



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



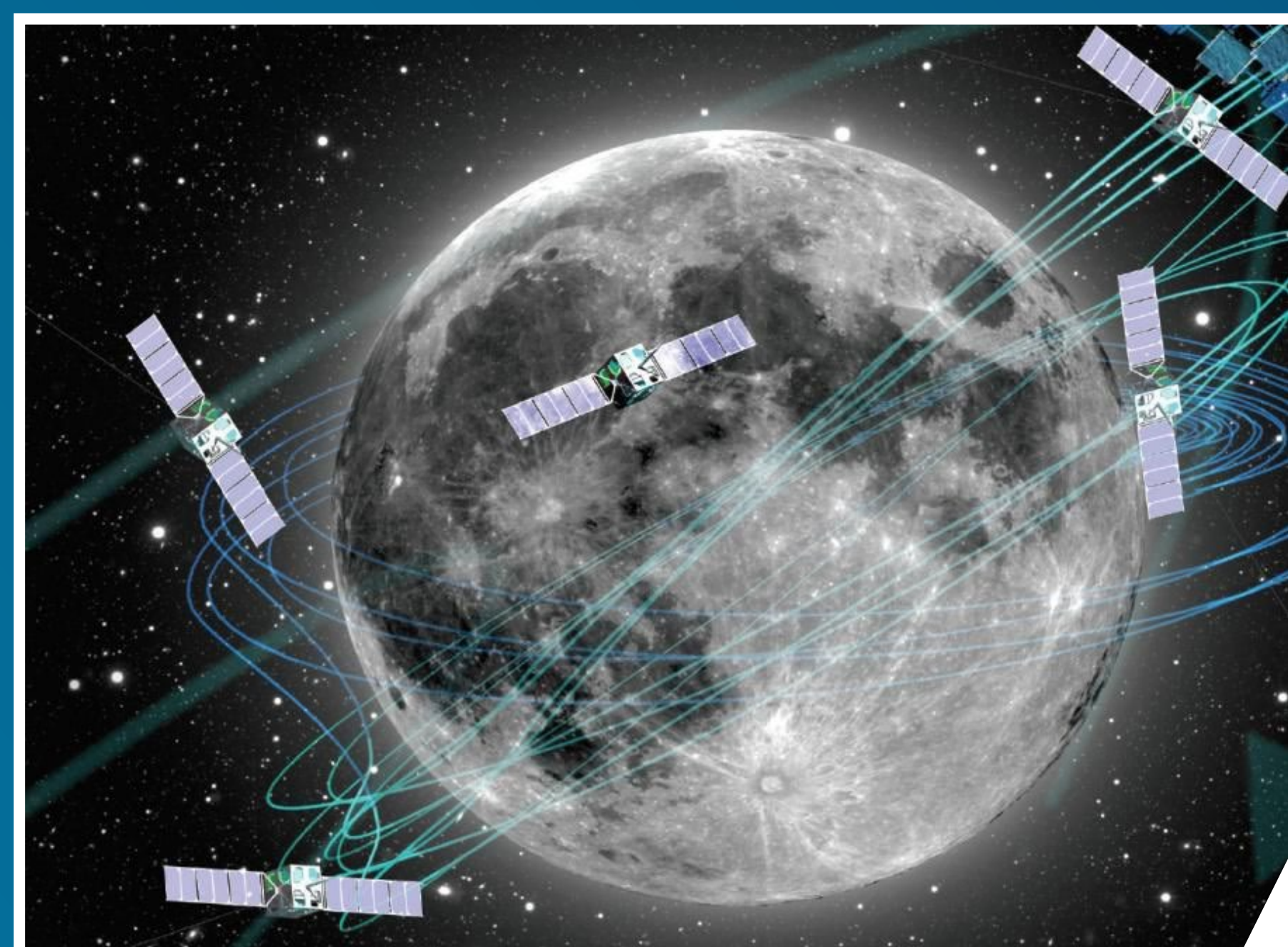
CONTEXTE

Un essaim de satellites est un moyen de réaliser un instrument distribué de très grandes dimensions. La mise en cohérence des données récoltées individuellement par chaque satellite nécessite une bonne connaissance de la géométrie de l'essaim ainsi qu'un bon niveau de synchronisation.

En l'absence de moyens externes pour localiser/synchroniser chaque satellite de l'essaim (lorsque celui-ci est loin de l'environnement terrestre, comme pour le projet **NOIRE**, en orbite autour de la Lune), comment réaliser cette opération ?

L'utilisation de **liens inter-satellites** permet d'estimer les distances entre les satellites ainsi que l'écart entre leurs horloges.

