

NOUVELLES PERSPECTIVES POUR LES TRAITEMENTS EMBARQUÉS SUR SATELLITES

ATELIER EXPÉRIMENTATION ET INSTRUMENTATION 2022

29/06/2022

Montpellier

Clément COGGIOLA & Julien GALIZZI



AEI 2022
MONTPELLIER



SOMMAIRE

EVOLUTION DU HARDWARE

TRAITEMENTS BORD

EXEMPLES

ET APRÈS ?

Palavas-les-Flots
France

Pléiades - 3 octobre 2018

© CNES 2018, distribution Airbus DS





EVOLUTION DU HARDWARE

ET DONC DES POSSIBILITÉS

Evolution des composants...

FPGA/SoC	Durcis en radiations		COTS non-durcis	
	Composant	Cellules logiques	Composant	Cellules logiques
Début 2000	<i>Actel RH1280</i>	3k - 10k	<i>Xilinx Virtex II</i>	512 – 100k
Aujourd'hui	<i>NanoXplore NG-Ultra</i>	x50 ~500k	<i>Xilinx ACAP Versal (VE/VC)</i>	x20 44k - 1968k

Le NG-Ultra est un System-on-Chip CPU + FPGA.

Le Versal est un Network-on-Chip CPU + FPGA + accélérateurs spécifiques (AI Engines).



CPU/SoC	Durcis en radiations		COTS non-durcis	
	Composant	Fréquence max.	Composant	Fréquence max.
Début 2000	<i>Atmel ERC32</i>	1 * 20 MHz	<i>NXP 80C51</i>	1 * 30 MHz
Aujourd'hui	<i>NanoXplore NG-Ultra (ARM)</i>	x120 4 * 600 MHz	<i>Xilinx ACAP Versal (ARM)</i>	x160 2 * 1,72 GHz 2 * 750 MHz

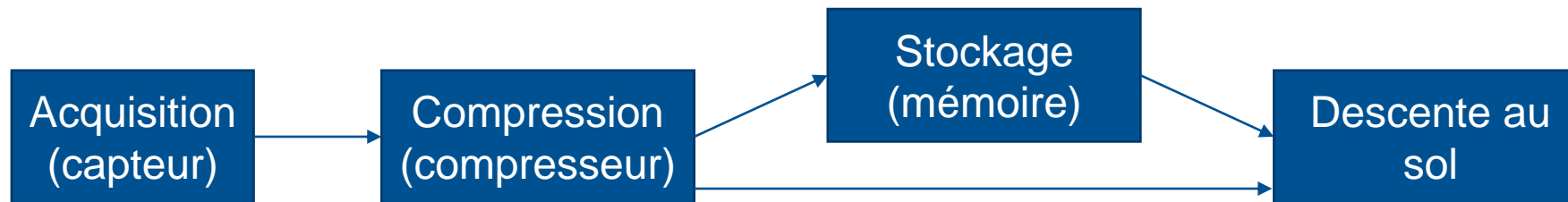
Ici on ne compare que des composants que l'on utilise/utilisait.

... évolution des possibilités !

