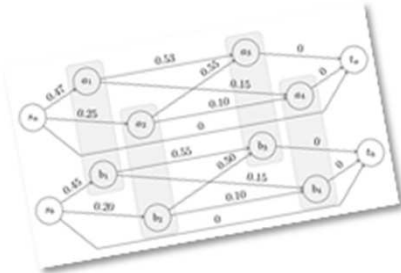
focus sur la planification

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



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



Confiance

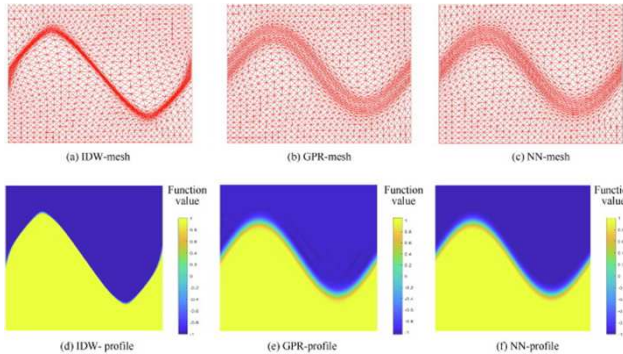
Éthique

Frugalité

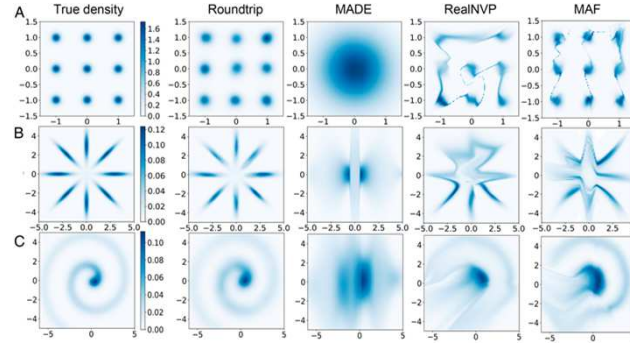


Axe IA et grands codes

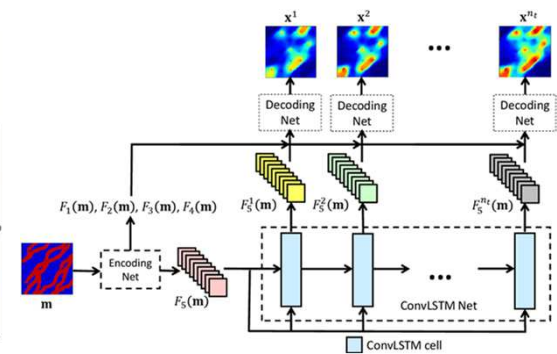
Augmenter le potentiel des pépites logicielles ONERA



Maillage basée IA
Super résolution de maillage



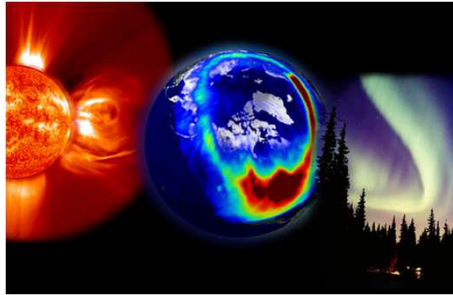
Optimisation d'une traitement
à une densité
(ex accélération de convergence)



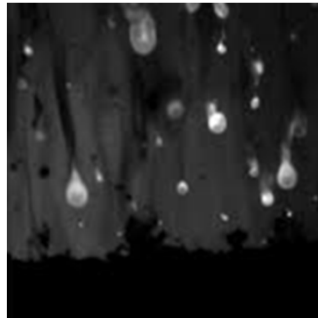
Modèle réduit basé IA

Axe Modéliser grâce à l'IA

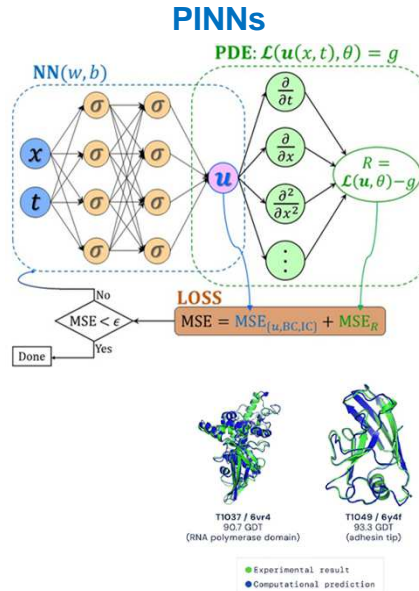
Météo spatiale Estimation du risque foudre



