

## BILAN 2019 – 2023

### TERRE SOLIDE

8 octobre 2024

Pascal Allemand, Sylvain Bonvalot, Rodolphe Cattin (président 2023-2024), Patrick Charlot, Olivier de Viron (président 2019-2022), Michel Diamant (représentant pôle ForM@Ter 2019-2022), Bénédicte Fruneau, Marianne Greff, Cécile Lasserre (représentante pôle ForM@Ter 2022-2024), Mioara Mandaia (resp. de thème 2019-2021), Isabelle Panet, Erwan Pathier, Félix Perosanz (resp. de thème 2022-2024), Lucie Rolland, Erwan Thébault, Guy Wöppelmann

## Contour de la thématique Terre solide

### Objectifs scientifiques

Formation de notre planète et son évolution

Composition et dynamique interne

Interaction avec les enveloppes externes: océan, atmosphère, hydrosphère et cryosphère



### Démarche

Pas d'observation directe de l'intérieur de la Terre

Complémentarité sol, air et spatial

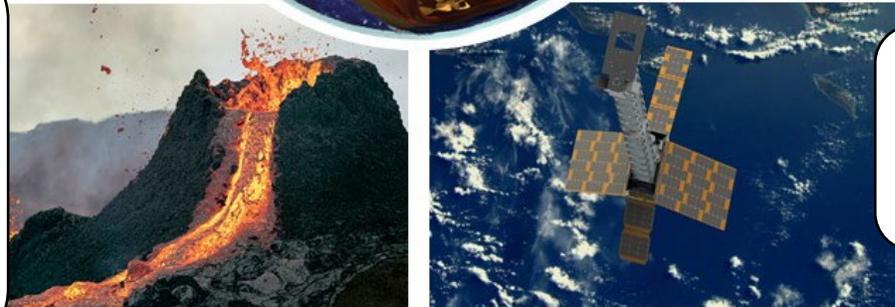
Couverture globale et longue période d'observation

### Enjeux sociétaux

Energie et développement durable

Exploitation maîtrisée des ressources

Risques naturels et aménagement du territoire



### Missions spatiales

Magnétisme, gravimétrie, géodésie, altimétrie, imagerie ...



**OBJECTIFS PRIORITAIRES DU HAVRE 2019**  
Rappel et mise en œuvre

## Missions

### Objectifs

#### MARVEL

« Positionnement » avec une haute précision via l'utilisation conjointe SLR, DORIS, VLBI et GNSS et « gravimétrie » par mesure laser de distance de qualité micrométrique

#### NanoMagSat

Constellation de 3 nanosatellites qui permettra une couverture temporelle locale rapide et un meilleur suivi des variations temporelles globales du champ géomagnétique.



### Mise en œuvre

#### MARVEL ✓

Une phase-0 a été réalisée mais la proposition a finalement été abandonnée. Les futures missions **GENESIS** et **MAGIC/NGGM** devraient permettre d'atteindre le double objectif (Système de référence et gravimétrie) initialement proposée dans cette mission.

