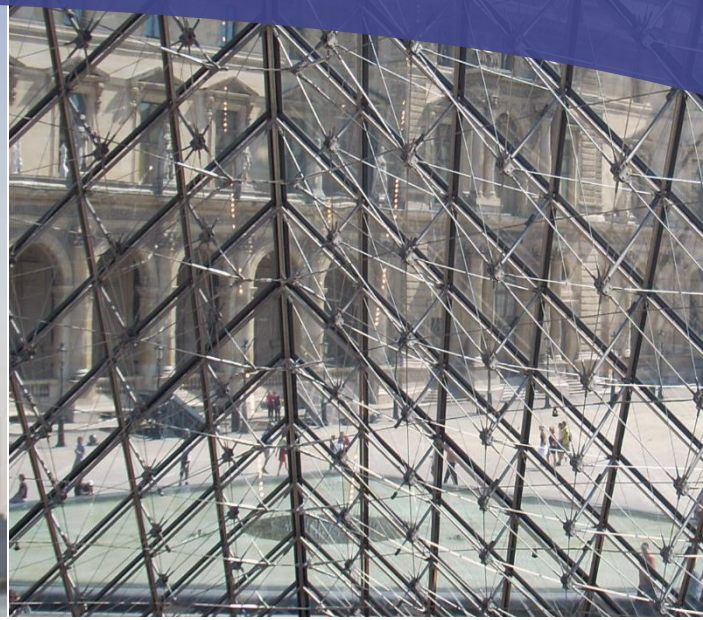
Nicolas MANZINI

Réseaux de capteurs GNSS pour le suivi de santé structurale

2ème journée SHM-France
14 mars 2019



Sites
VEILLE SUR VOS STRUCTURES

Sommaire

I. Contexte des travaux

II. Définition & principes des GNSS

III. Les GNSS dans le SHM

IV. Un cas d'étude

V. Enjeux & Perspectives

I. Contexte des travaux

Sites
VEILLE SUR VOS STRUCTURES

Surveillance de santé structurale des ouvrages d'art incluant les systèmes de positionnement par satellites

Thèse de doctorat débutée en 2017 à l'Université Paris Est.

Direction : André Orcesi (Ifsttar) & Christian Thom (IGN)

Encadrement: Marc-Antoine Brossault (Sites), Miguel Ortiz (Ifsttar) & Serge Botton (IGN)

Cadre de la thèse : une collaboration CIFRE entre SITES et deux laboratoires : l'IFSTTAR et l'IGN.

Sites + IFSTTAR + IGN

Objectif : mettre en commun des compétences variées et complémentaires pour ce travail de recherche.

SITES	IFSTTAR & IGN	Ecole Doctorale	ANRT
• +30ans d'expertise en suivi d'ouvrages • Encadrement professionnel	• Expertise scientifique • Encadrement scientifique	• Formation doctorale • Diplôme • Suivi de la thèse	• Attribution d'une bourse • Suivi de la thèse

II. Définition et principes des GNSS

Sites
VEILLE SUR VOS STRUCTURES

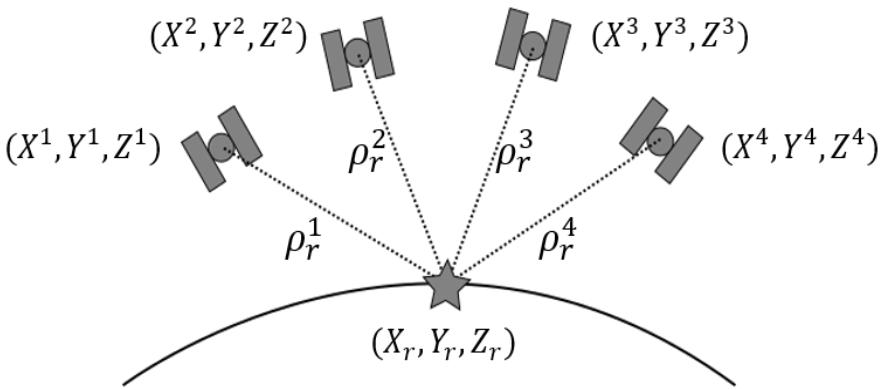
GNSS : Global Navigation Satellite System
= GPS + GLONASS + GALILEO + BEIDOU

Les satellites GNSS orbitant autour de la Terre diffusent en permanence un code pseudo-aléatoire, avec des informations sur leurs positions et leurs horloges.

