

## Prospective TOSCA 2024 - Synthèse

A. Bégué, J. Boutin, A. Carbonnière, R. Cattin, P. Chambon, S. Cherchali, C. Crevoisier (Président sortant Tosca), A. Dabas, C. Deniel, A. Deschamps, O. de Viron, Y. Faugère, S. Gascoin, S. Le Gac, P.Y. Le Traon (Président entrant Tosca), P. Maisongrande, F. Perosanz, A. Sylvestre Baron

## L'approche adoptée pour la prospective TOSCA



Questions/priorités scientifiques  
des groupes et recommandations

Prospectives nationales,  
européennes et internationales



**Synthèse TOSCA**  
Vision système Terre et priorisation



6 thèmes transversaux  
déclinés en priorités scientifiques



Des recommandations et des priorités

Majeures

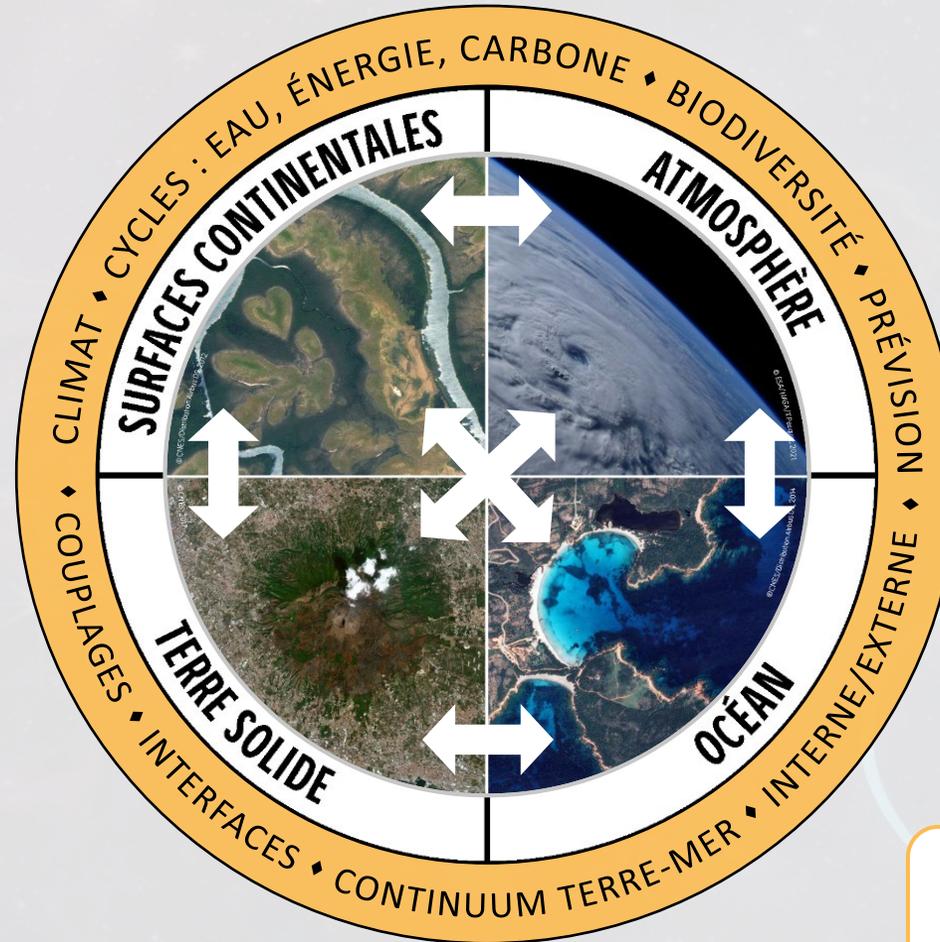
Substantielles

## Prospective TOSCA : les six thèmes transverses

Variabilités  
et cycles climatiques

Couplages, interfaces et  