#### NanoMagsat ✓

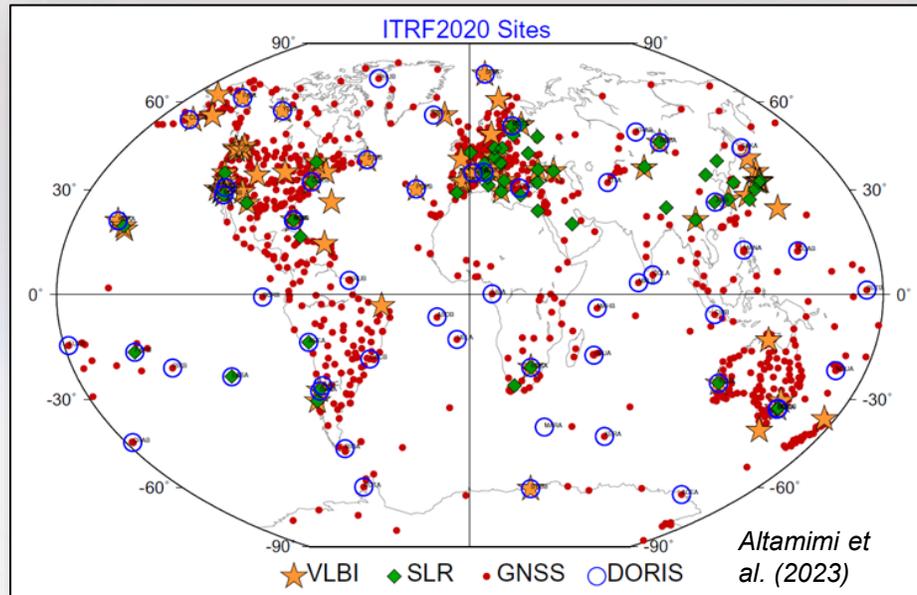
Le projet **NanoMagSat** a été définitivement validé en mars 2024. Cette mission permettra l'étude

- du champ magnétique interne (noyau et lithosphère),
- des courants électriques circulant dans l'ionosphère, tant globalement que localement,
- des signaux magnétiques produits par des courants magnétosphériques à grande échelle,
- des couplages entre la magnétosphère et l'ionosphère,
- La caractérisation du signal magnétique des marées océaniques et ceux des courants induits dans le manteau terrestre.

## Infrastructures au sol

### Objectifs

Colocalisation du SLR, DORIS, VLBI et GNSS avec pour objectif d'améliorer d'un facteur 3 les mesures de positionnement.



Manque d'infrastructure VLBI dans le Pacifique sud.

Tahiti est un site de référence géodésique fondamental. L'observatoire est régi par une convention entre la Nasa, le Cnes et l'Université de la Polynésie française et est labellisé "site instrumenté" par le CNRS.

### Mise en œuvre

Observatoire Géodésique et Géophysique  
Fondamental de Tahiti ✓

Depuis 2021, le projet d'observatoire géodésique et géophysique fondamental de Tahiti a été relancé.

La Nasa a confirmé son souhait d'installer sur le site une antenne VLBI.

L'attribution d'une parcelle du domaine a été validée par le territoire.

Le projet reste à consolider.

## Instrumentation – Données – Moyen de calcul

### Objectifs

#### Instrumentation

Maintenir l'excellence française dans le développement de capteurs innovants pour la gravimétrie spatiale (accéléromètres et gravimètres atomiques) et le magnétisme.

#### Données et moyen de calcul

Nécessité d'améliorer l'accès aux données d'archives (multi-capteurs et multi-agences) et à des moyens de calculs adaptés aux traitements de données massives.

### Mise en œuvre

#### Instrumentation ✓

Sous l'impulsion de la commission européenne, les agences spatiales française et allemande ont initié le projet **CARIOQA** de spatialisation d'un accéléromètre quantique dont la phase A a démarré en 2024.

Le « MAM » (Miniaturized Absolute Magnetometer) est une version miniaturisée du magnétomètre absolu de Swarm développé par le CEA-Léti qui sera utilisé pour la mission NanoMagSat.

#### Données et moyen de calcul ✓

Montée en puissance les infrastructures de recherche EPOS-France et DataTerra et des services nationaux d'observation

ForM@Ter est devenu un acteur incontournable de la communauté:

- Catalogue de données
- Service de visualisation des données GNSS et calcul à la demande des déformations du sol