Un récepteur R décode les signaux reçus, et grâce au temps de trajet, estime une pseudo-distance ρ avec chaque satellite S.

Avec au moins 4 satellites en vue, il est possible de calculer une position à la surface du globe.

$$\rho_r^s = \sqrt{(X_r - X^s)^2 + (Y_r - Y^s)^2 + (Z_r - Z^s)^2} + \varepsilon$$



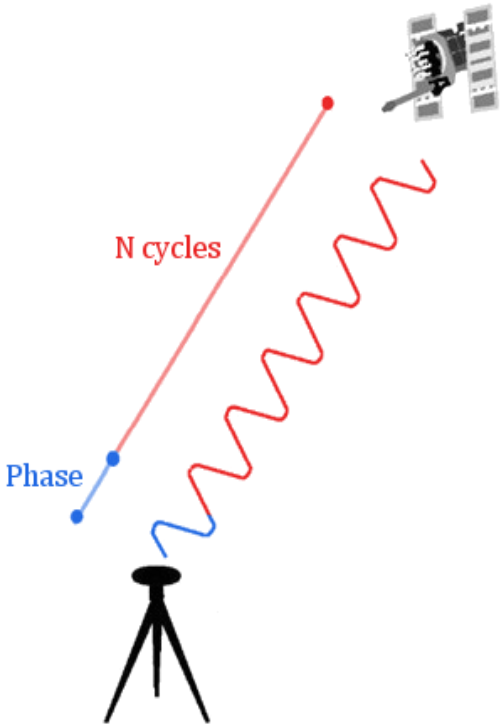
Cette approche est la méthode traditionnelle, et la plus simple, du positionnement par satellites. Elle est utilisée par votre téléphone, votre voiture, et fournit une précision à quelques mètres.

→ ***Clairement insuffisant pour du génie civil !***

On peut considérablement améliorer la précision, à l'aide d'un calcul directement sur la phase des signaux GNSS.

Erreurs à éliminer : décalages d'horloges + effets météo + multi-trajets + bruit…

On utilise le GNSS relatif, qui consiste à ajouter à notre système une station immobile de position connue.



→ ***On peut obtenir une précision infra-centimétrique***

III. Les GNSS dans le SHM

Sites
VEILLE SUR VOS STRUCTURES

On peut diviser les 25 dernières années en trois périodes :

Avant 2000: Les premières expérimentations

- *Le GPS est une approche exotique, utilisé sur de courtes sessions ;*
- *Besoin de déplacements importants, et lents.*

2000-2010 : Amélioration continue des performances

- *Le GPS mono-fréquence a évolué en GNSS multi-fréquences ;*
- *Matériel avec des performances croissantes (traitement, précision, échantillonnage, temps réel) et méthodes de calcul ;*
- *Expérimentations sur site et en laboratoire.*

Depuis 2010 : Intérêt nouveau pour les solutions low-cost

- *Evaluation de récepteurs mono-fréquence, GPS seul ;*
- *Utilisation de petites antennes;*
- *Applications encourageantes dans le domaine du suivi de déformation des sols, des glaciers, volcans…*

On se questionne donc sur le potentiel de ces GNSS “low-cost” pour faire du SHM.