Mesures extraites par IA

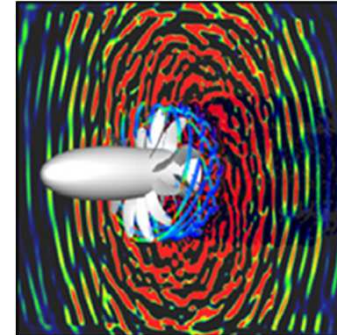


Mieux valoriser les données expérimentales ONERA



IA pour la conception de matériaux

Aider à la maîtrise de la turbulence Contrôle d'écoulement



Axe IA et l'humain

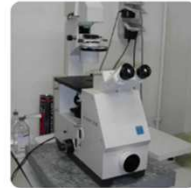
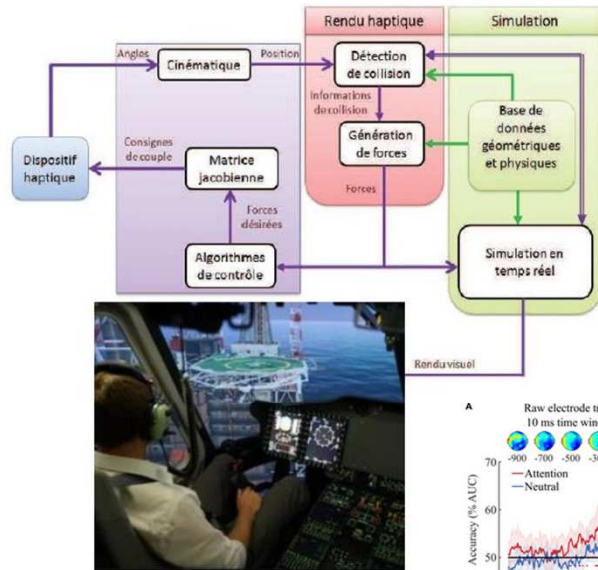
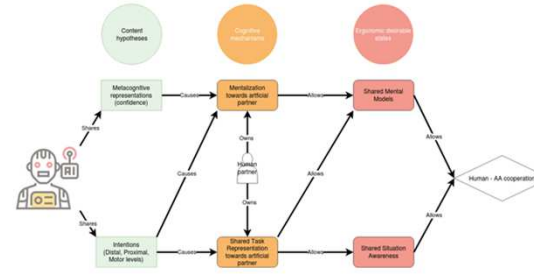
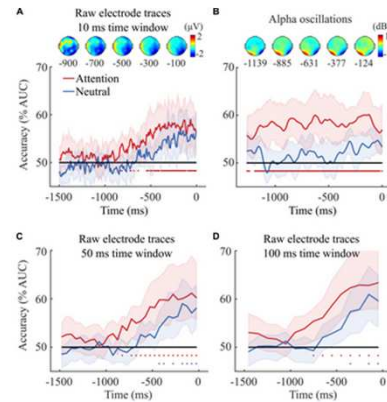


Image shown
(Viewed for one second)



Decoded output
(Shown here at 1/4 speed)

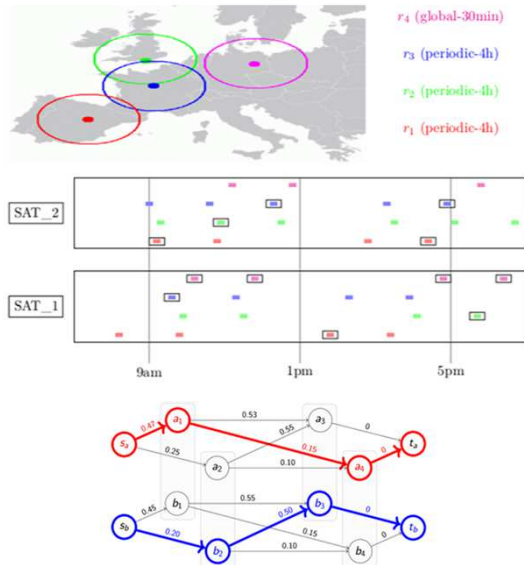


Interface haptique, vocale
Signaux physiologique
Simulateur de vol
Décision conjointe
humain-AI Explainable AI



Axe IA et décision

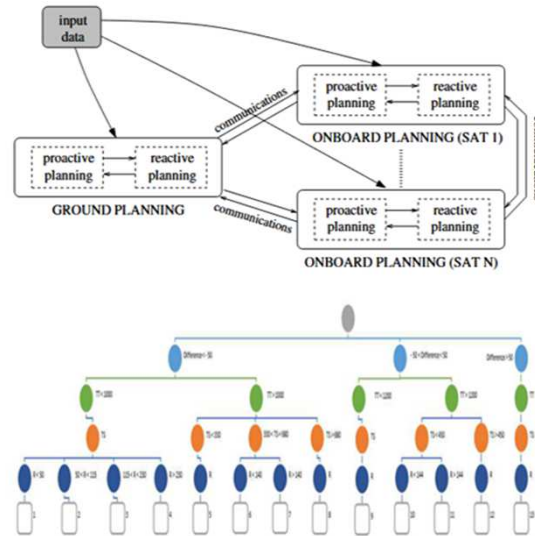
Partage et allocation de ressources



$$u(\pi_{loc}) = u(a \rightarrow \{s_a, a_1, a_2, t_a\}) + u(b \rightarrow \{s_b, b_1, b_2, t_b\}) = 0.62 + 0.70 = 1.32.$$

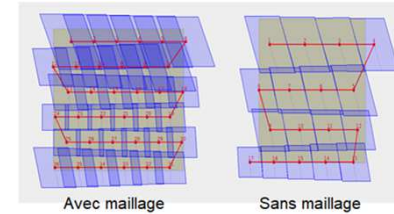
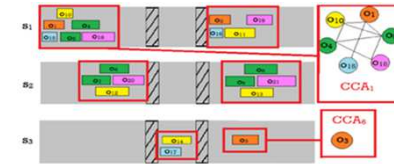
Optimisation combinatoire
Recherche locale, heuristiques

