



AGENIUM
SPACE

Une approche IA pour la détection de RSO à bord

Pierre-Jean Coquard, François De Vieilleville, Mathieu
Verm, Nicolas-Marcel Lemoine, Nimesh Tahalooa



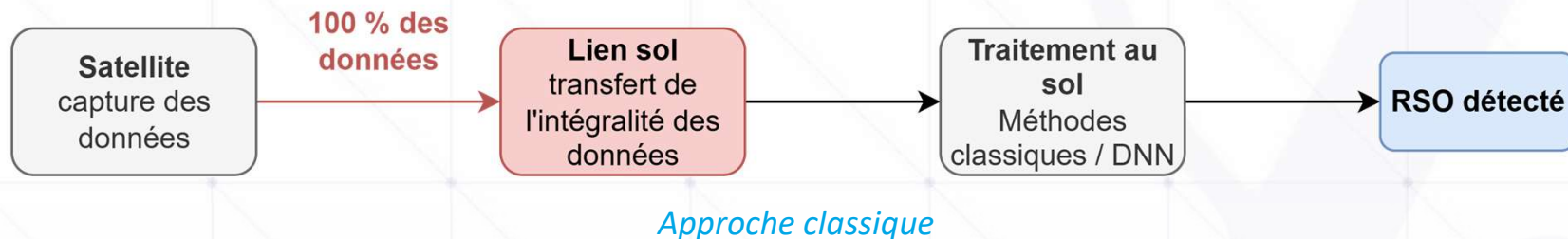
Objectif

Contexte et motivation

Nombre croissant de débris et de satellites en orbite

Besoin de surveillance de l'espace → Détection de **Resident Space Objects (RSO)**

Forte contrainte de **bande passante** et de **latence** pour transférer les données au sol





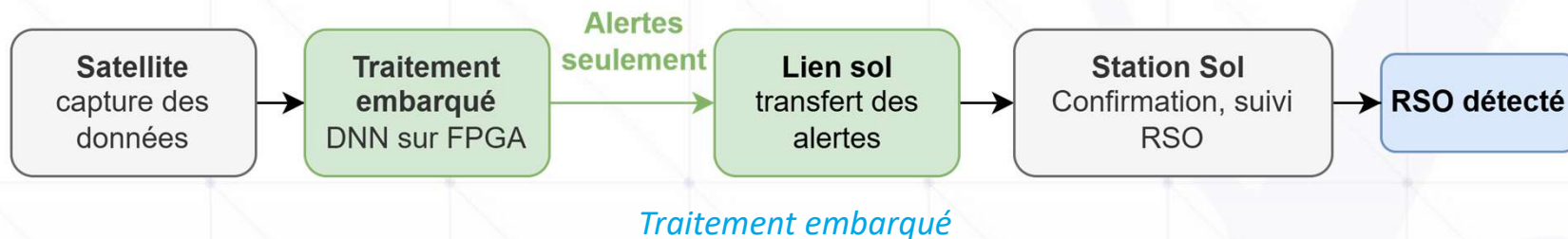
Objectif

Solution proposée

Algorithmes embarquables sur **SoC FPGA**

Transfert des données importantes uniquement → réduction du coût de bande passante