IV. Un cas d’étude

Sites
VEILLE SUR VOS STRUCTURES

Le capteur utilisé : Le Géocube

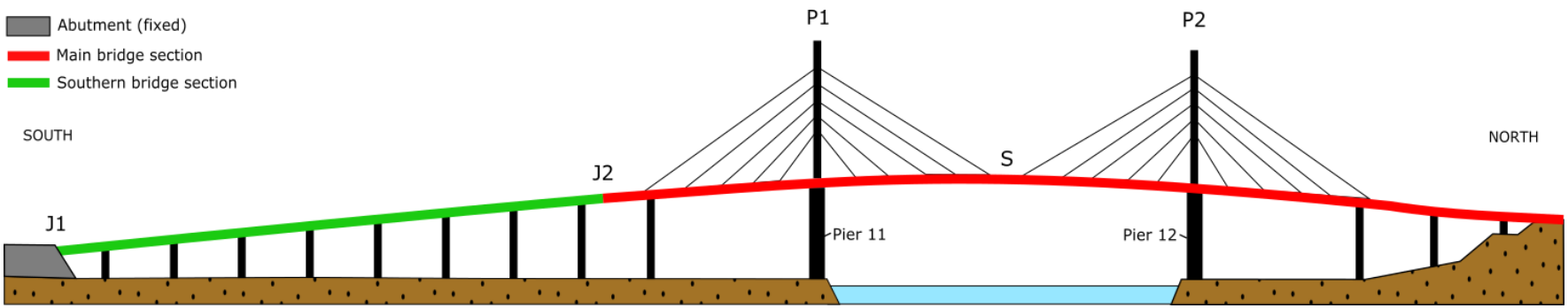
Développé par l'IGN et Ophelia-Sensors

Une station intelligente compacte :

Récepteur GPS + antenne GPS + module radio + logger + fonctionnement en réseau maillé automatisé.

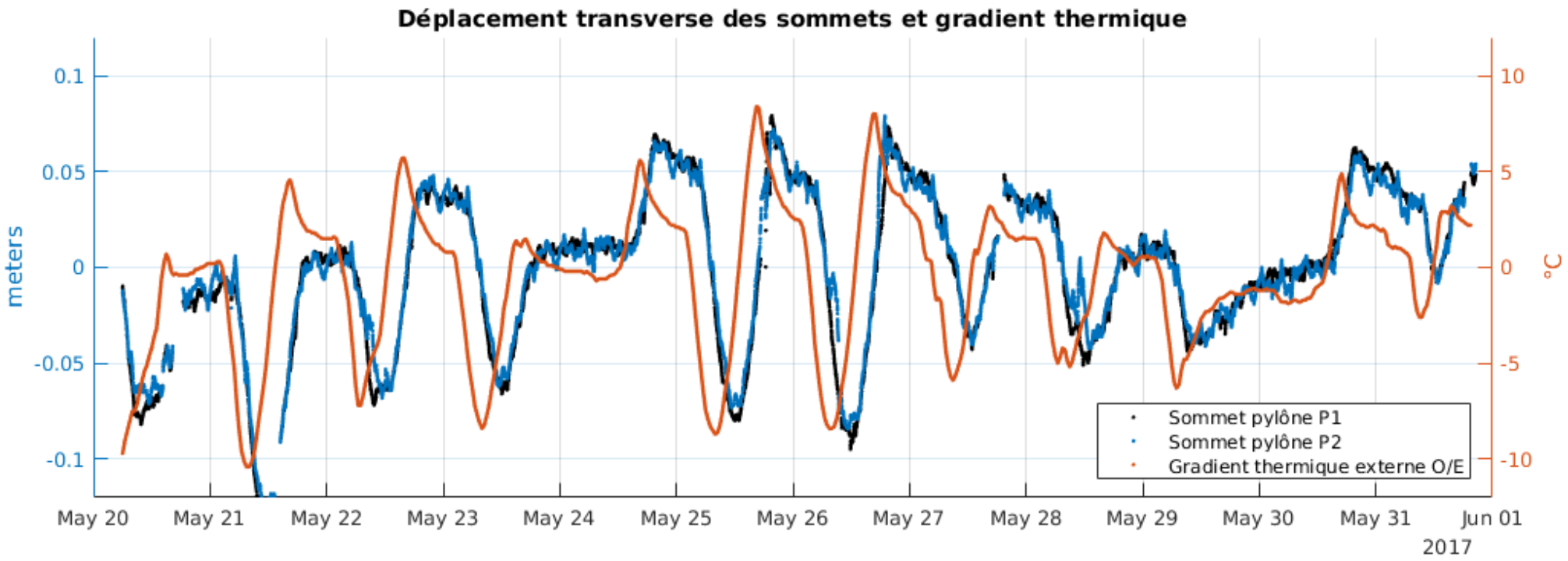
Station compacte Géocube.
Source : Ophelia-Sensors / IGN