Plusieurs initiatives sont en cours au CNES, dont le projet exploratoire **SWARM.NET** qui vise à développer les moyens de simulation des futures mission à base d'essaims de satellites.



OLFAR (Orbiting Low Frequency ARray)
Crédits: Université de Delft

3 R&T
2 thèses
2 apprentis
3 études métier

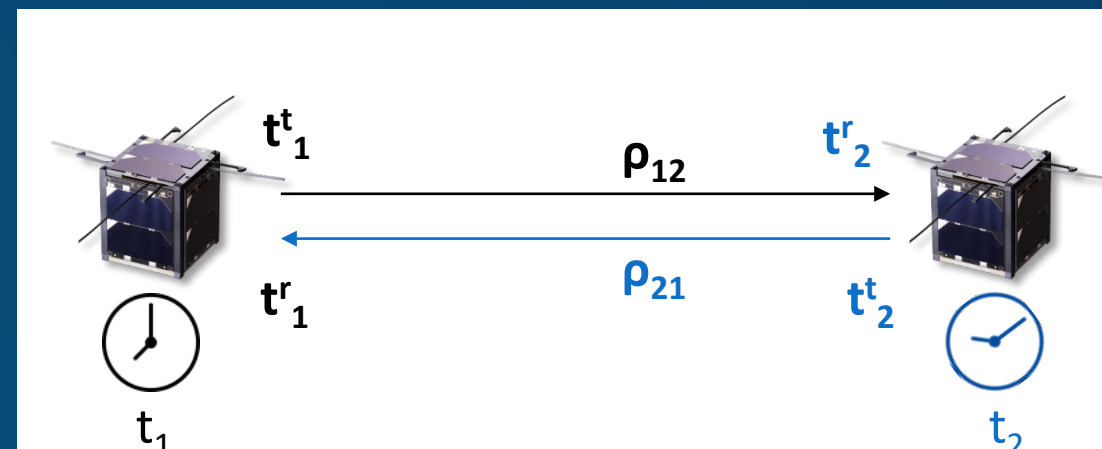
LOCALISATION ET SYNCHRONISATION DANS UN ESSAIM DE SATELLITES



LIENS INTER SATELLITES

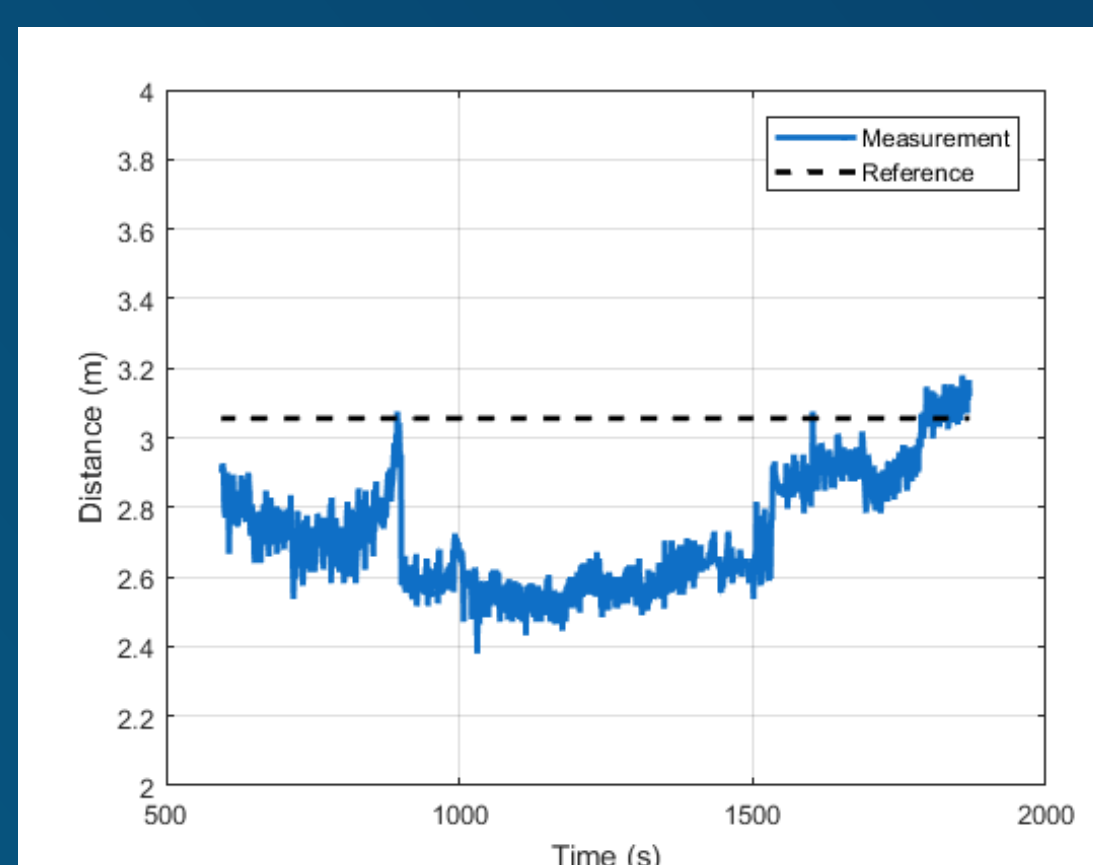
Développer les capacités ISL adaptées aux futurs essaims