Utilisation de **Deep Learning** : plus robuste et meilleure généralisation



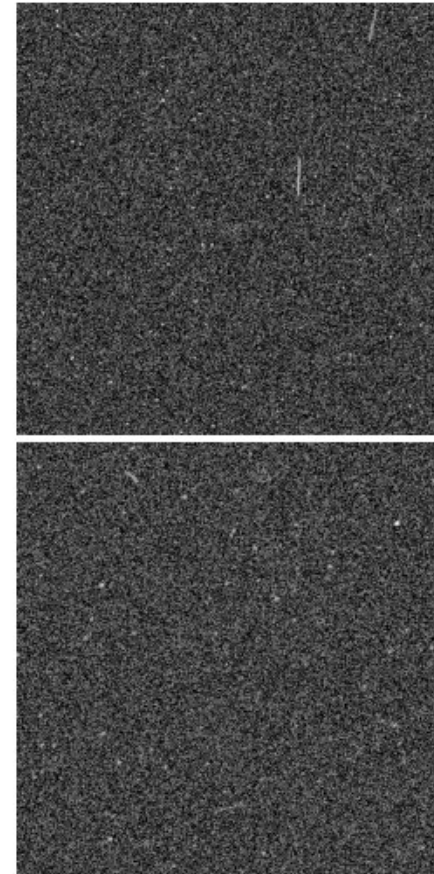
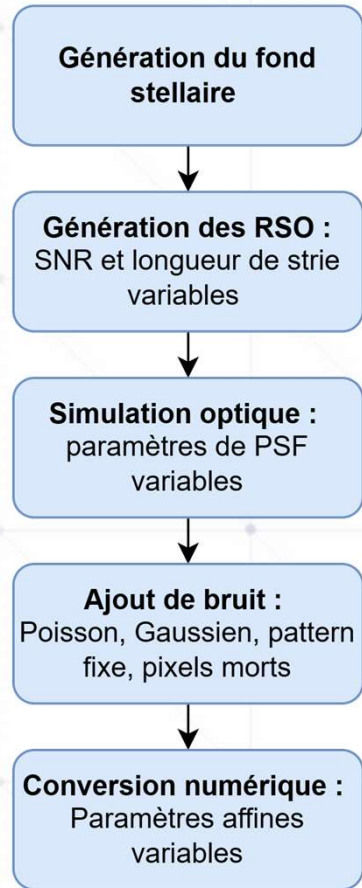


Données étudiées

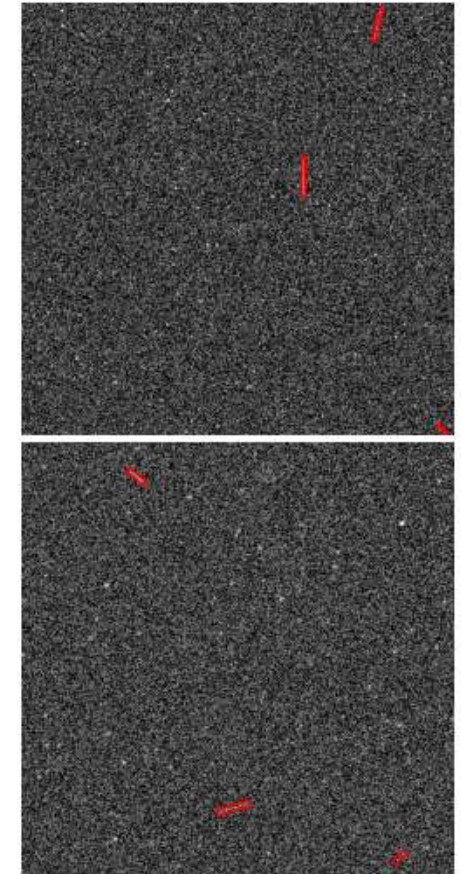
Données d'entraînement synthétiques

Peu de données réelles disponibles → génération de **données synthétiques**

Création d'un simulateur de données paramétrable



Exemple d'images de synthèse



Bounding box des RSO

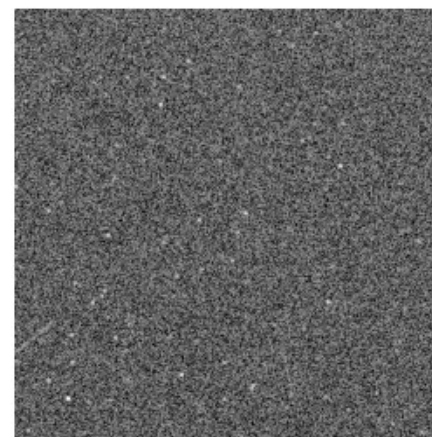
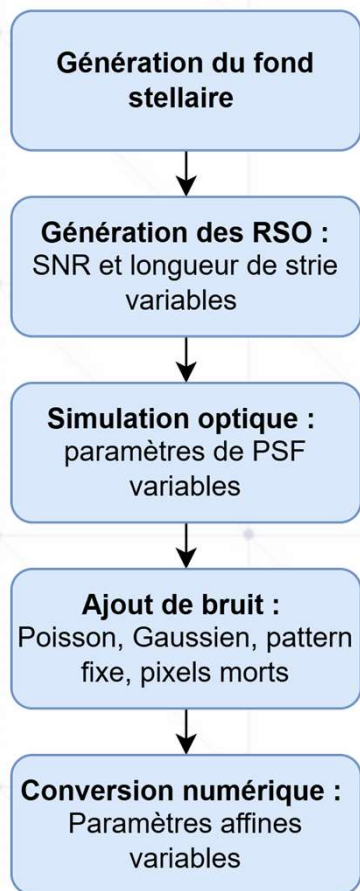