Instrumentation du pont par un réseau de capteurs par l'IGN

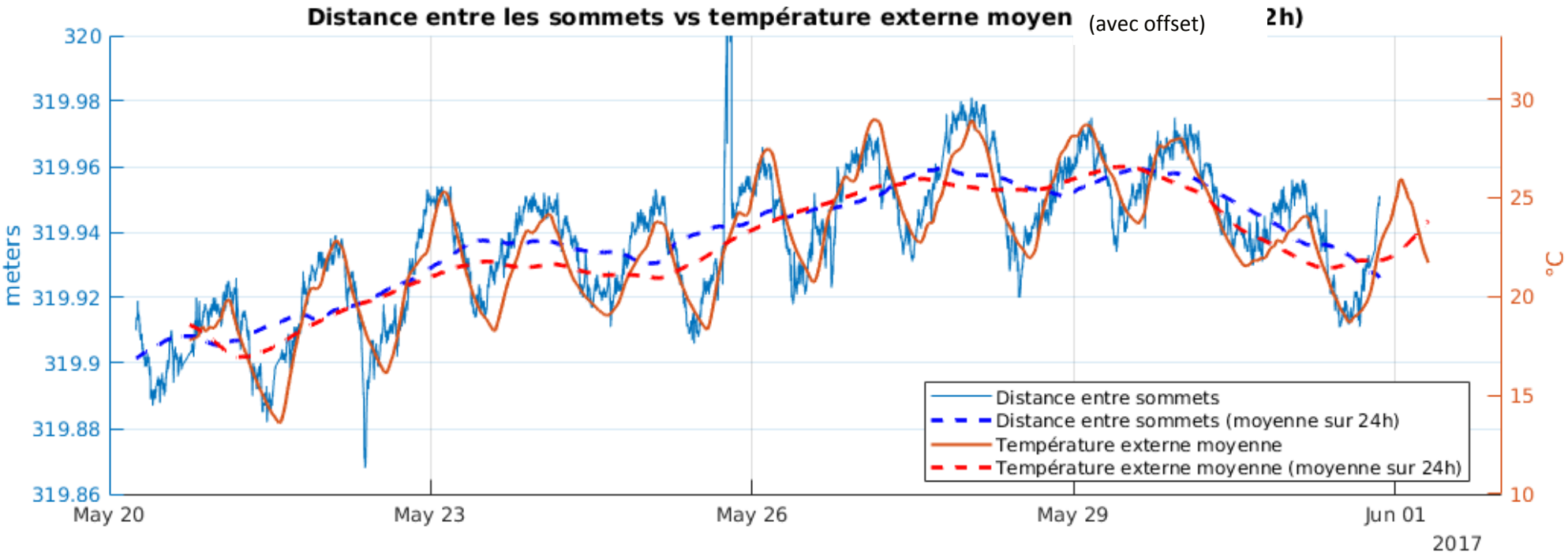


- Géocubes répartis sur des points stratégiques de l'ouvrage.
- Une station météo (température, humidité, vent).
- Température et convergence dans les piles (Cerema).