Planification sous incertitudes



Recherche opérationnelle
Apprentissage par renforcement

Planification multi-ressources



MAPF, DCOP

ANITI

anr

DGA

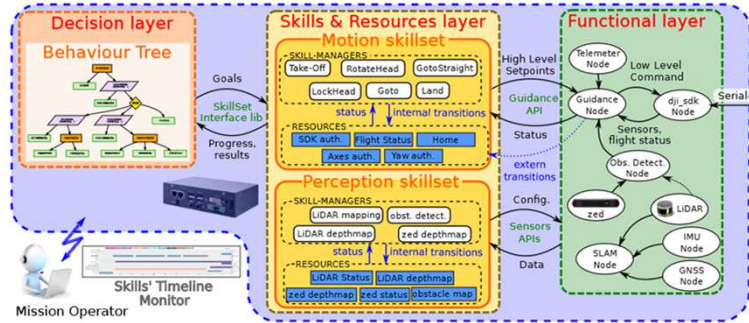
cnes

bpi france

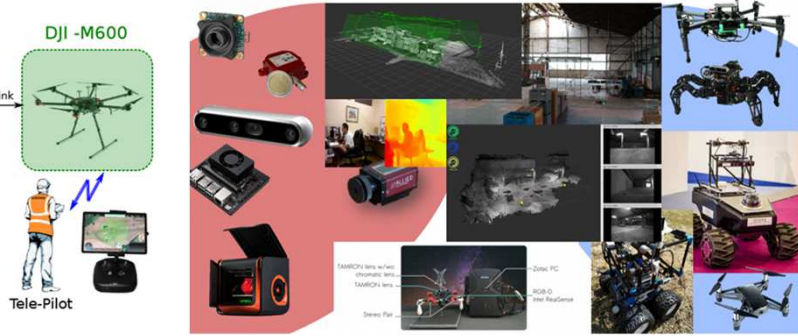
horizon europe

Axe IA et autonomie

Architecture de décision et d'exécution



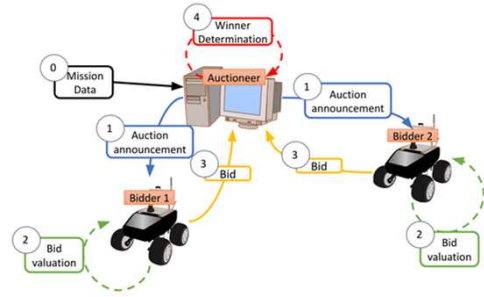
IA embarquée



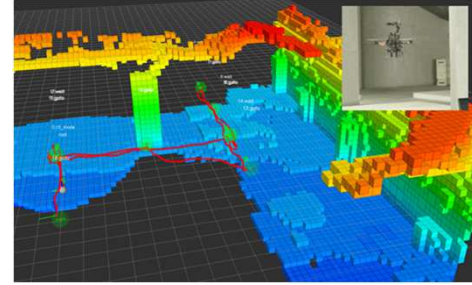
Robotique collective et hétérogène



Autonomie décisionnelle

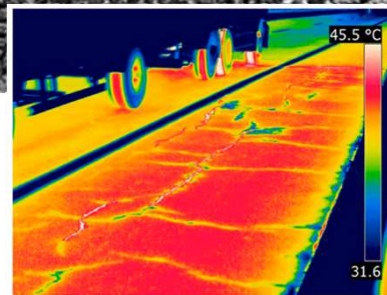
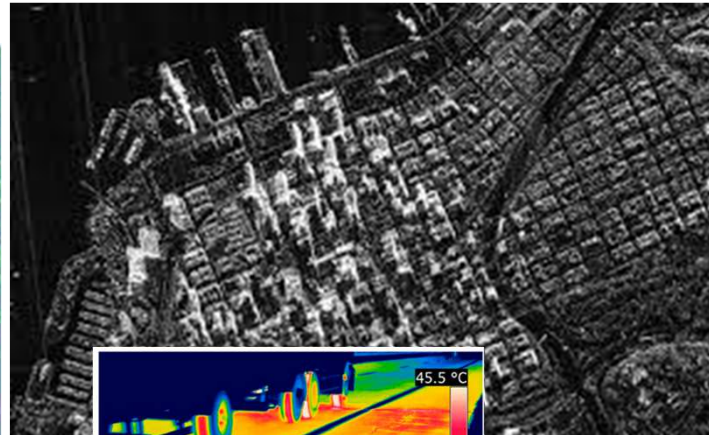


Navigation et cartographie



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



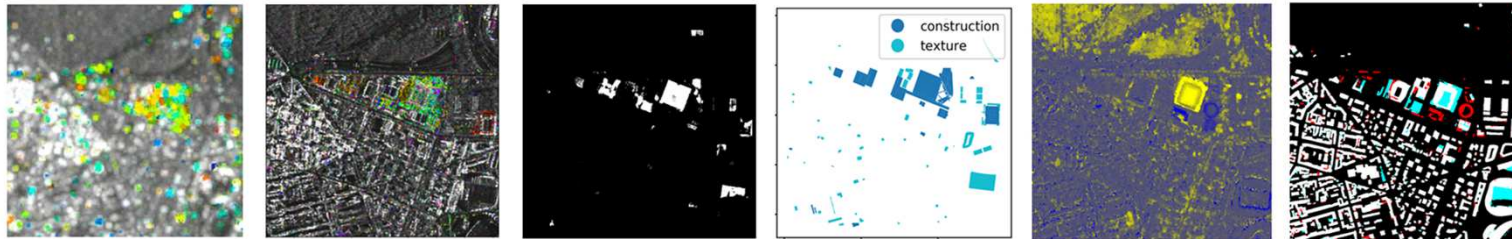
Approches faiblement supervisées /
autosupervisées / Par renforcement

