



**La Cité**



# **IA robuste, explicable, embarquée pour l'espace**

---

**Lionel CORDESSES, Ph.D.**  
Director of Smart Technologies  
IEEE Senior Member

[lionel.cordesses@irt-saintexupery.com](mailto:lionel.cordesses@irt-saintexupery.com)

# Team



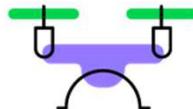
Jacques Decroix

**Smart  
connectivity &  
sensing**



Guillaume Oller

**Advanced  
Learning  
Technologies**



Grégory Flandin

**AI for critical  
systems**



75 FTE



12 M€



42 partners,  
15 labs



23  
publications

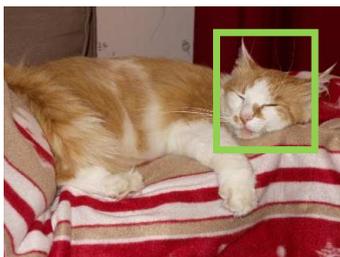


7 PhDs  
1 postdoc

# From Deep Learning to Explainable Deep Learning



## Supervised Deep Learning



## Weakly supervised Deep Learning



## Low power <10 W Deep Learning

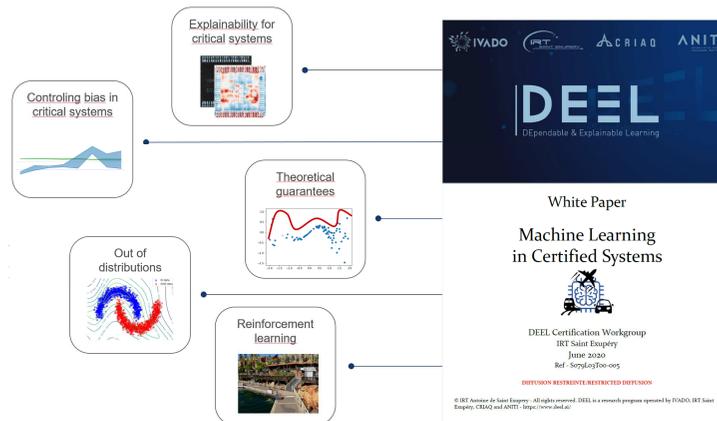


ESA OPS-SAT with a FPGA



ESA OPS-SAT picture (26 July 2020)  
Twinwheel picture

## Robust & explainable Deep Learning

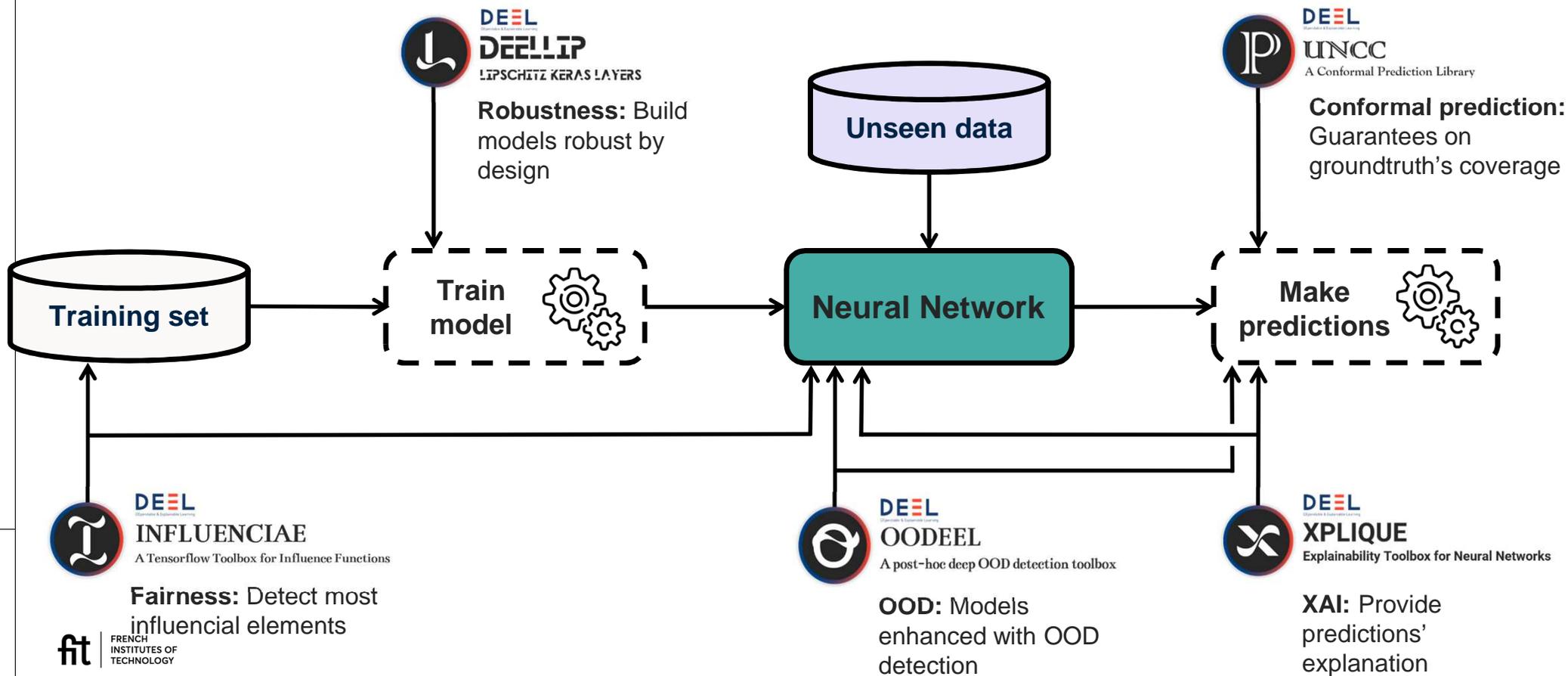


# Robust & explainable machine learning with IRT toolboxes



1. Un classifieur, robuste par conception, car basé sur un réseau de neurones 1- Lipschitz et sur une distance de Wasserstein, a été appris. Bibliothèque DEEL-LIP correspondante <https://github.com/deel-ai/deel-lip>.
2. Une fois ce classifieur robuste obtenu, nous voulons nous assurer qu'il a appris sans biais avec toute la base d'apprentissage, et non pas en exploitant uniquement quelques échantillons. Les fonctions d'influence permettent de déterminer les données ayant possiblement biaisé le modèle. Bibliothèque <https://github.com/deel-ai/influenciae>.
3. Une fois ce classifieur robuste bien entraîné sur toutes les données d'apprentissage obtenu, nous voulons qu'il soit capable d'alerter quand il ne sait pas classer un nouvel élément. Si le classifieur sait classer des images dans les classes « chats » et « voitures », il classera forcément une image de navire dans une de ces deux classes. Nous souhaitons qu'il dise que l'image du navire est en dehors du domaine d'apprentissage. C'est la notion d' « Out of distribution » (OOD). Bibliothèque <https://github.com/deel-ai/oodeel>.