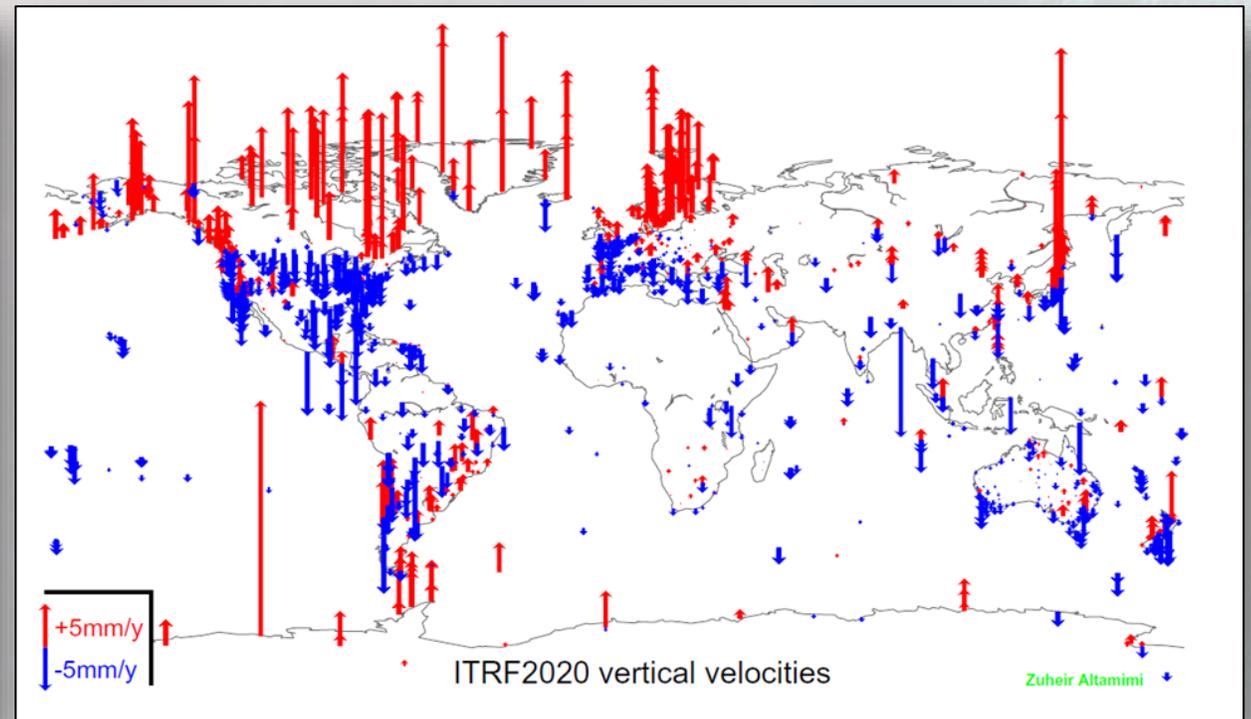