- Equipements RF
- Capacité de ranging et synchronisation
- Méthodes d'accès et communication « de tous vers tous »



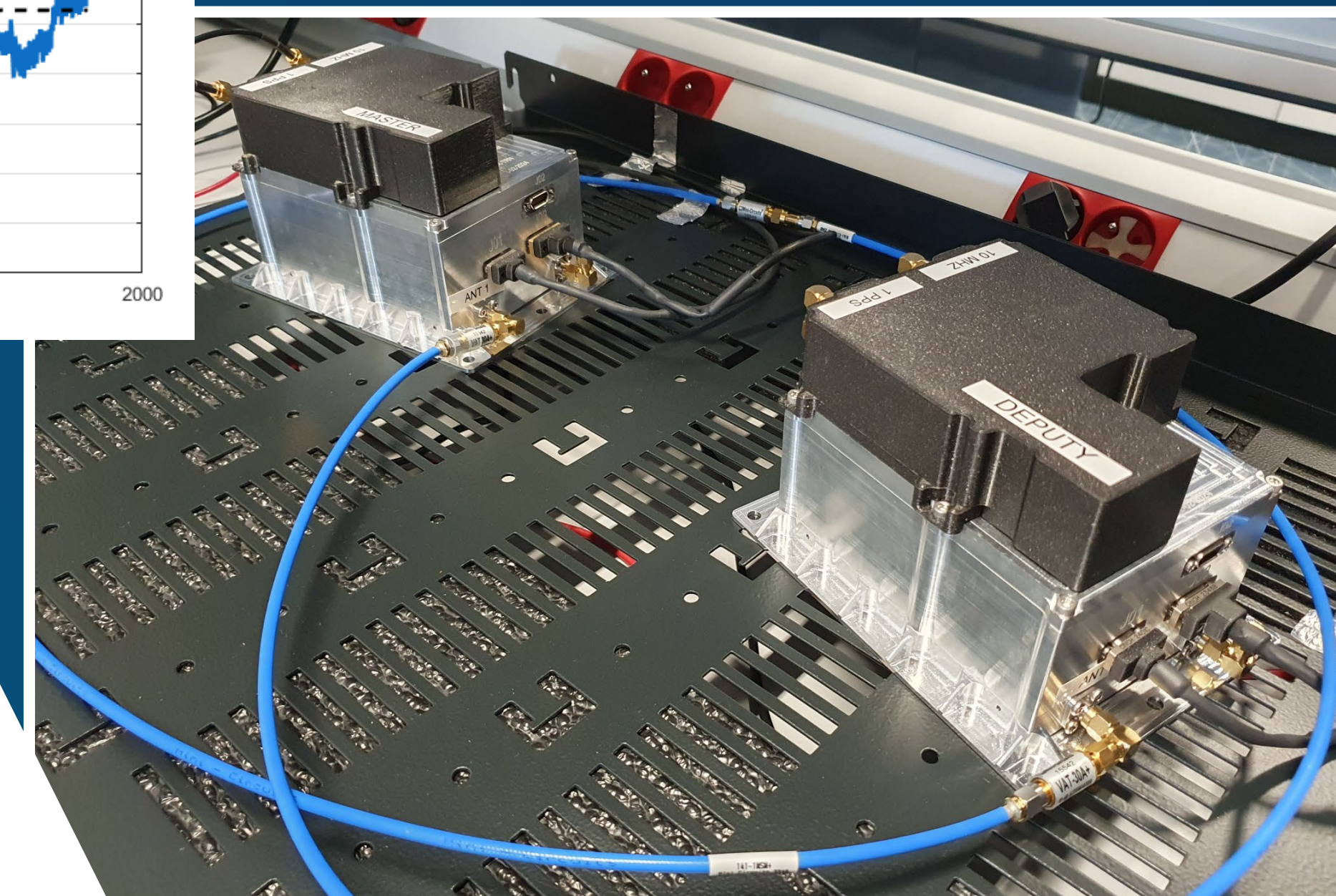
$$d_{12} = \frac{\rho_{12} + \rho_{21}}{2} \rightarrow \text{estimation de la distance}$$

$$b_{12}^t = \frac{\rho_{12} - \rho_{21}}{2 \cdot c} \rightarrow \text{estimation de l'écart d'horloge}$$