4. Nous souhaitons extraire du classifieur des informations permettant à un humain de comprendre pourquoi il classe un signal dans une classe donnée. Pour cela, plusieurs méthodes à l'état de l'art sont présentes dans la bibliothèque <https://github.com/deel-ai/xplique>. Cela permet aussi de poursuivre la validation du classifieur (ex. : « c'est un avion, car il y a un ciel bleu tout autour »).
5. Enfin, nous voulons que le classifieur donne des bornes ou des garanties sur sa décision. De telles garanties statistiques peuvent être obtenues avec les prédictions conformes. Bibliothèque <https://github.com/deel-ai/puncc>.

# The Big Picture



# 2024 à 2028 : DEEL 2

## New challenges for science and industry



**25M€**



**100** engineers, experts,  
datascientists, researchers  
and PhDs



**Newcomers**

DEEL pursues scientific and technological developments on ongoing challenges, and addresses new challenges:

- Embeddability
- Reinforcement learning with guaranties

DEEL addresses new applications:

- Guaranties in Natural language Processing (NLP) with (Large) Language Models
- Multimodal data (ex. images + text)

# Le projet IRMA en un slide

Image analysis for a Responsive Mission with AI



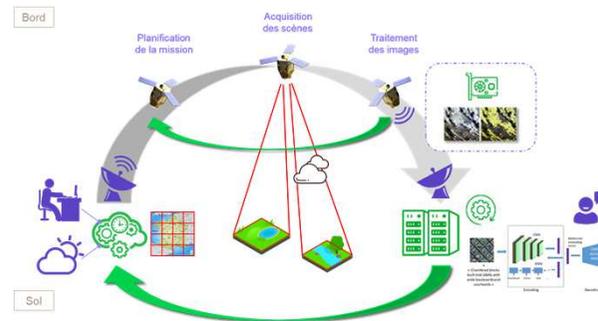
Améliorer la réactivité des systèmes spatiaux d'observation de la Terre par une boucle de rétroaction de l'analyse image vers la planification de mission



3.5 M€  
(incl. PIA)



2 ans  
(2023 → 2025)



## Activités / Résultats attendus

- **Planification mission :**
  - **Au sol :** Distribution dynamique des requêtes entre les satellites.
  - **À bord :** Mise à jour du plan de vidage de façon décentralisée.
- **Traitement d'image :**
  - **À bord :** Portage d'algorithmes IA faiblement supervisés en orbite.
  - **Au sol :** Assistant digital, interprétation sémantique multimodale.
- **Boucle complète :**
  - **Optimisation** de la mission basée sur l'analyse image.
  - **Démonstrateur** système en laboratoire, et expériences en orbite.