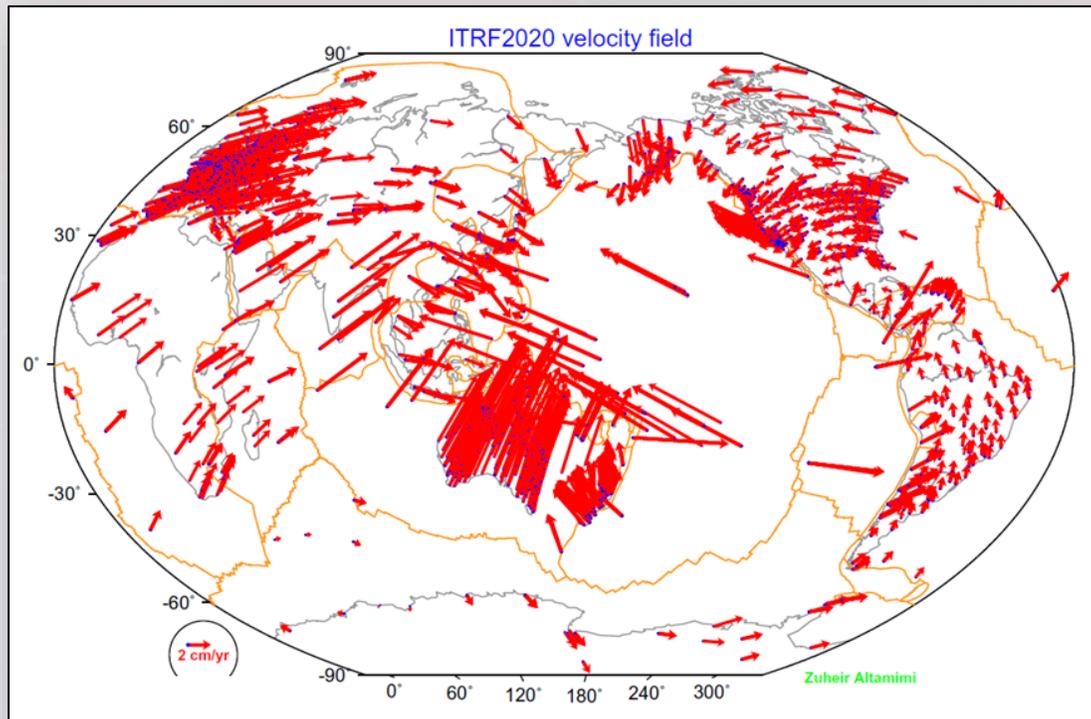