Exemple de mesure de ranging

EM équipements ISL
Gamalink (Tekever)

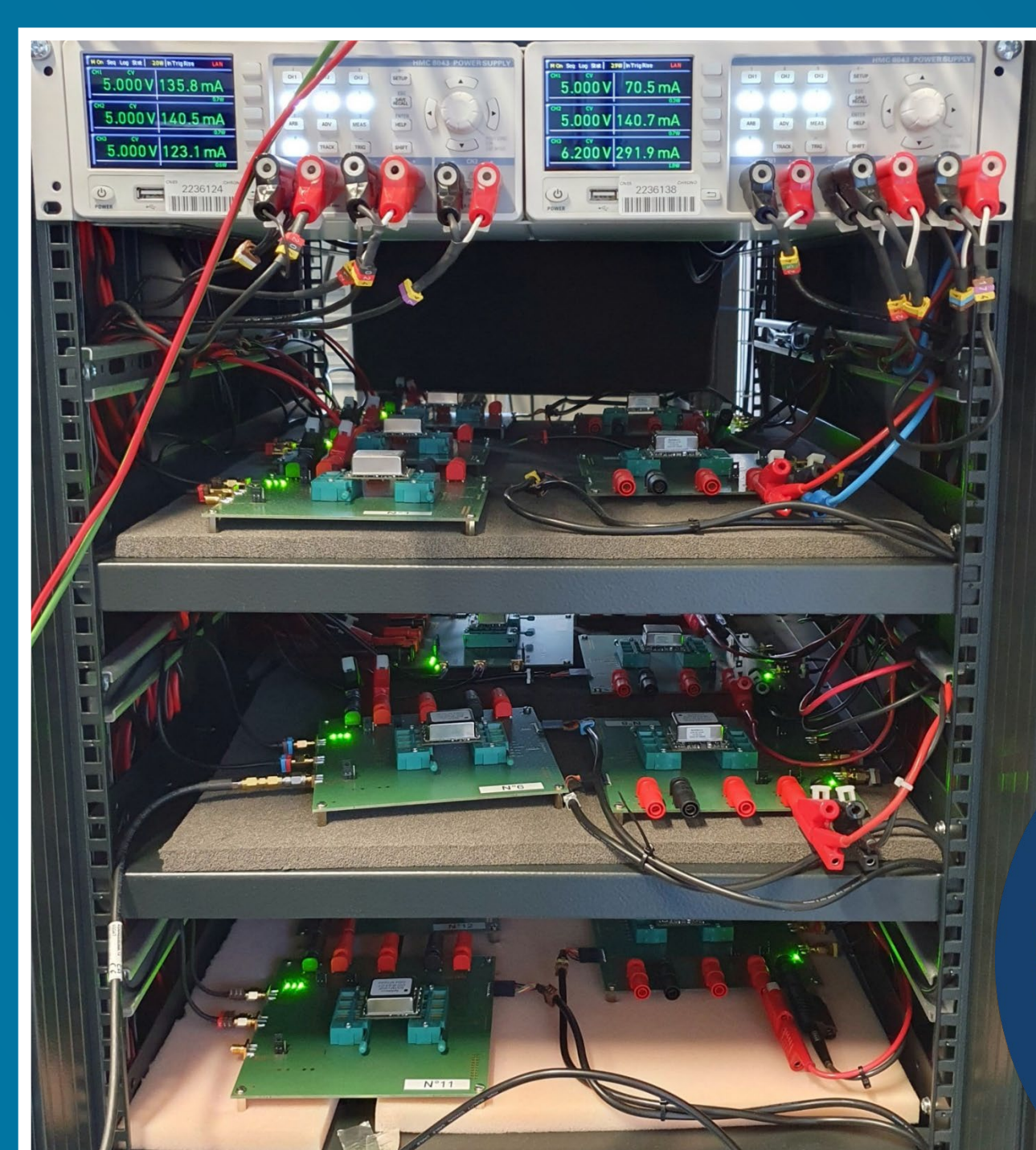


Equipe DTN/TPI: Yoan GREGOIRE, David VALAT, Léo SOL
Hervé GUILLON, Nicolas VOROBYEV,
Alexane RAMAYE, Jérôme DELPORTE