Données étudiées

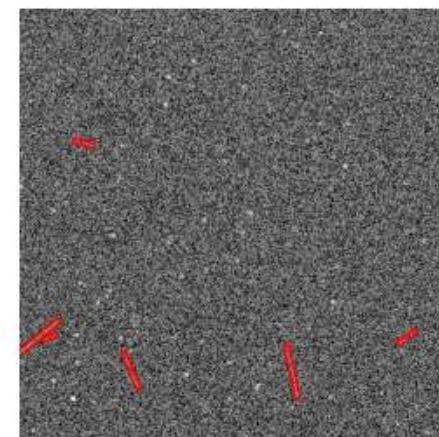
Données d'entraînement synthétiques

Peu de données réelles disponibles → génération de **données synthétiques**

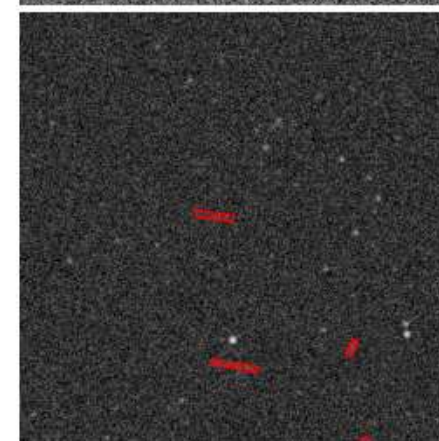
Création d'un simulateur de données paramétrable



Exemple d'images de synthèse



Bounding box des RSO





Données étudiées

Scénarios d'acquisition

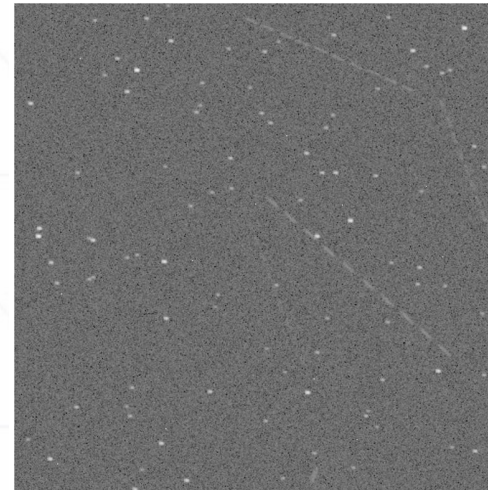
Deux modes de fonctionnement :

- Génération **mono-image**
- Génération de **séquences temporelles** d'images

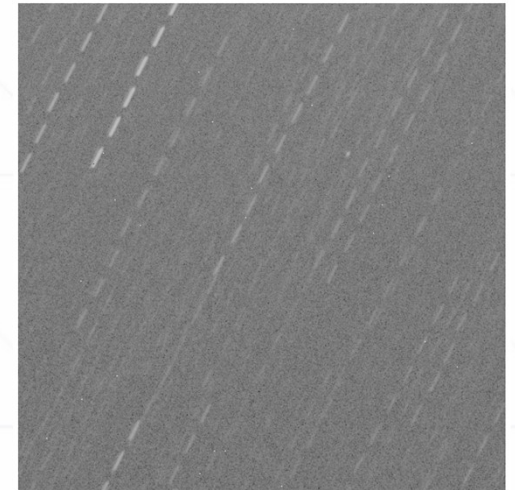
Deux scénarios de pointage du satellite possibles :

- **inertiel**
- **Tracking de RSO**

Scénario	Etoiles	RSO
Inertiel	Points	Traînées
RSO tracking	Traînées	Points



*Image moyennée d'une
séquence de 10 images en
pointage inertiel*



*Image moyennée d'une
séquence de 10 images en
tracking de RSO*



Données étudiées

Scénarios d'acquisition

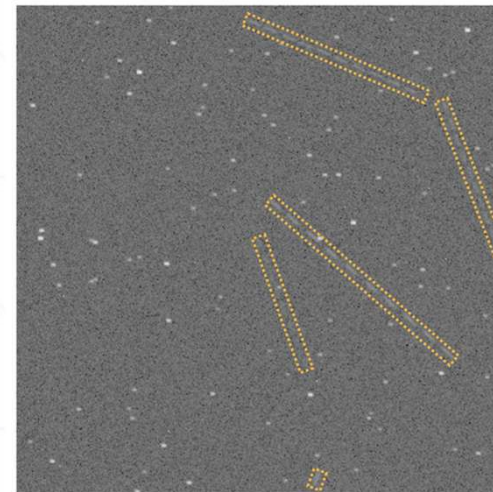
Deux modes de fonctionnement :