Approches classiques statistiques radar

Différence de cartes d'occupation des sols par apprentissage profond

Différences de modèles 3D obtenus par stéréo

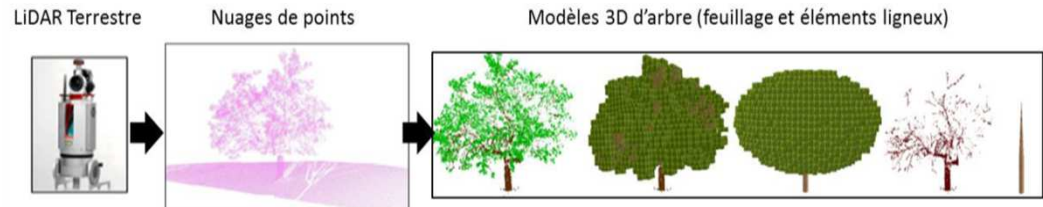
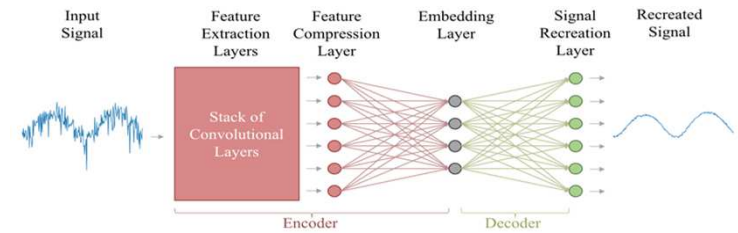
Détection de changement par apprentissage supervisé / Non supervisé



Perception augmentée IA et Geolnt

PRF DREAM Dynamic Raise of EArth Monitoring

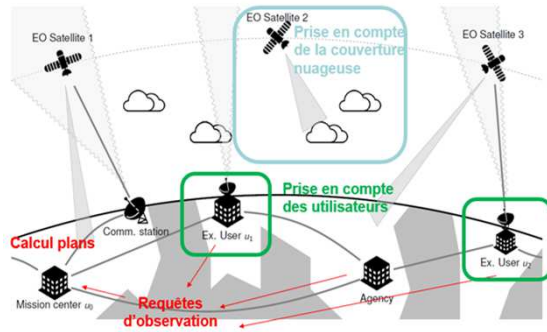
- Mener l'intelligence Géospatiale : au-delà des dimensions de l'Image
 - Piles temporelles
 - Images multimodales : radar/optique, radar/thermique
 - Données hétérogènes : Conversation texte/images
 - 3D
- Articuler la Physique et le Deep Learning
 - Végétation : Convergence des modèles radar et optique
 - 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



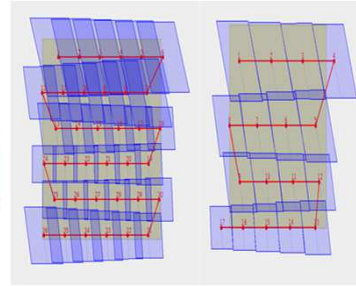
Modélisation multimodale et IA
pour la végétation