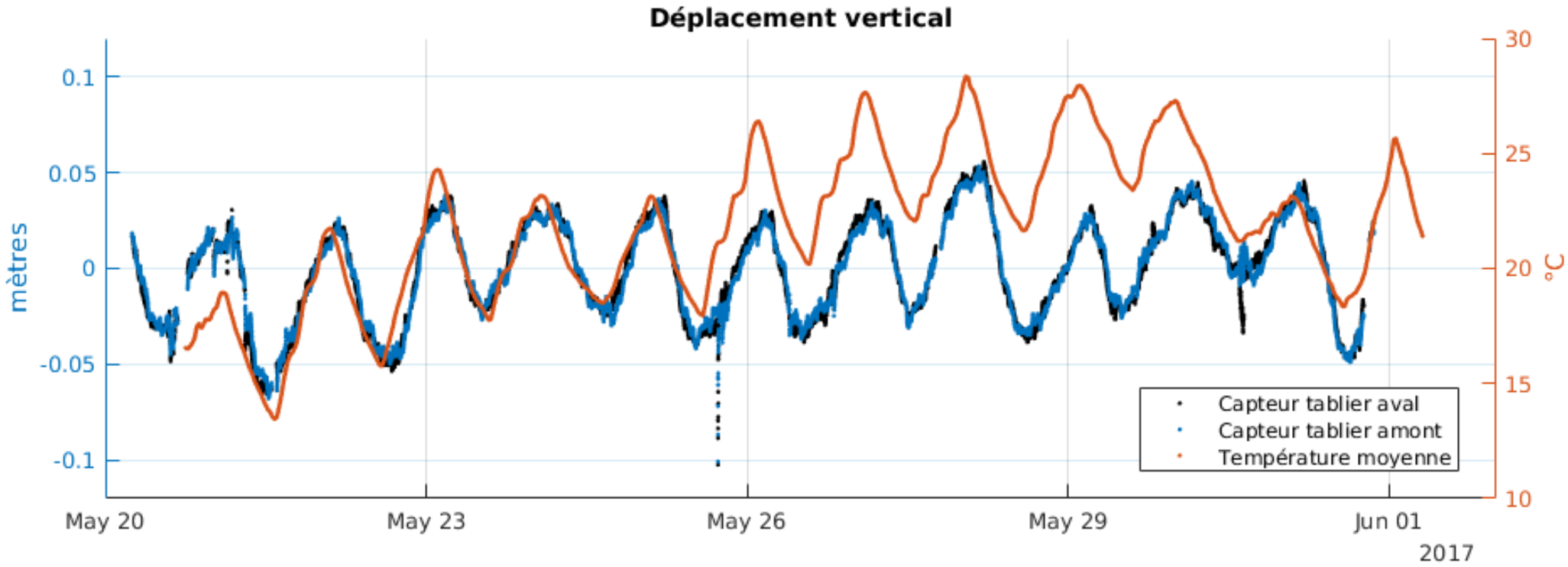
Quelques exemples de données des pylônes :



Quelques exemples de données des pylônes :



Quelques exemples de données du tablier :