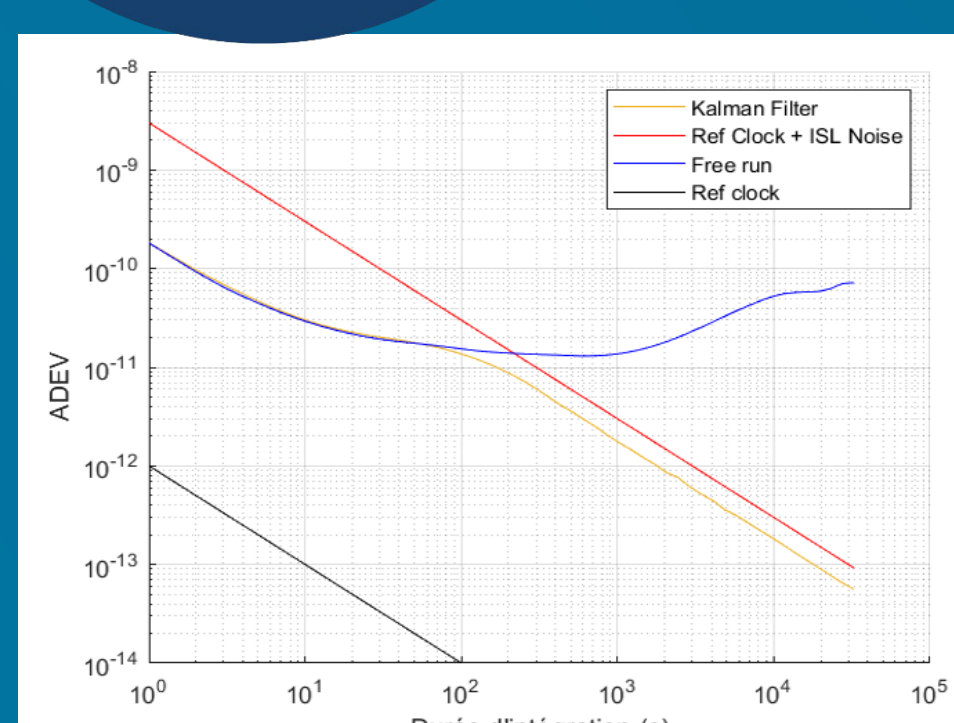
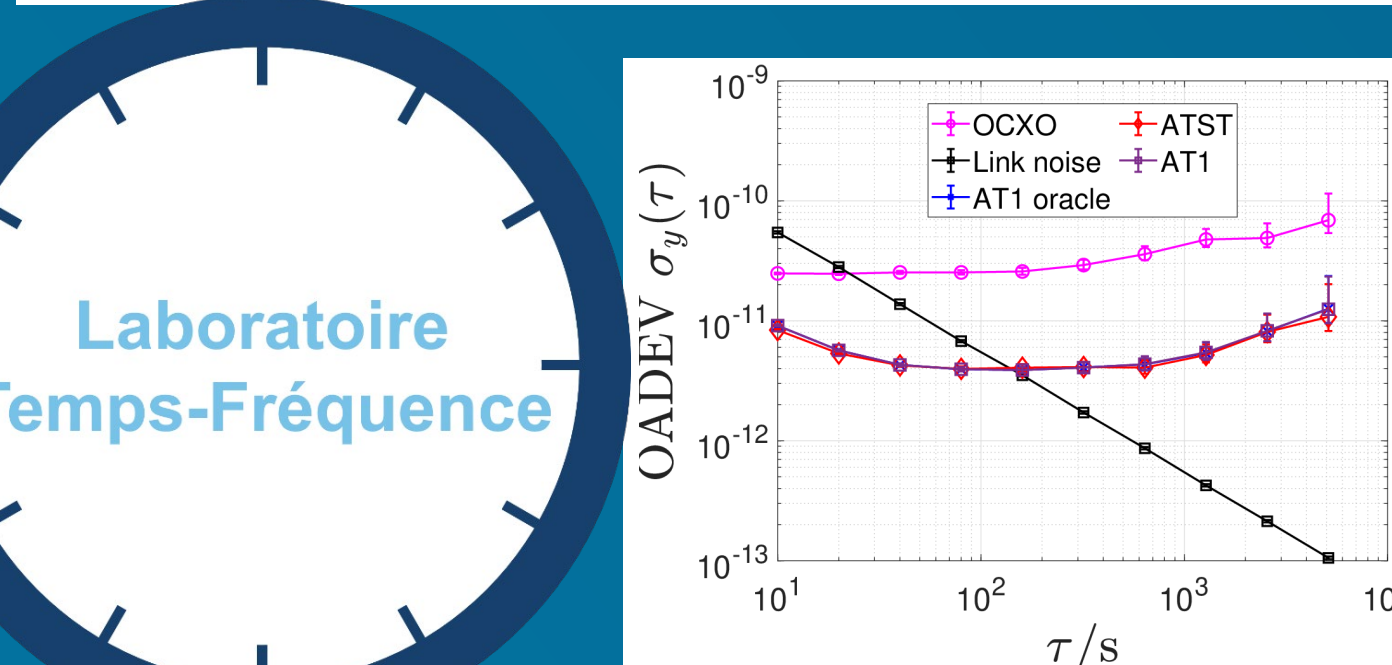