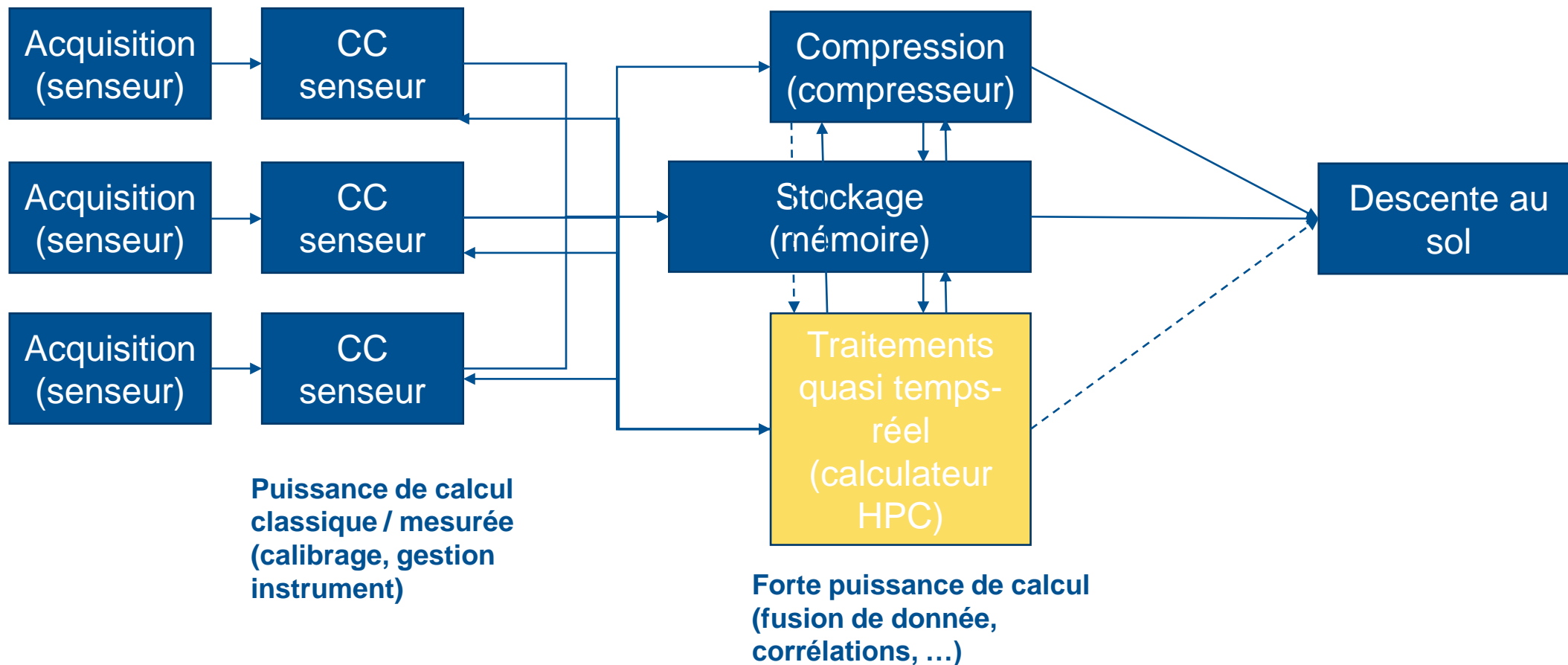
- Verrous technologiques
 - Conso / Dissipation thermique des composants de traitement
 - Ressources disponibles (mémoire, unités logiques, ...)
- Adoption des composants COTS
 - ⇒ Capacité de traitement ++
 - ⇒ + de possibilités de traitements à bord
- Equipements permettant des traitements en temps différé
 - Nouveaux paradigmes de gestion bord des données
- Nouveaux traitements bord possibles
- Composants hétérogènes
 - Accélérateurs matériels spécifiques



Chaîne de traitement bord « classique »