- Génération **mono-image**
- Génération de **séquences temporelles** d'images

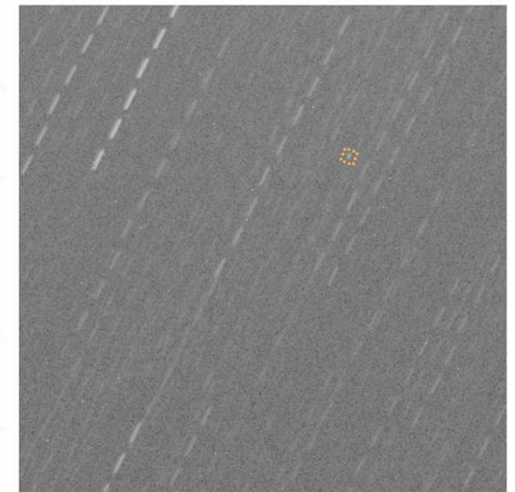
Deux scénarios de pointage du satellite possibles :

- **inertiel**
- Tracking de RSO

Scenarior	Etoiles	RSO
Inertiel	Points	Traînées
RSO tracking	Traînées	Points



*Image moyennée d'une
séquence de 10 images en
pointage inertiel*

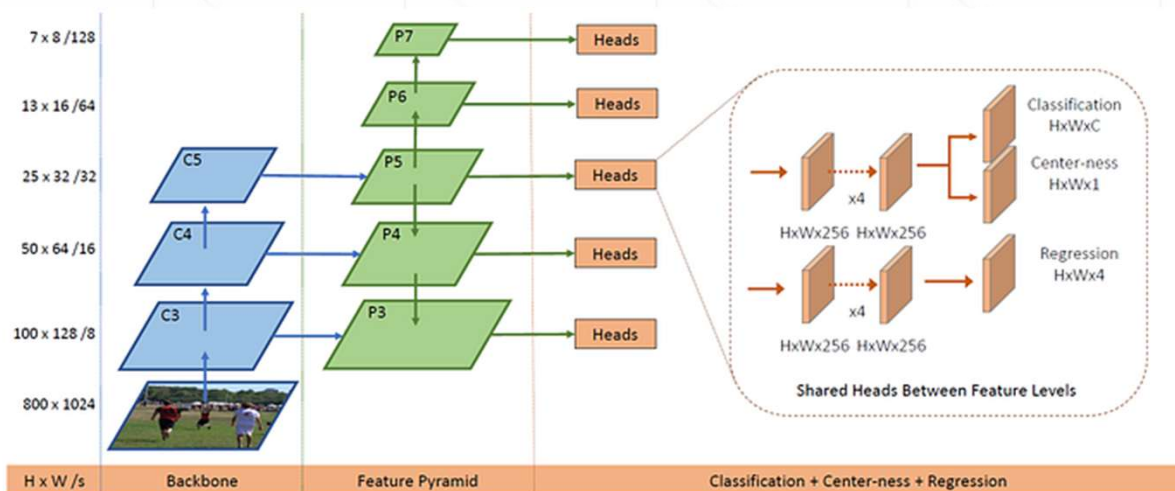


*Image moyennée d'une
séquence de 10 images en
tracking de RSO*

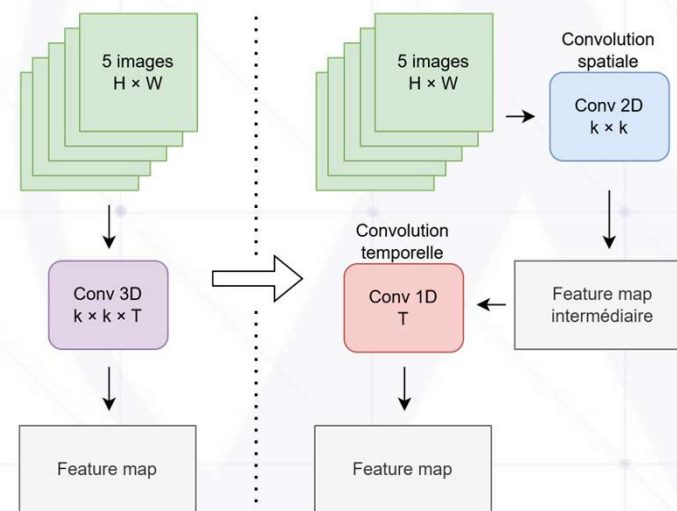
DNN Architecture

Deux approches basées sur un modèle de détection **FCOS** quantifié en **uint8** :