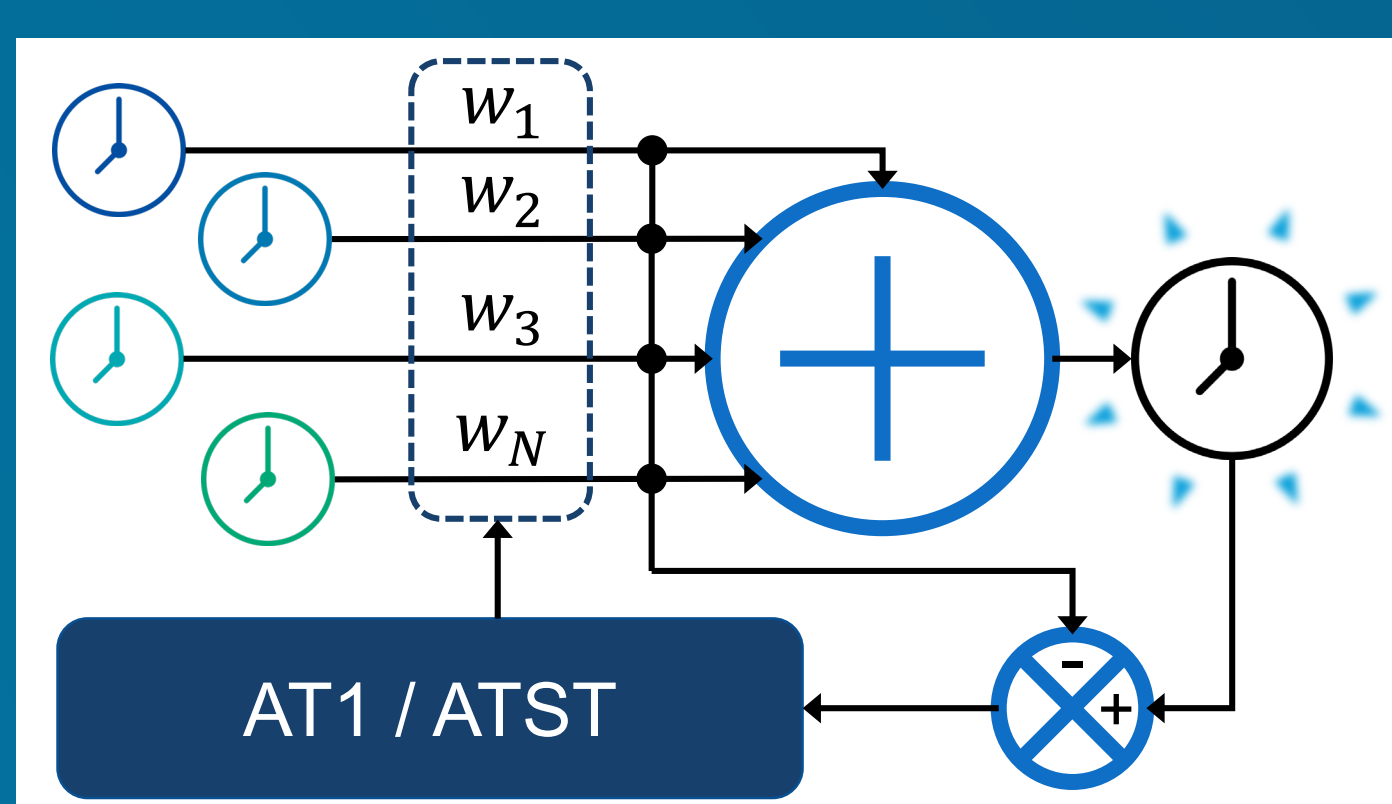