V. Enjeux & Perspectives

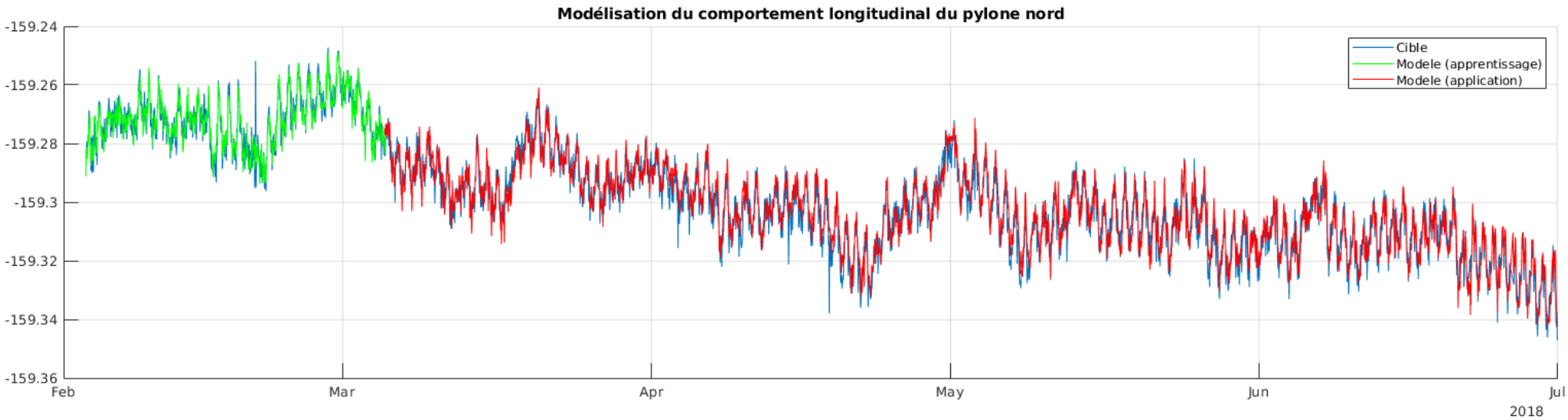
Sites
VEILLE SUR VOS STRUCTURES

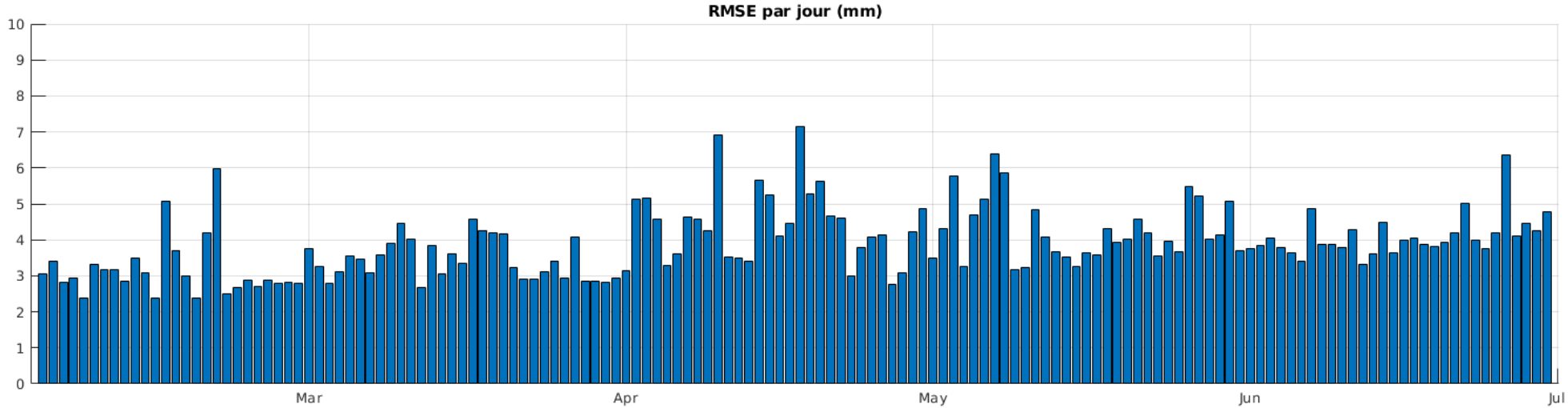
On cherche à extraire une information, et à terme un indicateur, de ces séries GNSS. De multiples approches existent :

- Des approches de régression/prédiction, visant à modéliser le comportement d'un capteur à partir de données externes (autres capteurs GNSS, données météo).
- Des approches « data-driven » de classification, supervisée ou non, des données.