- Mono image : backbone custom, utilisation de **convolutions 2D** → 4,8 Millions de paramètres
- Séquence de 5 images : backbone custom, utilisation de **convolutions 3D simplifiées** → 14 millions de paramètres



Architecture du FCOS



Simplification des convolutions 3D



DNN

Métriques et données d'entraînement

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$F1 - Score = \frac{2 \times Recall \times Precision}{Recall + Precision}$$

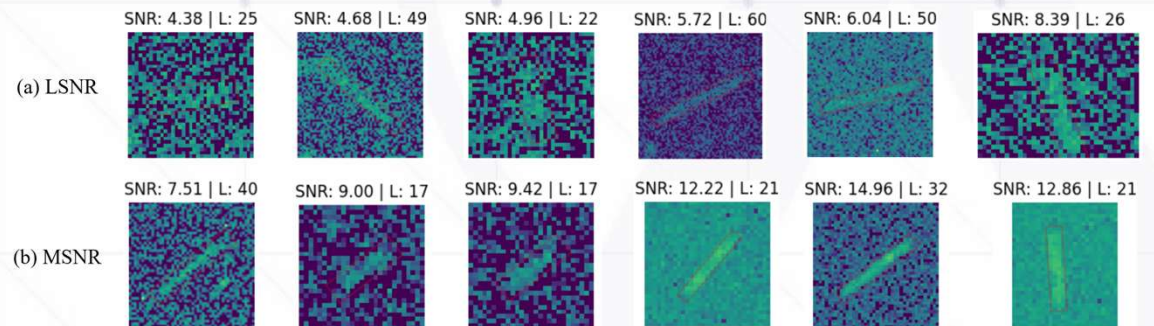
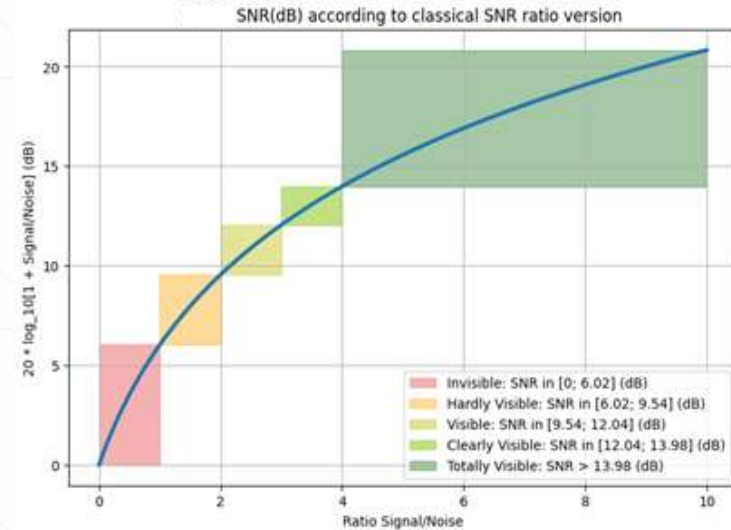
S = Moyenne du signal sur l'objet – Moyenne du fond

N = Ecart type du bruit autour de l'objet (voisinage)