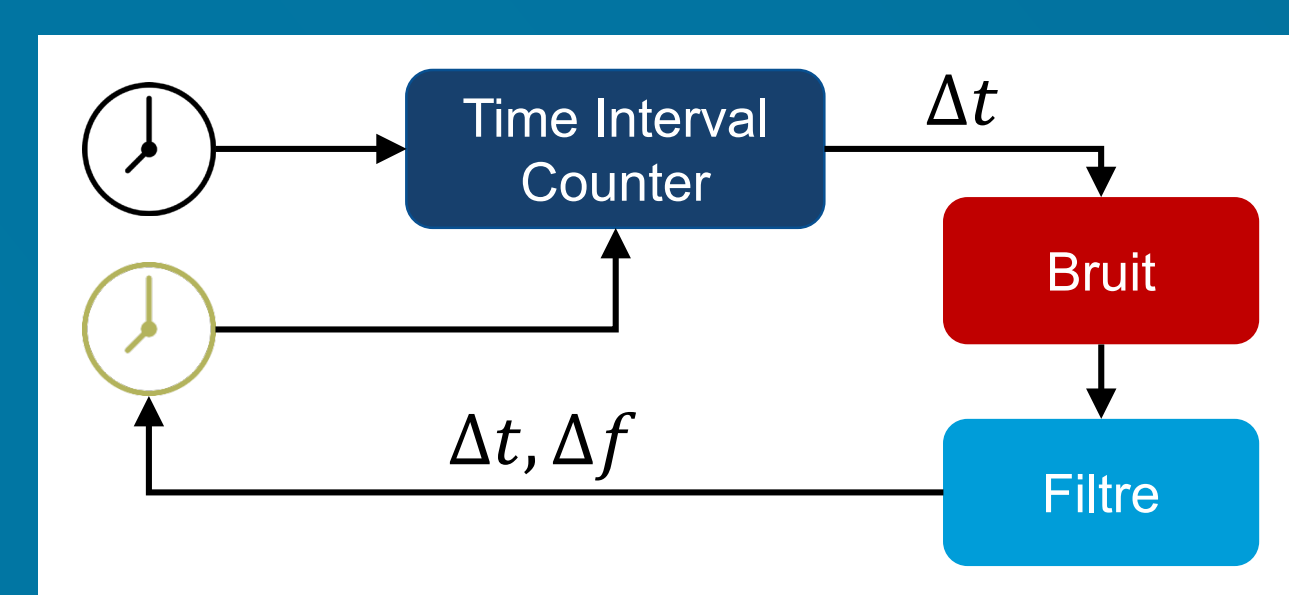
SYNCHRONISATION ECHELLE DE TEMPS AUTONOME