Focus sur la planification

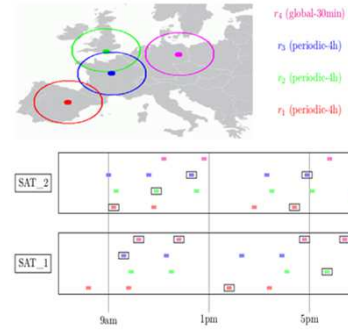
Planification pour les missions EOS



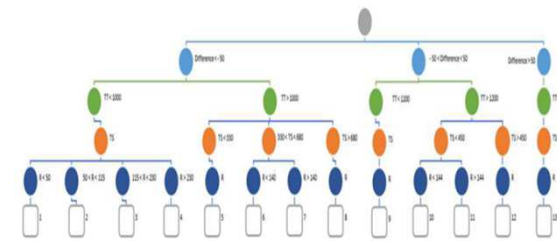
Planification optimale



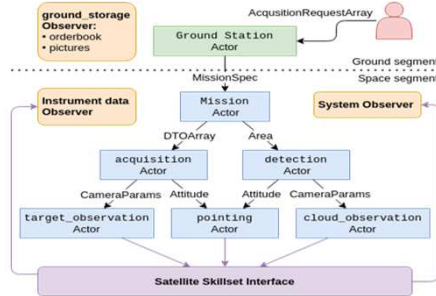
Partage multi-utilisateurs



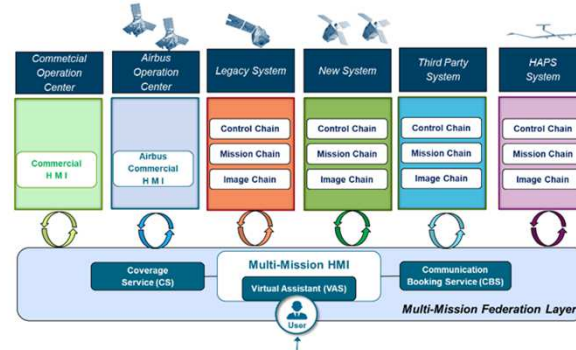
Gestion des incertitudes



Architecture bord et décision embarquée



Fédération multi-missions

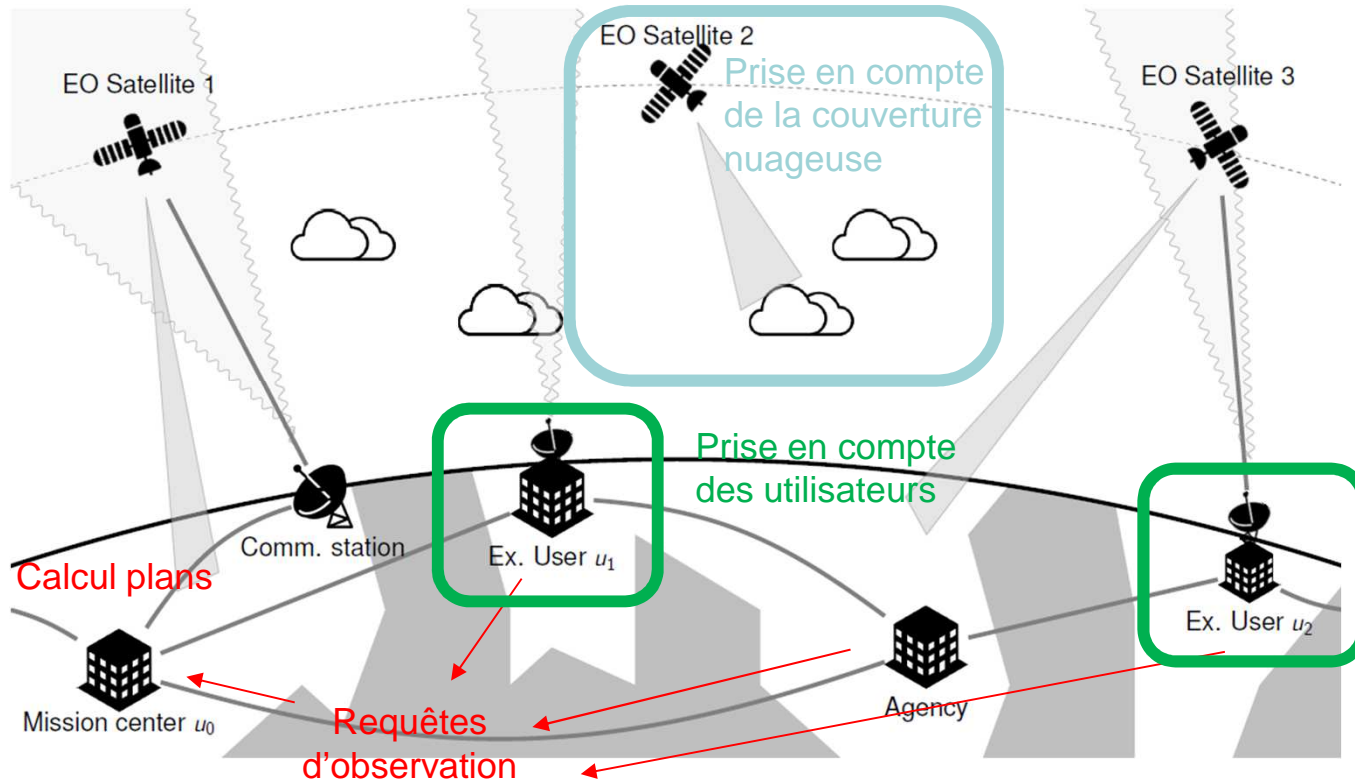


PRF ACCEOS
PSPC LiChIE
HE DOMINO-E

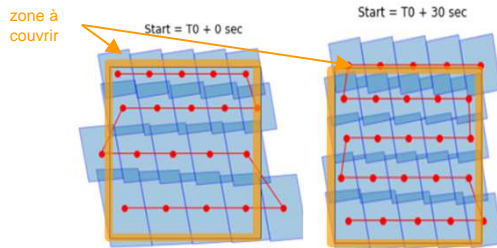


Planification & autonomie – problématiques associées

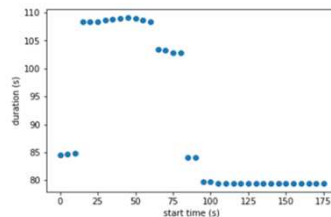
PSPC LiChIE – PRF ACCEOS



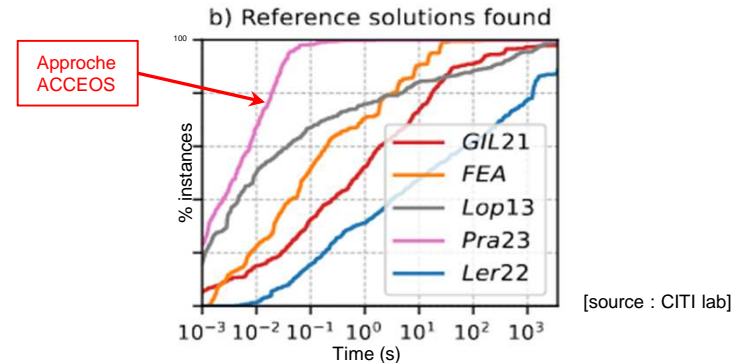
- **Méthodes de planification *meshless*** pour couvrir des polygones convexes (exploitation de l’empreinte réelle du capteur au sol)
 - Gains significatifs en termes de capacités d’acquisition



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



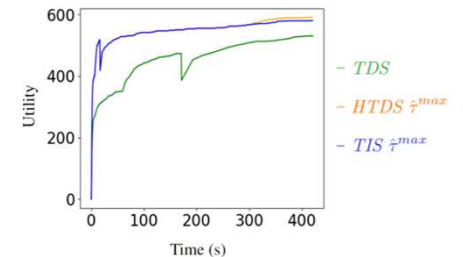
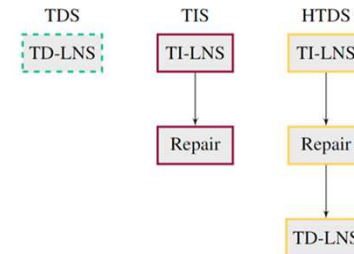
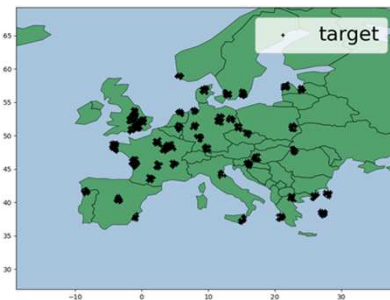
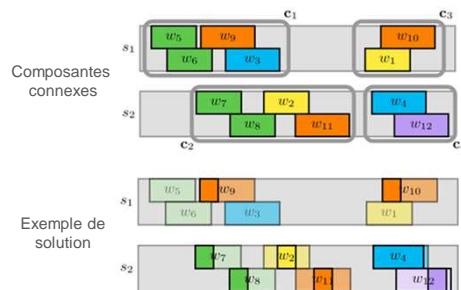
- **Algorithmes de séquençement** d’observations avec fenêtres temporelles et aspects time-dependent
 - obtention de gains d’un ordre de grandeur par rapport à l’état de l’art