$$SNR (dB) = 20 \log_{10} \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

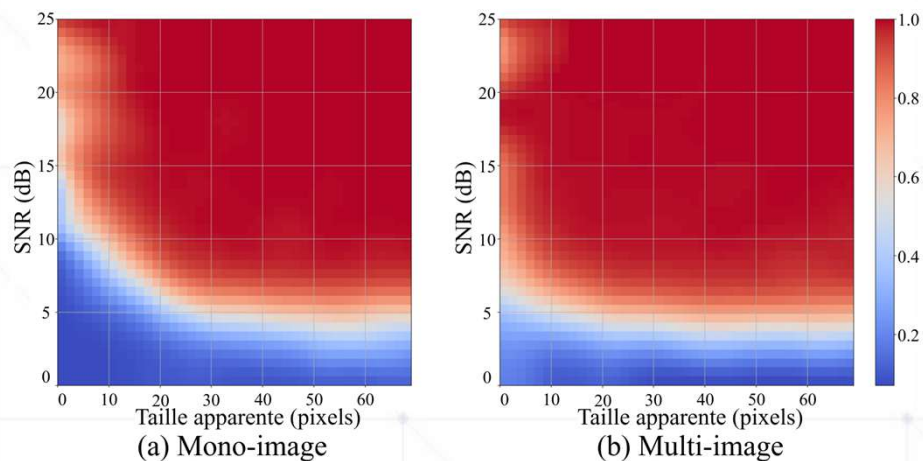
Jeux de données d'entraînement

- **LSNR** : 6 dB de SNR moyen
- **MSNR** : 12 dB de SNR moyen



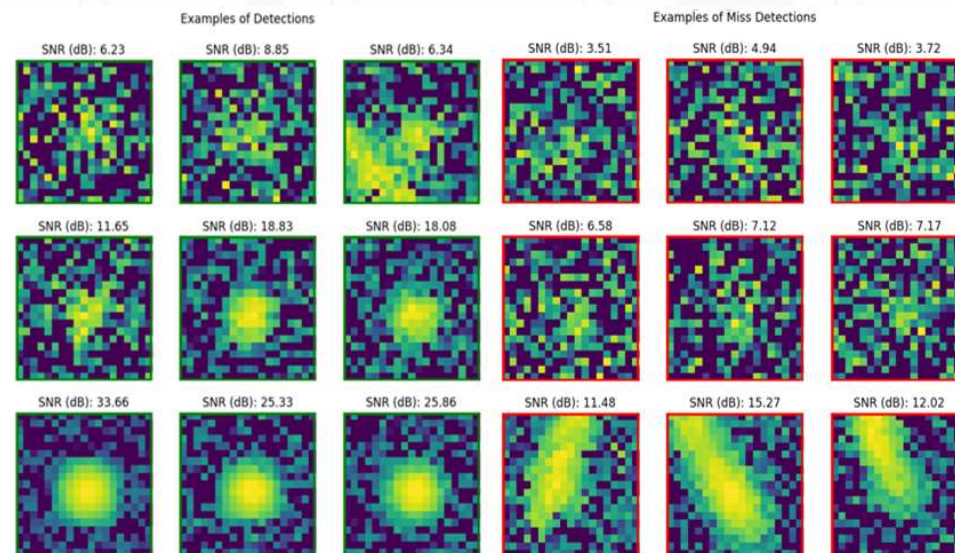
DNN Résultats

SNR	F1 Mono-image	F1 Multi-image
LSNR	52%	63%
LSNR + MSNR	71%	81%
MSNR	86%	95%



Rappel selon le SNR et la longueur apparente des RSO

Gain significatif en multi-images sur les petits objets ou de faible SNR → séquences d'images renforcent le signal utile





FPGA

Performances embarquées sur FPGA

Utilisation de **FPGA** pour
l'implémentation à bord de satellites :

- Consommation plus faible
- Résistance aux radiations



SNR	Résolution	Débit
mono image	512 x 512	71 fps
Séquence 5 images	512 x 512	100 fps
Séquence 5 images	4k x 4k	1,5 fps

Débit sur FPGA selon les scénarios



Limites

- Entraînement sur données **synthétiques uniquement** → La généralisation sur données réelles à valider
- Performances LSNR encore perfectibles (F1 = 63% en multi-image)



Conclusion

Les **DNN** sont très pertinents pour la détection de RSO

L'utilisation de **séquences temporelles** d'images apporte un gain significatif

Faisabilité démontrée sur SoC FPGA

Perspectives :

- Optimisation du débit sur FPGA
- Amélioration des performances du modèle, particulièrement pour les objets peu lumineux
- Validation sur des données réelles



AGENIUM
SPACE

Pierre-Jean Coquard

**1, avenue de l'Europe
31400 TOULOUSE
FRANCE**

t : +33 (0)5 61 41 03 98

m : +33 (0)6 22 59 55 43

@ : christine.fernandez-martin@agenium.com

pierre-jean.coquard@agenium.com