interactions d'échelles

Continuum Terre-Mer

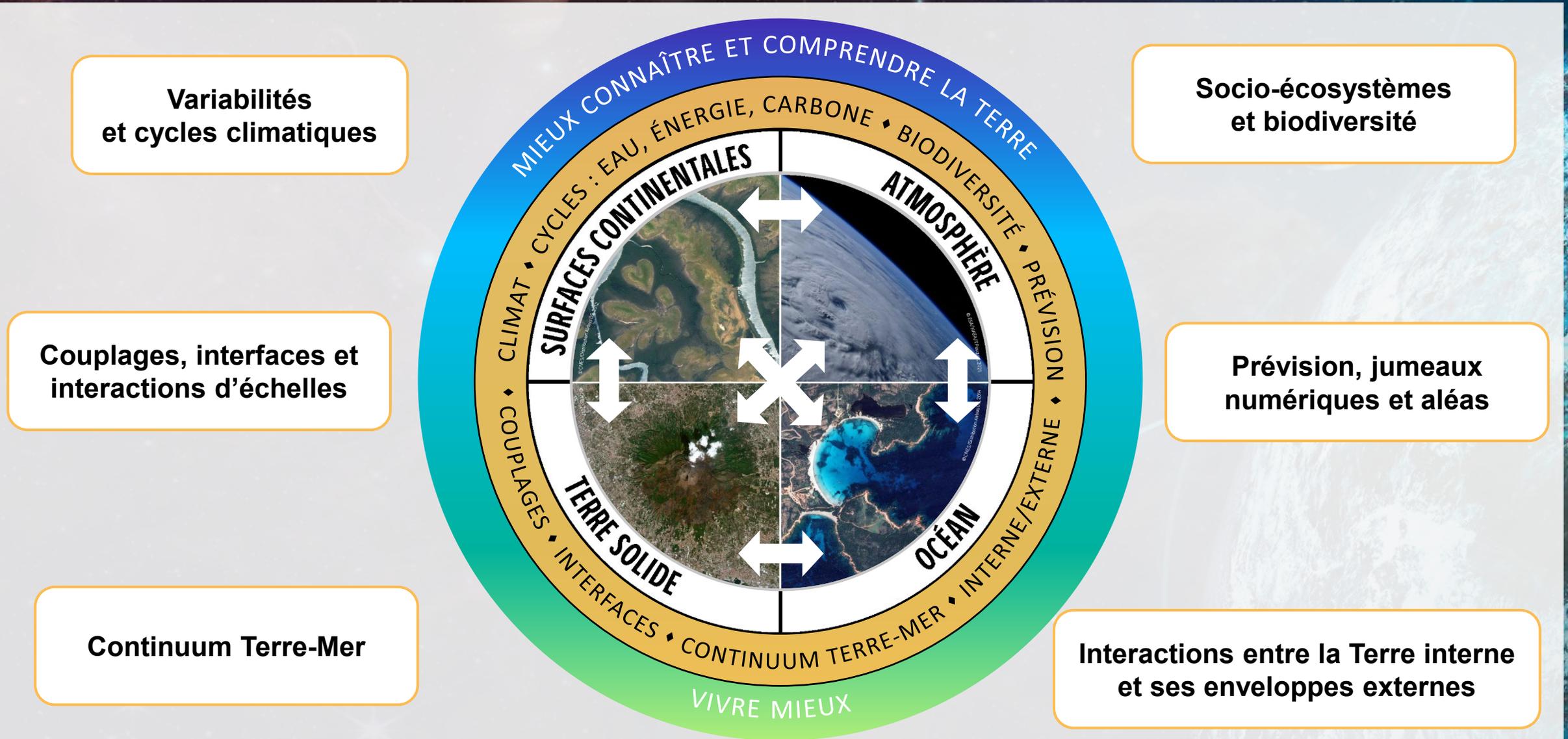


Socio-écosystèmes  
et biodiversité

Prévision, jumeaux  
numériques et aléas

Interactions entre la Terre interne  
et ses enveloppes externes

## Prospective TOSCA : les six thèmes transverses

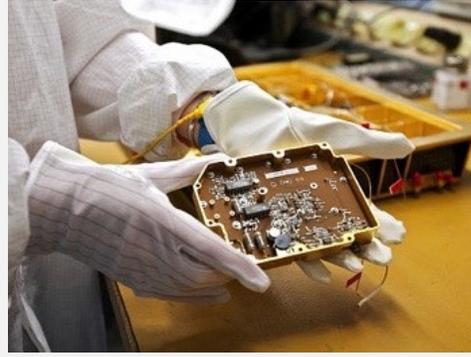


## Les recommandations du TOSCA

### 3 axes stratégiques



Les missions



L'instrumentation



Les données

# Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



## Thème 1 : Variabilité et cycles climatiques

- ? Comment le **climat va-t-il évoluer dans les prochaines décennies** ?
- ? Quels sont **les risques de points de bascule ou changements irréversibles** ?
- ? Comment vont évoluer **les calottes glaciaires** ?
- ? Comment **mesurer suffisamment précisément le déséquilibre énergétique radiatif de la Terre** ?