- 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



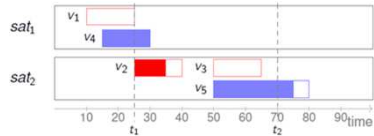
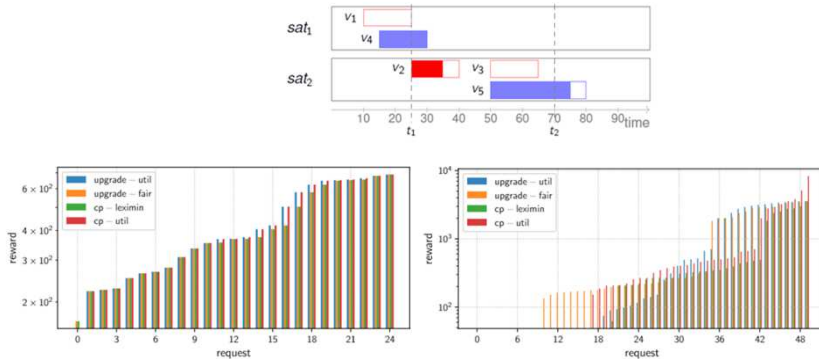
- Optimisation et apprentissage, notamment pour l'estimation des durées de balayage de grandes zones (approche de type *empirical model learning*) (Thèse Barrault, 2023-2026, CNES)

Planification multi-utilisateurs

Approches multi-agents

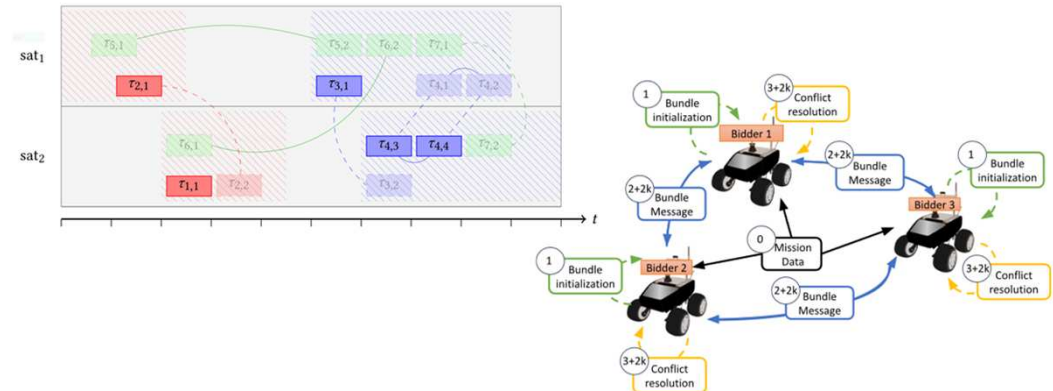
- Prise en compte des **utilisateurs finaux** dans l'allocation des observations et dans la planification
- Algorithmes d'allocation optimaux pour l'utilité et algorithmes optimaux pour l'**équité** avec **découpage des portions d'orbite**
 - Leximin, leximin approché, round-robin, programmation par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



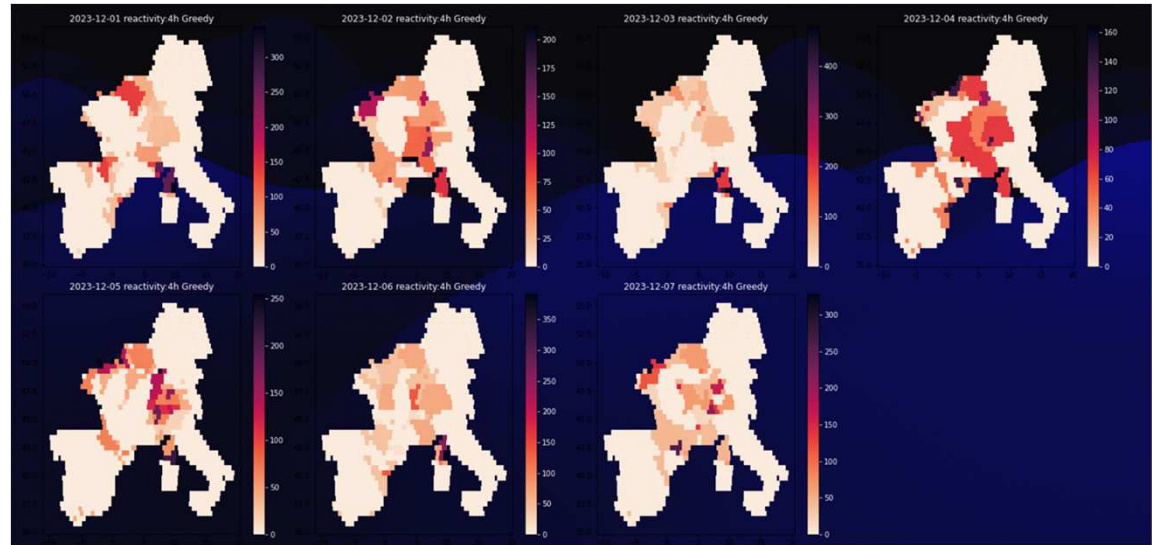
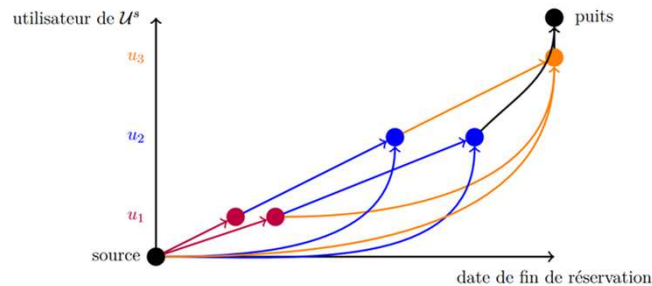
Planification multi-utilisateurs