## QUELQUES RÉSULTATS MAJEURS

## Nouvelle estimation du référentiel mondial

### ITRF 2020

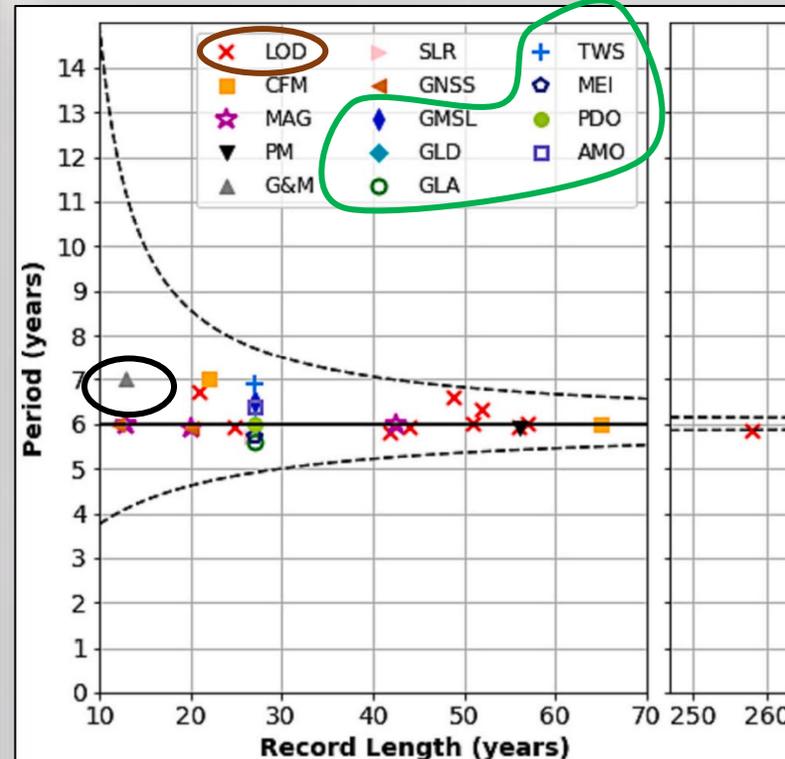
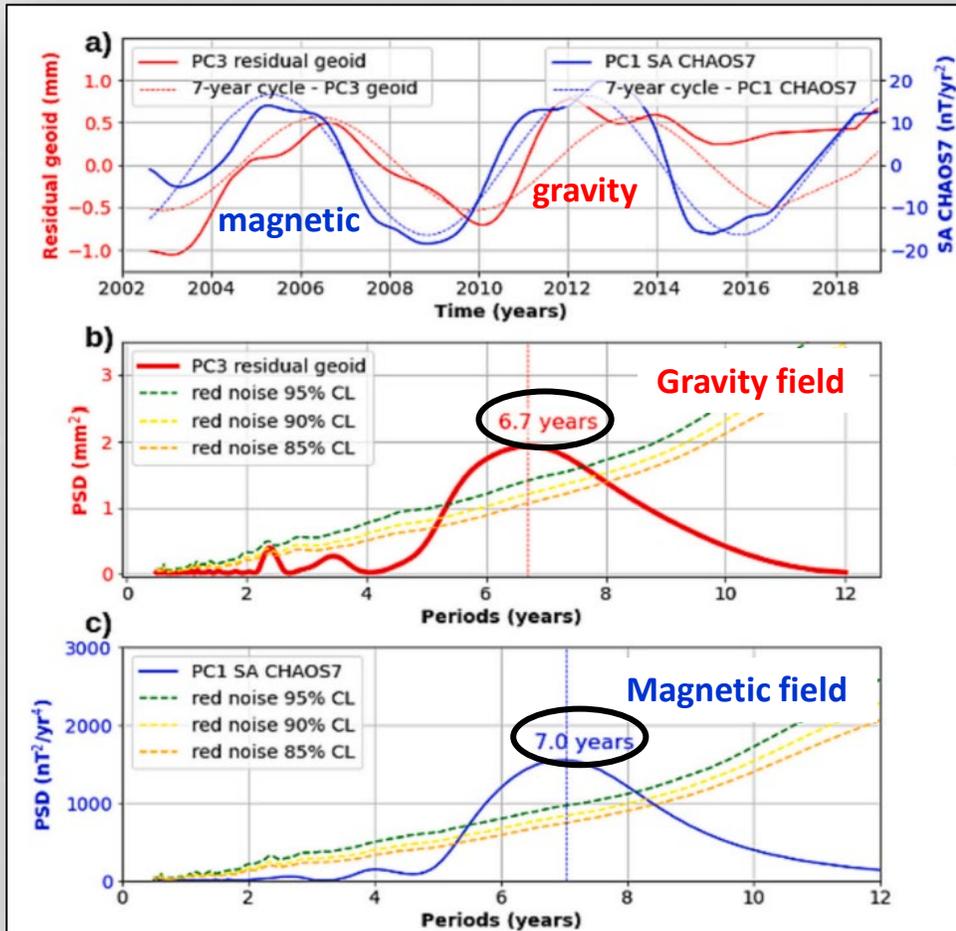
Les équipes françaises ont joué un rôle majeur dans ces réalisations, en traitant l'ensemble des données des quatre techniques, qui couvrent des périodes de 28 ans (DORIS), 27 ans (GNSS), 41 ans (VLBI) et 38 ans (SLR), en pilotant les réalisations de ITRF2020.