## Partenaires

- **Thales Alenia Space** (Maîtrise d'Oeuvre spatiale)
- **Activeeon** (Logiciel d'orchestration)
- **Geo4i** (Experts géo-intelligence)
- **JoliBrain** (Conception d'applications IA)
- **Partenaire académique :** Université Côte d'Azur
- **Collaboration agences :** ESA et CNES



# Focus sur la démo en orbite $\Phi$ sat-2 de l'ESA



## IRMA gagne un challenge international :

- Le projet IRMA a été sélectionné par l'agence spatiale européenne pour faire voler ses technologies en orbite **à bord du satellite  $\Phi$ sat-2**.
- Cette sélection fait suite à une phase de **compétition difficile d'un an**. Sur les 75 équipes inscrites dans le monde, seules 2 ont été retenues.

## Le satellite $\Phi$ sat-2 :

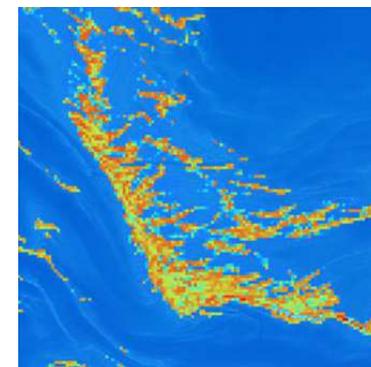
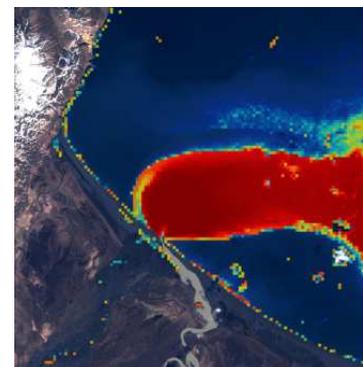
- Le satellite  $\Phi$ sat-2 est un **CubeSat 6U** qui doit être lancé en 2024 et doté :
  - d'une caméra à 5 mètres de résolution avec 5 bandes spectrales (VIS+NIR),
  - d'une capacité de calcul pour l'IA embarquée basée sur la Myriad 2 d'Intel.
- $\Phi$ sat-2 est une opportunité unique de développer de l'IA embarquée sur des images réelles, et de mettre en oeuvre le savoir-faire de l'IRT en la matière.

## Notre cas d'application :

- Le cas d'application développé par IRMA consiste à détecter des anomalies marines à bord des satellites (marées noires, algues) afin :
  - **De hiérarchiser les images** : les images avec les scores d'anomalies les plus élevés sont téléversées en priorité par le satellite. Cela permet de surveiller de vastes étendues tout en ne conservant que l'information la plus importante.
  - **De lever des alertes en temps réel** : en cas de détection d'un évènement majeur à bord, tel qu'une marée noire, une alerte est immédiatement envoyée pour permettre une réponse plus rapide des autorités compétentes.



Flashez le QR Code pour voir notre pitch !



**Détection d'anomalies marine embarquée à l'aide des technologies IRMA**

Gauche : Déversement de sédiments.  
Droite : Prolifération d'algues nocives.

# RAPTOR

## Robotic and Artificial intelligence Processing Test On Representative target



**Développement des briques technologiques critiques bord pour le rendez-vous spatial**



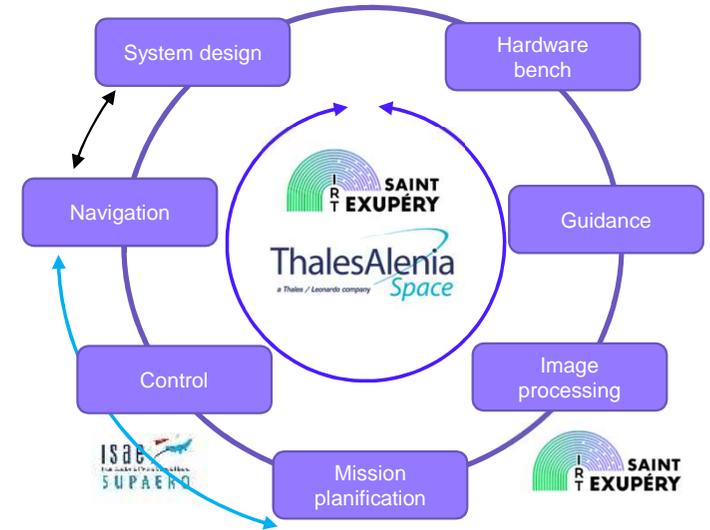
**2 M€**  
(incl. PIA)



**3 ans**  
(2022 → 2024)

### Objectifs

- Autonomie bord pour le rendez-vous
- Fonctions de Guidage, Navigation et Contrôle (GNC) en autonomie
- Traitement d'images bord compatible de cibles non préparées
- Optimisation de trajectoire
- Démonstration sur banc
  - Temps réel (FPGA et calculateur bord)
  - Banc robotique (maquette)



# RAPTOR

## Résultats

- Navigation:
  - Portage d'un réseau d'estimation de pose (keypoints) sur GPU et FPGA
  - Intégration des mesures dans un filtre UKF
  - Publication d'une base de données d'images pour le rendez-vous spatial
  - Développement de métriques de performances
- Guidage:
  - Catalogue de trajectoires "safe" (sans risque de collision)
- Bancs de démonstration:
  - Boucle fermée avec portage sur cibles hardware représentatives
  - Boucle fermée sur bras robotisés