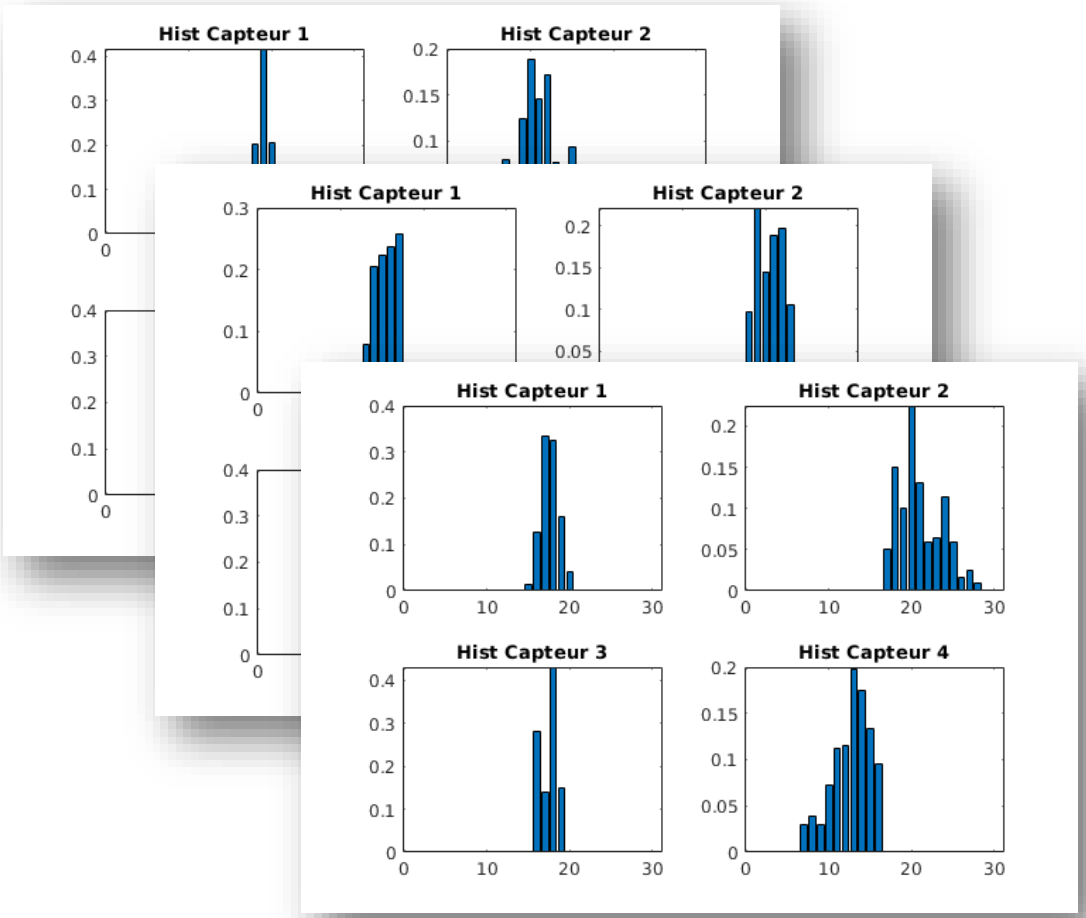
→ Objectif, être capable de signaler un comportement anormal ou changeant, malgré l'absence d'un modèle de référence.

Exemple d'un modèle de régression à l'aide de RNA :

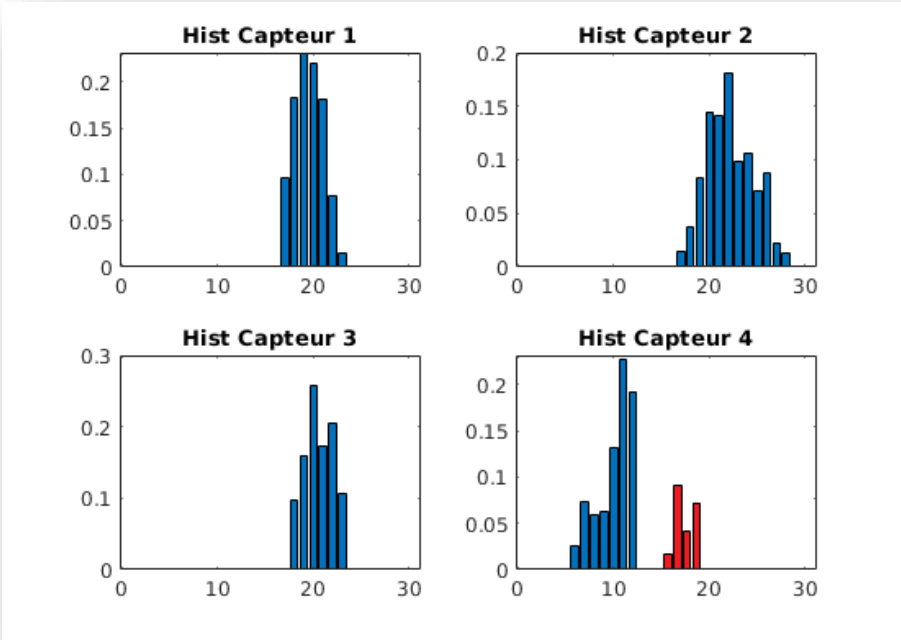




Paramétrisation des données et recherche d'anomalie :



Apprentissage sur une période saine



Détection d'un comportement anormal

(simulation)

Les résultats au prochain épisode…

Merci pour votre attention !