Simulation et banc de synchronisation, expérimentations en temps réel

- Méthodes d'asservissement
- Modes de collecte des écarts d'horloges
- Echelle de temps autonome et robuste aux anomalies



Banc de synchronisation



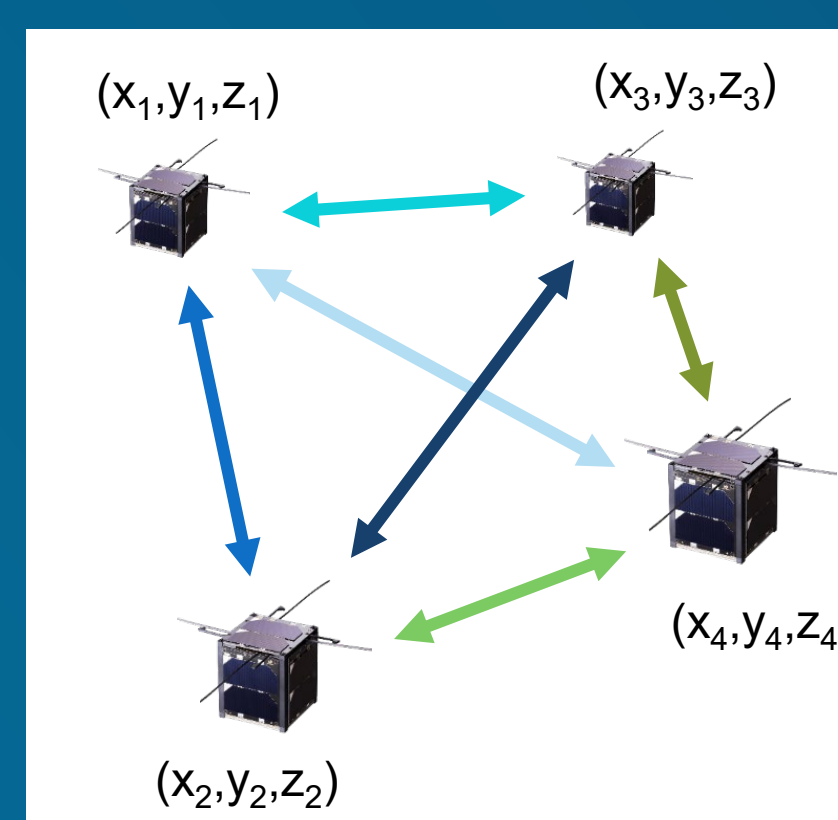
Auteur:
Hamish McPhee

Auteurs:
- Léo SOL
- David VALAT

LOCALISATION

Développer les techniques de localisation à base de mesures ISL

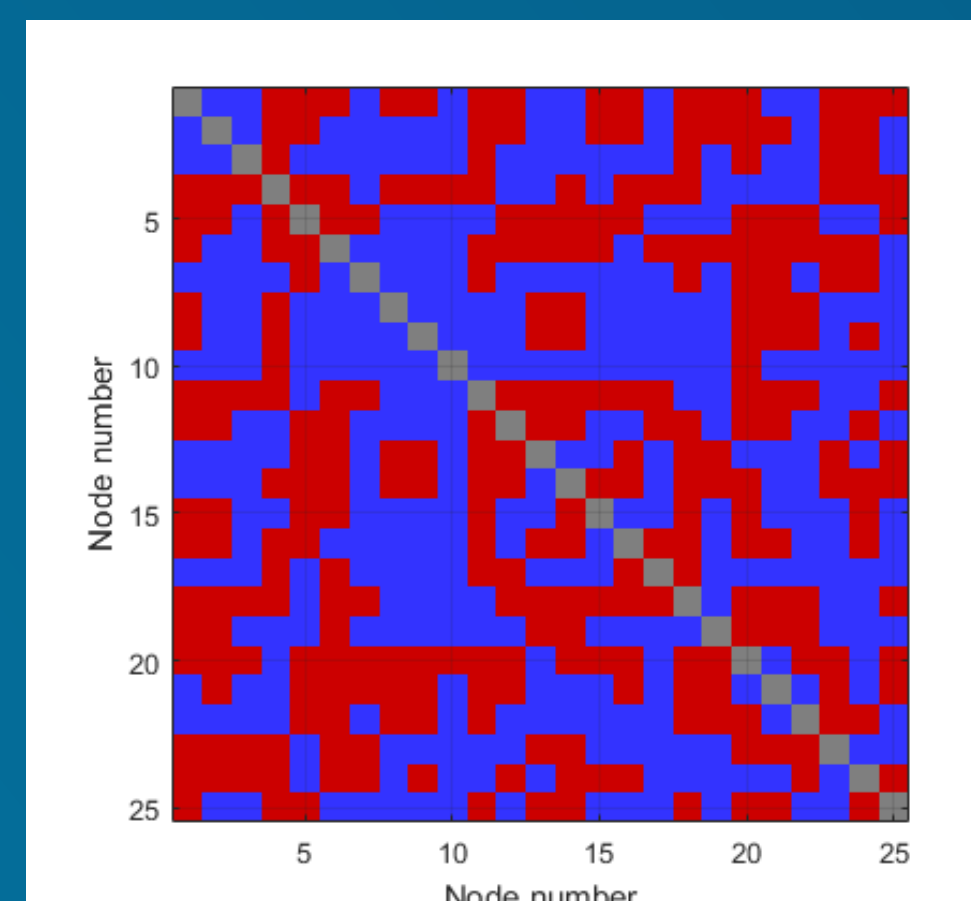
- Déterminer la géométrie de l'essaim à partir des mesures de distances
- Gestion des mesures manquantes
- Prise en compte de la dynamique de l'essaim



$$D = \begin{bmatrix} 0 & \text{blue} & \text{cyan} & \text{light blue} \\ \text{blue} & 0 & \text{dark blue} & \text{green} \\ \text{cyan} & \text{dark blue} & 0 & \text{dark green} \\ \text{light blue} & \text{green} & \text{dark green} & 0 \end{bmatrix}$$

Euclidean
Distance
Matrix

$$D(X) = \mathbf{1} \cdot \text{diag}(X^T \cdot X)^T - 2 \cdot X^T \cdot X + \text{diag}(X^T \cdot X) \cdot \mathbf{1}^T$$



EDM associée à l'essaim ci-contre:

- blue: inter-distance disponible
- red: inter-distance manquante
- grey: $d_{i,i} = 0$