# Dynamique interne

## Période de 6-7 ans pour le système Terre

Observations des champs magnétique et gravimétrique indiquent une oscillation périodique de 6-7 ans. Relation avec les enveloppes externes ?

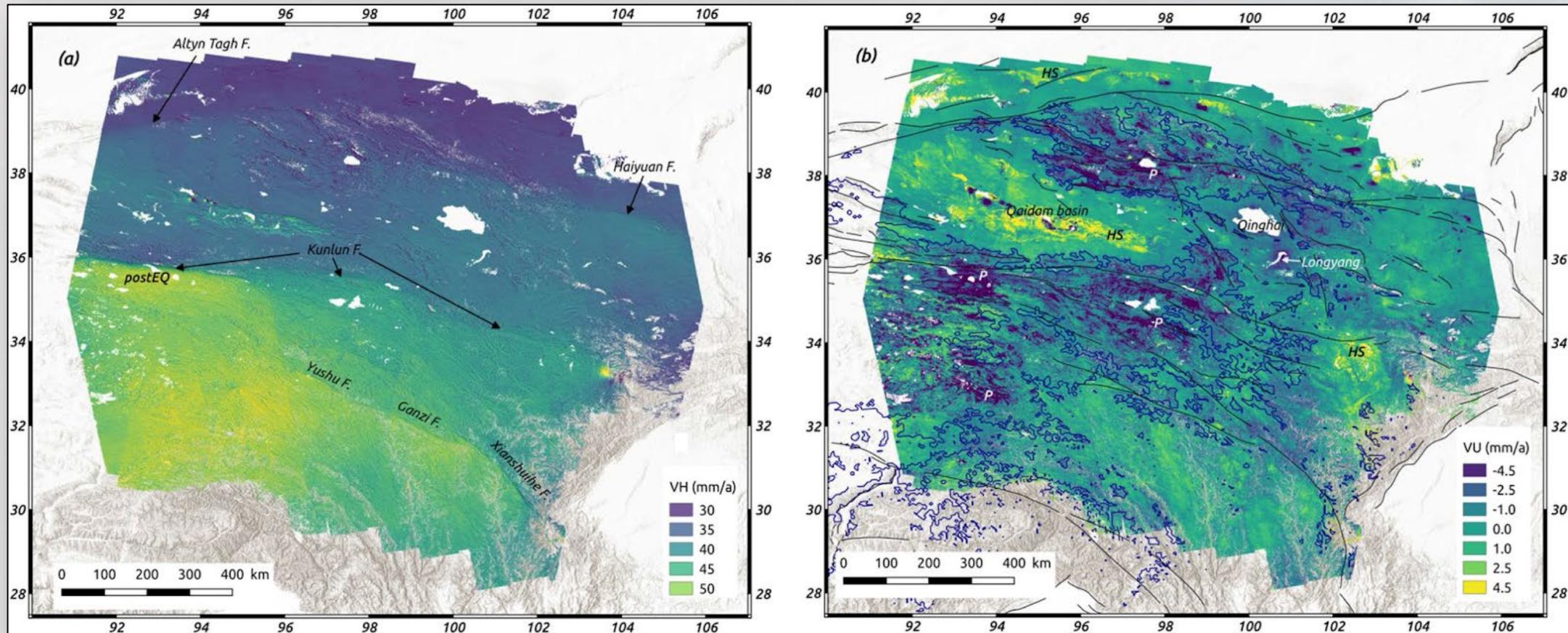


- LOD Length of Day
- CFM Core Flow Models
- MAG geomagnetic data
- PM polar motion
- G&M gravity and magnetic data
- SLR Satellite Laser Ranging,
- GNSS Global Navigation Satellite System
- GMSL Global Mean Sea Level,
- GLD Greenland, GLA for glaciers
- TWS Terrestrial water Storage
- MEI Multivariate ENSO Index
- PDO for Pacific Decadal Oscillation
- AMO Atlantic Multidecadal Oscillation