Future chaîne de traitement bord





TRAITEMENTS BORD

PANORAMA ET OUTILS

Des traitements nouveaux et/ou plus complexes

Historiquement

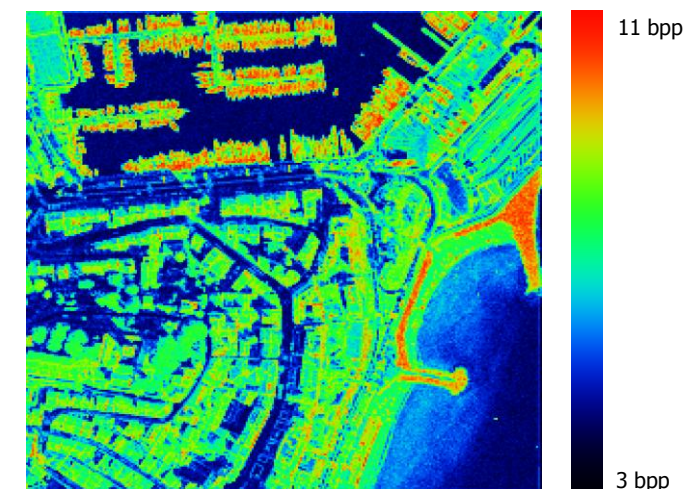
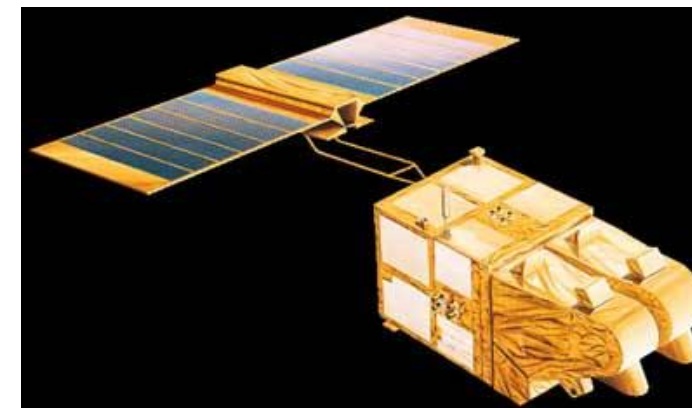
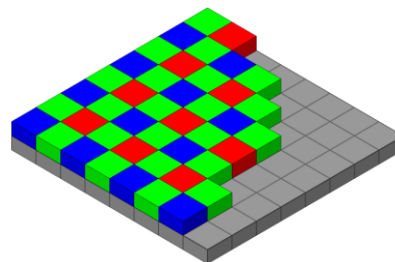
- Compression d'images : traitement bord indispensable

Aujourd'hui

- Compression de données toujours essentielle
 - Algorithmes plus complexes (par exemple *CCSDS 123.0-b-2 hyper spectral*, compression à qualité fixe*, voire compression par Deep Learning)
 - Compression sélective
 - Données variées (images, spectrogrammes, télémétrie, ...)
- Et de nombreuses autres possibilités
 - IA embarquée, corrélation, optique active, recalage/sommation d'images