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)

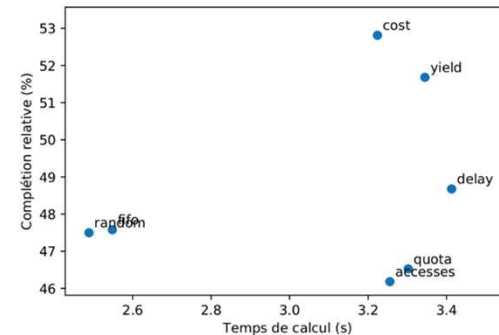
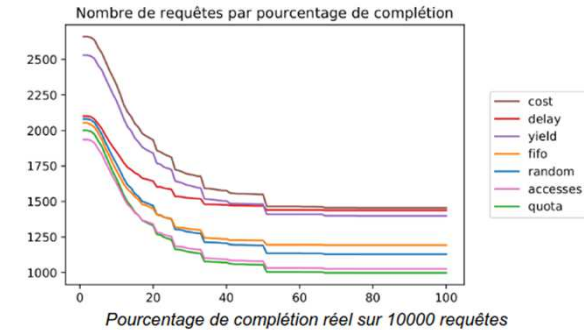
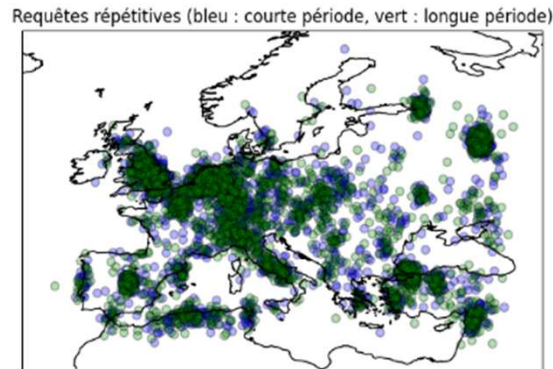
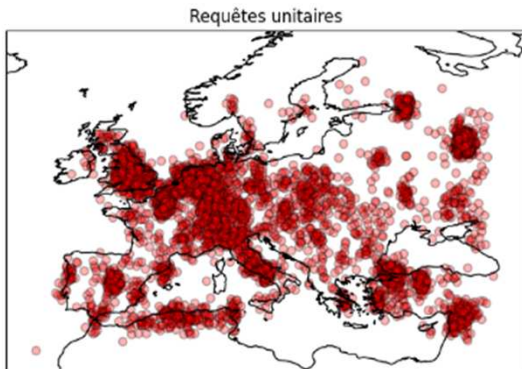


Planification de requêtes répétitives

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

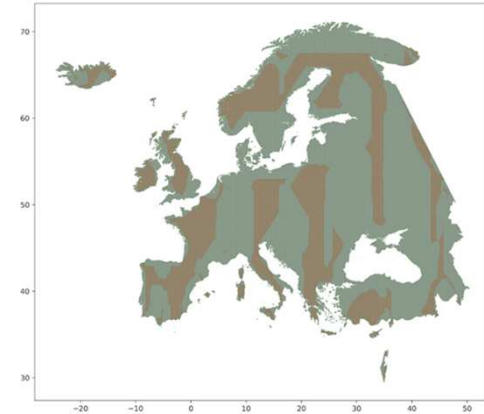
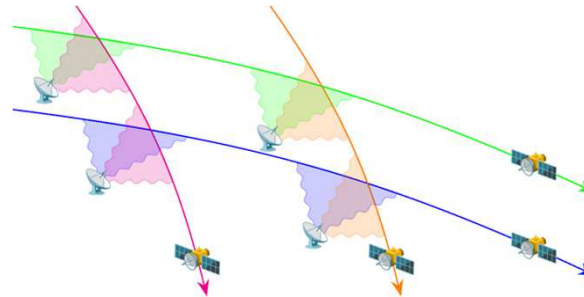
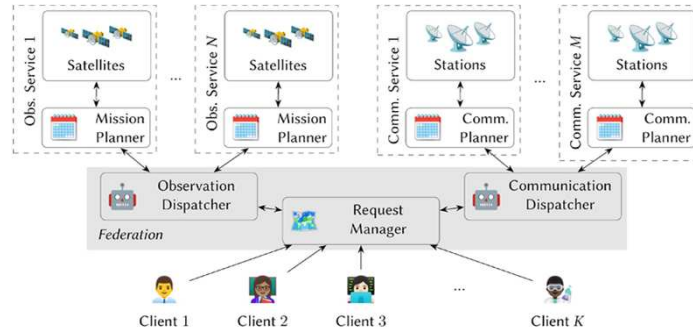
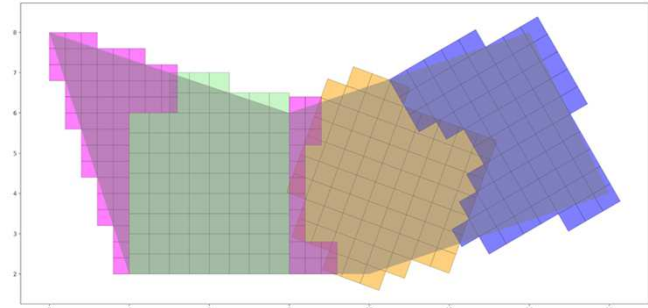