## Estimation des déplacements sur de larges zones géographiques

### Vitesse sur l'ensemble de l'Est Tibet

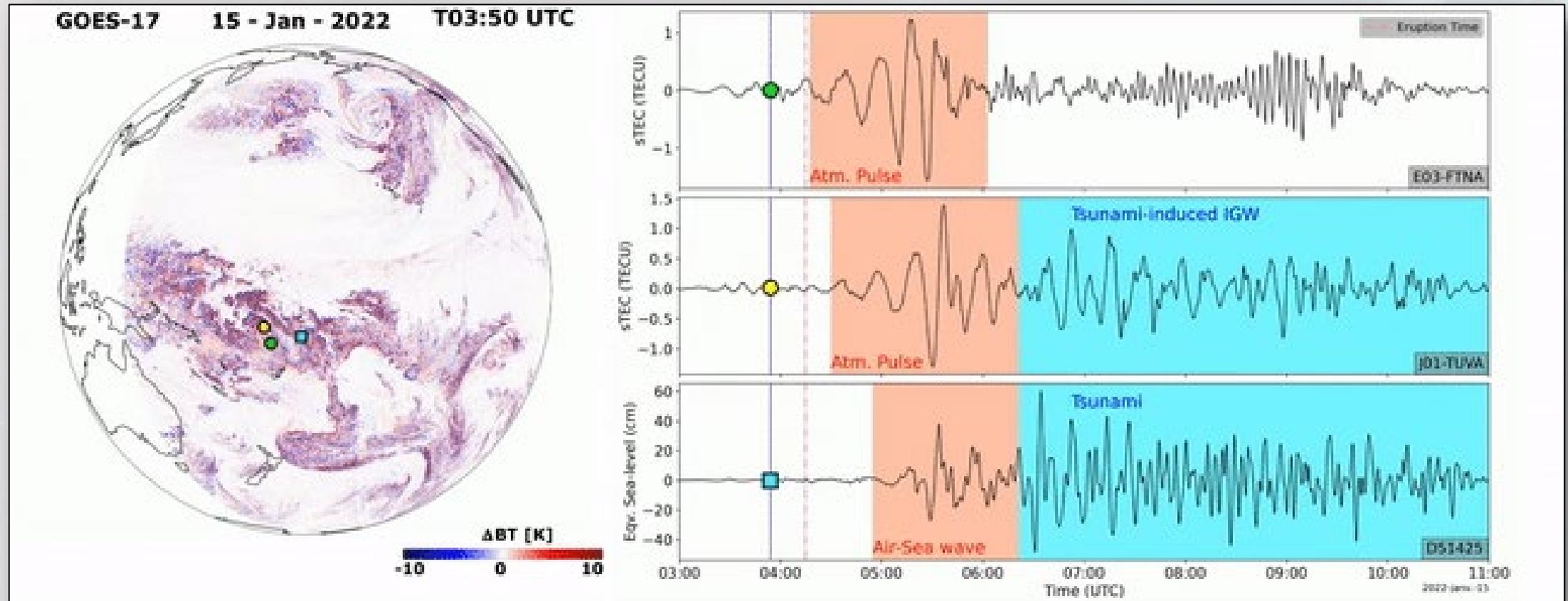
Le service FLATSIM du pôle ForM@Ter permet de produire des interférogrammes sur de larges zones géographiques pouvant dépasser le million de km<sup>2</sup>.



## Vers des systèmes d'alerte basés sur les données ionosphériques

### Perturbations associées à l'éruption du Hunga Tonga 2022

Perturbations détectées simultanément dans l'ionosphère avec GNSS (signature de l'onde de Lamb et du tsunami), et au niveau de l'océan avec un capteur de pression





**LA COMMUNAUTÉ FRANÇAISE À L'ÉCHELLE  
INTERNATIONALE**

## La communauté au niveau international

### La communauté Terre solide (Cnes)

- Une vingtaine de laboratoires universitaires
- ~ 40-50 projets soumis/ an à l'appel à proposition de recherche
- ~ 10 candidatures/an et 1-3 financements/an pour les contrats doctoraux (idem contrat post-doctoraux)
- ~ 30-50 articles/an ~50-100 communications/an dans des congrès nationaux et internationaux