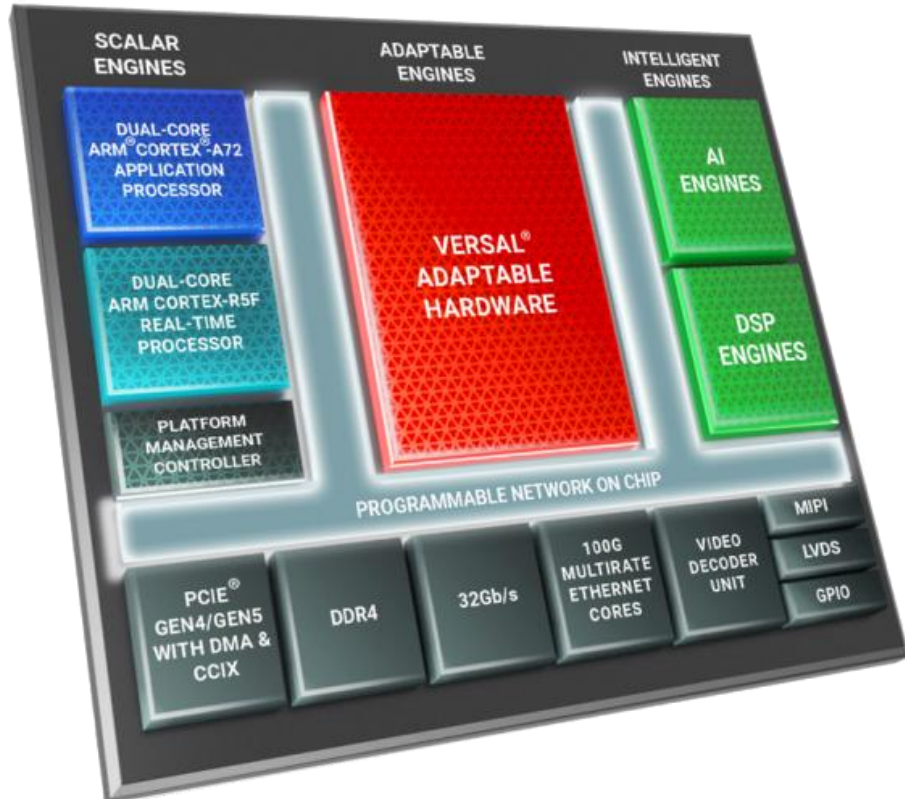
Objectif

Réduire le volume de données à descendre au sol et/ou gagner en autonomie et réactivité du système.



*brevet CNES

En pratique



Optimisation des traitements

- En adéquation avec la cible matérielle
- Le plus tôt dans le développement algorithmique, le mieux

Outils de co-design HW/SW

- Faciliter les portages sur cibles hétérogènes
- Tirer partie des atouts HW et SW
- Explorer plus facilement plusieurs architectures de traitement

Outils spécifiques

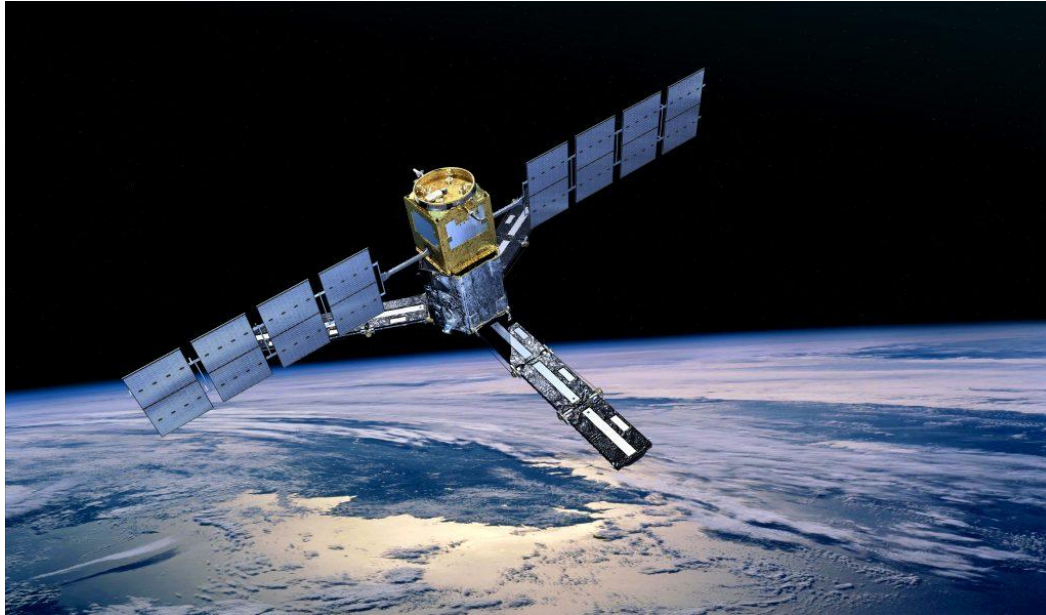
- Portage de réseaux de neurones profonds par exemple