Comparaison des heuristiques en termes de temps de calcul et de complétion relative moyenne

Fédération multi-mission

HE DOMINO-E (ADS)

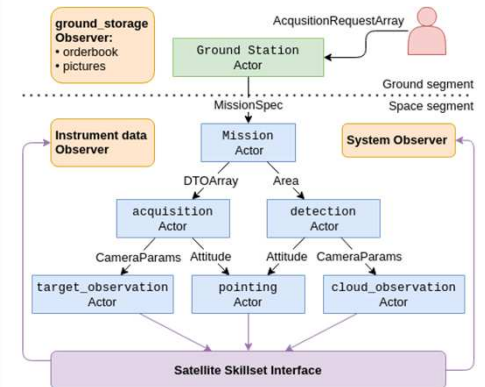
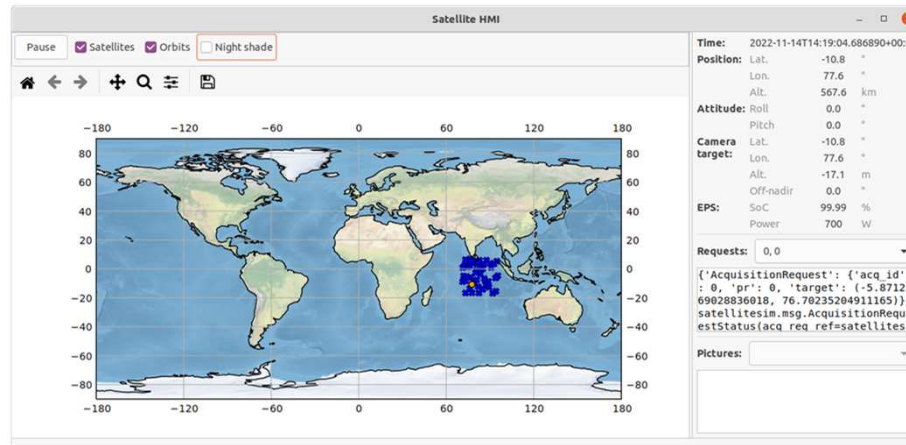
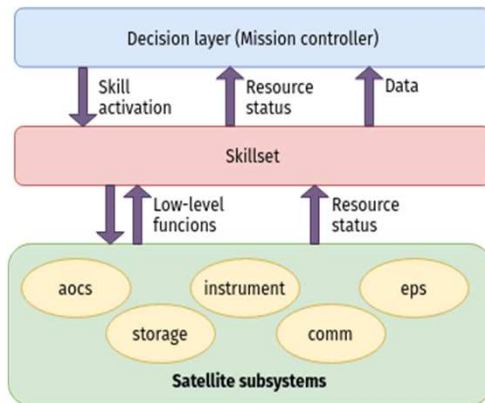
- Couverture grande zone **multi-missions**
 - *Dispatch* et planification automatique
 - Zones à l'échelle de continents
 - Réduction du délai de livraison
 - Incertitudes sur la charge réelle des missions
- Réservations de stations au sol (**GSaaS**)
 - Adaptation à la charge et aux interférences
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



Planification bord

Autonomie et décision guidée par les buts

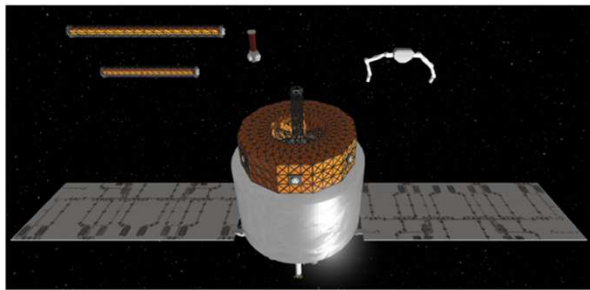
- **Architecture** divisée en trois couches
 - Couche **décisionnelle** hébergeant le contrôleur de mission: hiérarchie d'acteurs gérant des buts par décomposition en tâches élémentaires
 - Couche **skillset** : interface faisant abstraction des comportements et des fonctions élémentaires du satellite 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

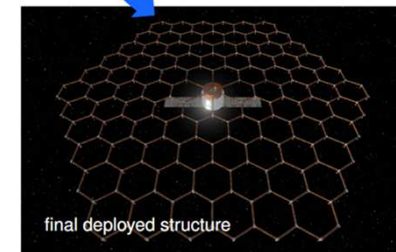
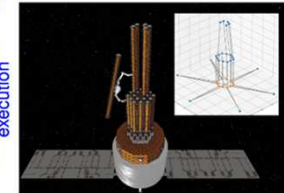
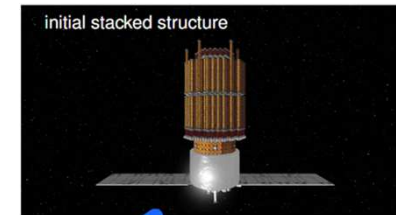
PRF ASTROLABE


- 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