### Services et infrastructures

- Géodésie gravimétrie



- Magnétisme

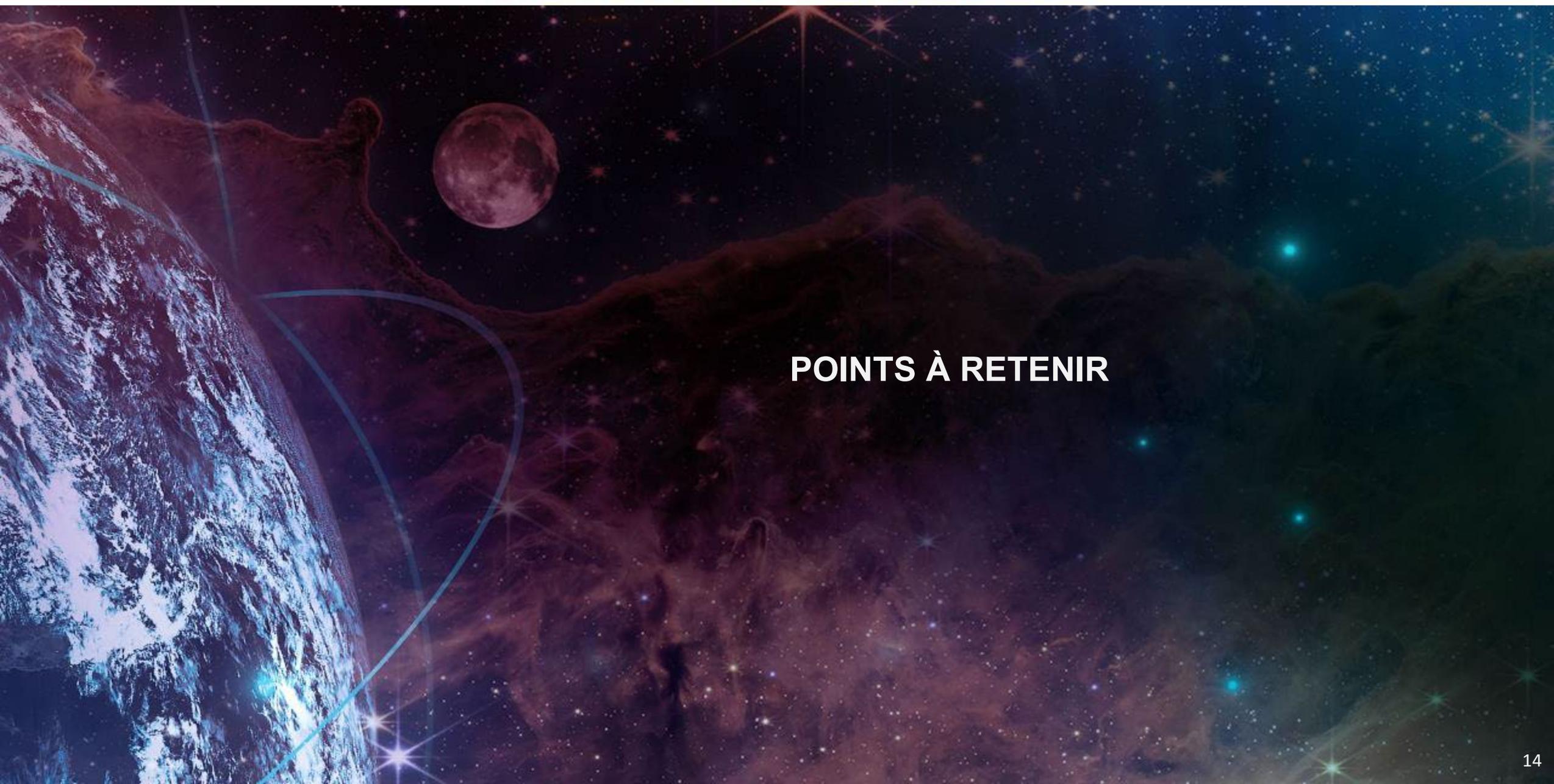


- Imagerie



### Développement et distribution de codes

Traitement, visualisation et modélisation les données des missions spatiales. Très utilisés par la communauté nationale et internationale. Certains sont devenus des standards.



## POINTS À RETENIR

## Conclusions sur le bilan 2019-2023

### Mise en œuvre des objectifs prioritaires du Havre 2019

- Bilan en demi-teinte pour les missions
- Avancement limité pour la mise en place du nouvel Observatoire Géodésique et Géophysique Fondamental à Tahiti
- Renforcement du leadership français en instrumentation basée sur l'utilisation d'atomes froids

### Des résultats novateurs

- Dynamique interne
- Couplage et rétroactions entre enveloppes interne et externe
- Système de référence

### Structuration de la communauté

- Archivage et accès aux données
- Mise en place de nouveaux services dans ForM@Ter
- Implication dans des services internationaux

### Une période charnière

- Traitement des données massives
- Sciences ouvertes