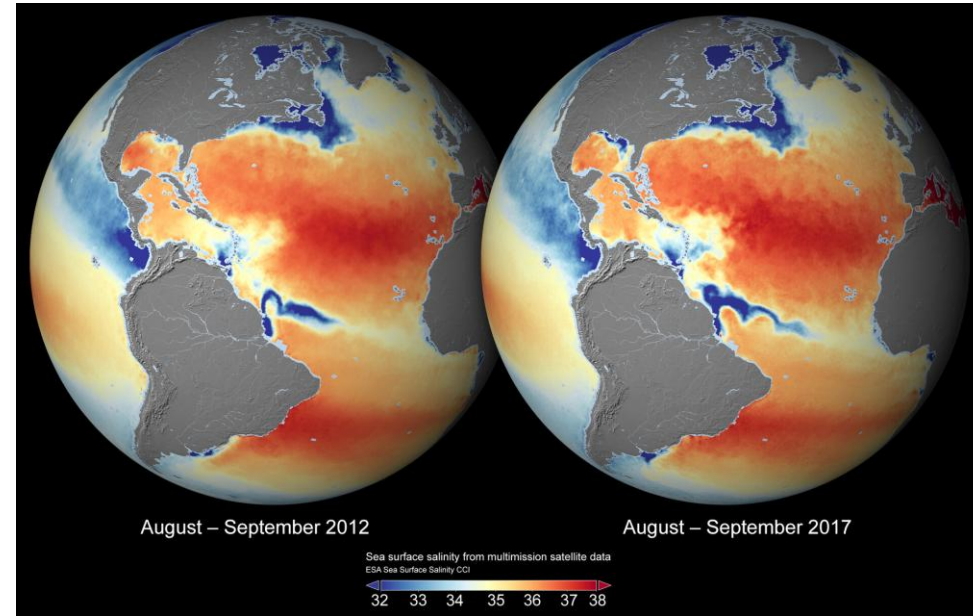
QUELQUES EXEMPLES

NOUVEAUX TRAITEMENTS BORD

SMOS-HR



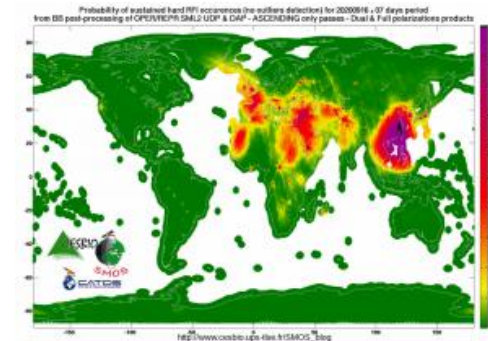
SMOS (2009)



© ESA Sea Surface Salinity CCI

Soil Moisture & Ocean Salinity

- Radiomètre interférométrique en bande L
 - 171 récepteurs, double polarisation
 - Corrélation de tous ces signaux à bord
 - Filtrage des interférences (<https://labo.obs-mip.fr/smos-blog/a-gigantic-rfi-source-in-china-is-still-on-and-doing-lots-of-damage/>)
- ⇒ besoin de **plusieurs composants nouvelle génération.**



Carte de probabilité de RFI
du 09/09/2020 au 24/09/2020

Deep Learning

- **Inférence** uniquement
- **Simplification** du traitement en amont de l'implémentation
 - Meilleure efficacité de traitement par Watt
 - Simplification/optimisation des algorithmes avec maintien de la performance
 - Prise en compte de l'architecture matérielle dans la conception des traitements

- **Outils de synthèse** haut niveau

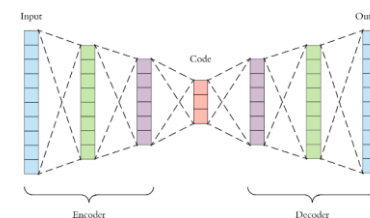
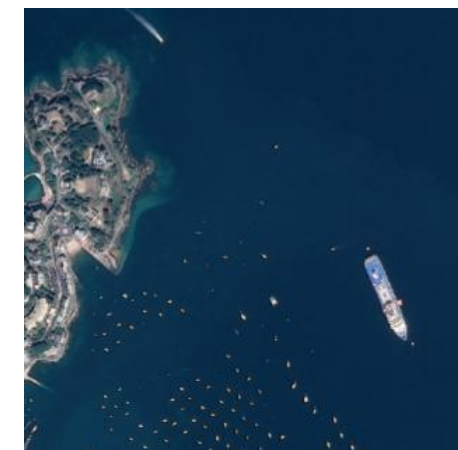


- **Démonstration en vol** (projet observation de la Terre haute résolution)

- Traitement d'images
- Démonstration du modèle algo fourni par un client

- **Thèses**

- Compression par Deep Learning
- Réseaux de neurones fortement quantifiés (binaires ?)



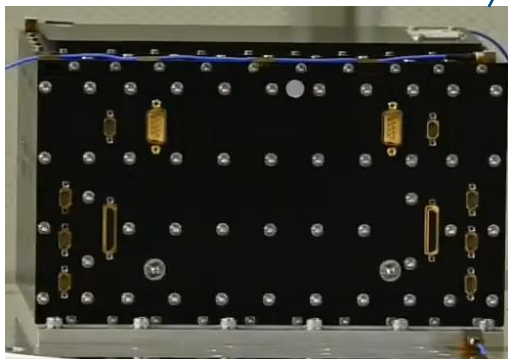
SVOM (crédits : <https://www.svom.eu/>)



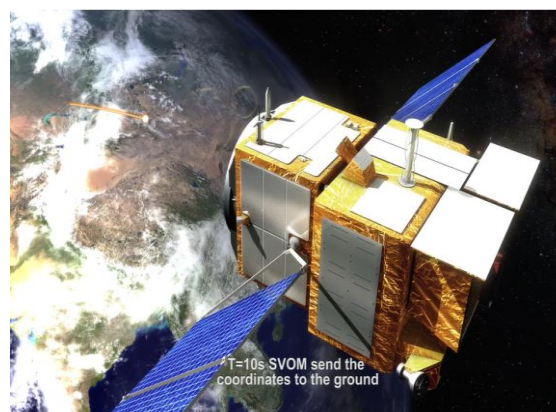
Acquisition de photons



2 algos triggers logiciels qui analysent à bord en temps quasi-temps réel les photons reçus pour détecter les GRB

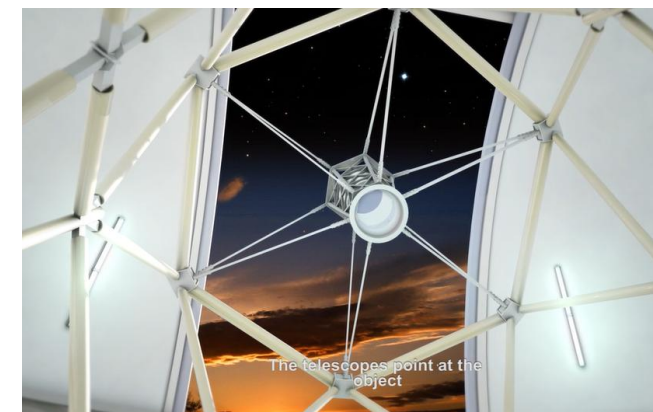


1 dual core @ 80MHz pour héberger les 2 triggers et un logiciel commande-contrôle complexe et résilient.



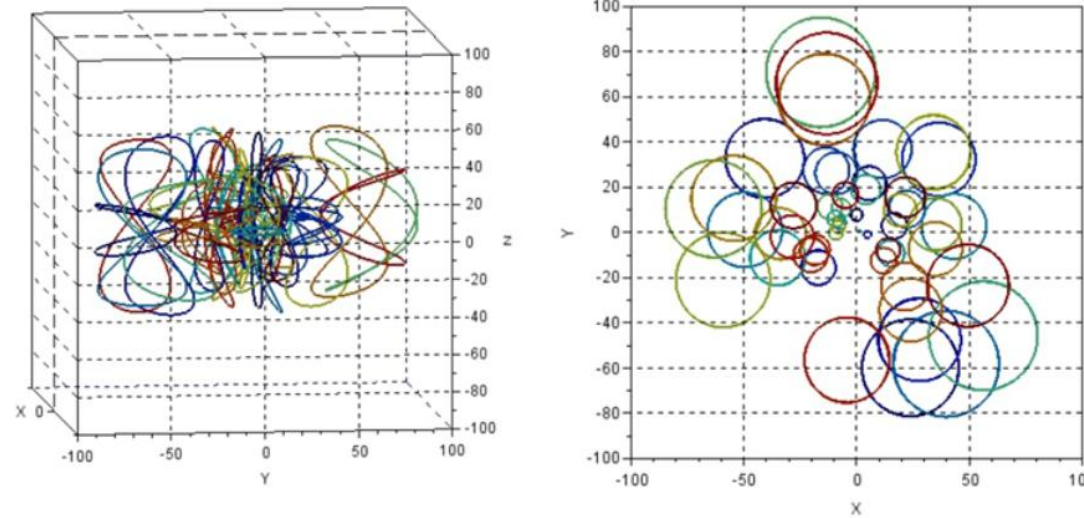
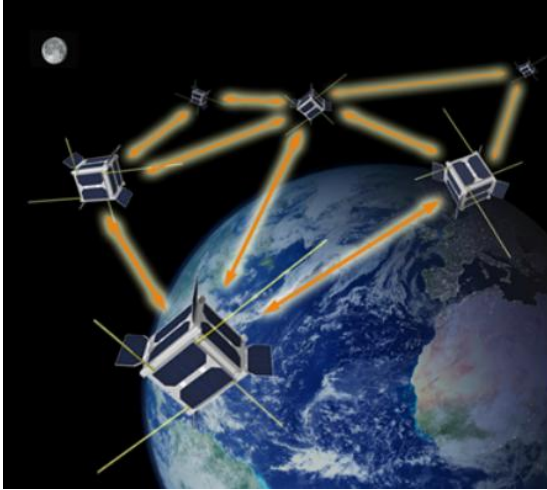
Envoi d'alertes au segment sol via :

- VHF pour visibilité sol quasi-permanente
- Bande-X pour descendre en différé à haut débit les données brutes



Activation des télescopes sol pour suivre le phénomène avec une faible latence

ESSAIMS



NOIRE: interféromètre radio distribué en orbite lunaire

Challenges et opportunités :

- Infrastructure réseau inter satellite (vs paramètres orbitaux)
- Traitements coopératifs
- Traitements distribués
- Fusion de données
- Résilience
- Autonomie d'opération (le sol s'adresse à l'essaim et plus forcément à un calculateur)
- Reconfigurations autonomes

=> **Projet Exploratoire CNES pour monter en maturité sur ces thématiques à bord.**

4

ET APRÈS ?
VERS OÙ ALLONS NOUS ?

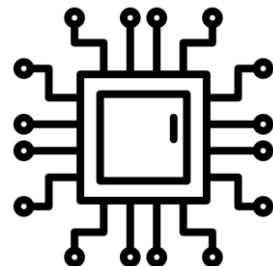
Conclusion

- De nombreux challenges s'ouvrent pour tirer parti de l'explosion de la puissance de calcul disponible à bord.
- Les prochains HW seront très puissants, mais aussi très complexes.
- Thèse démarrée en octobre 2021 pour capturer les besoins en nouveaux algos à bord, identifier et évaluer les implémentations candidates au vol (critères perfos, qualité, export, ...) sur les prochains HW candidats (multicoeurs avec gros FPGA et accélérateurs matériels)
- => On ne pourra pas progresser vite en réinventant la roue. Il faut nous inspirer de l'existant au sol (open source, écosystème Linux, ...) et identifier en avance de phase pour les labos spatiaux les implémentations les plus pertinentes.

Challenges

Augmentation :

- De la complexité des HW
- De la complexité des outils
- De la diversité des applicatifs / traitements
- Du volume des traitements



Mais :

- Augmentation des effectifs pour ces développements ?
 - Augmentation des budgets ?
- => Comment faire ?



Le CNES est en terrain neutre au service des labos qui font les missions spatiales. Nous sommes ouverts à vous aider à anticiper ces nouveaux besoins et ainsi faire au mieux les prochaines missions !



MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

Service électronique numérique et traitements bord

Clément COGGIOLA - clement.coggiola@cnes.fr

Mickaël BRUNO - mickael.bruno@cnes.fr

Service logiciel de vol

Julien GALIZZI - julien.galizzi@cnes.fr