Continuité des mesures  
 des variables climatiques essentielles

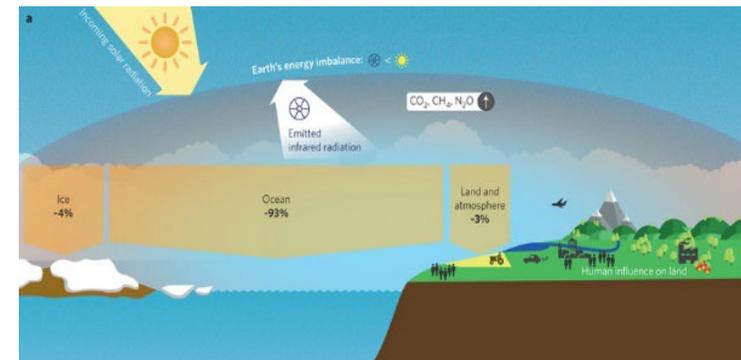
Missions Sentinel,  
 Expansion et NG

CryoRad (EE12)



Déséquilibre énergétique

ECO (EE12)



# Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



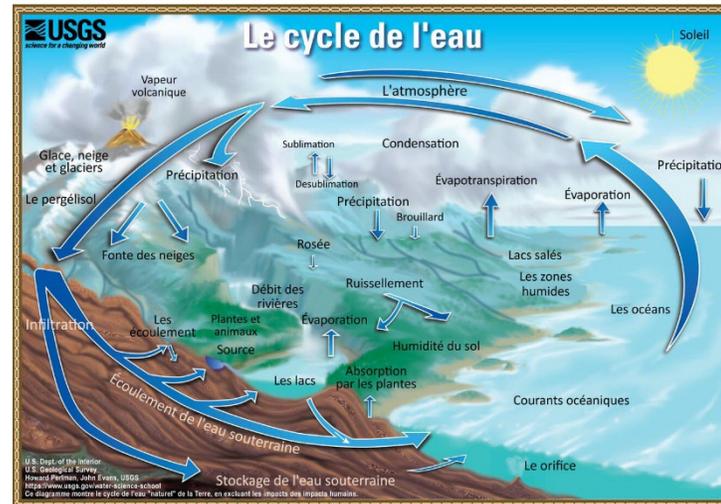
## Thème 1 : Variabilité et cycles climatiques : cycle de l'eau

Bilan hydrologique aux échelles spatiales de la gestion de l'eau

**Smash**

Hydrologie continentale

**S3-NG-Topo**



Variations du stock d'eau souterraine

**MAGIC/NGGM**

Observation des vents au cœur des nuages

**Wivern (EE11)**

Compréhension des processus liés au cycle de l'eau

**C2omodo/AOS**

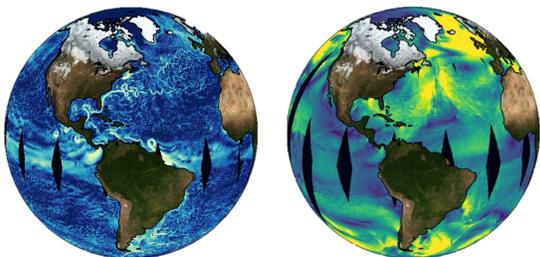
# Les recommandations du TOSCA

Les missions	L'instrumentation	Les données
--------------	-------------------	-------------



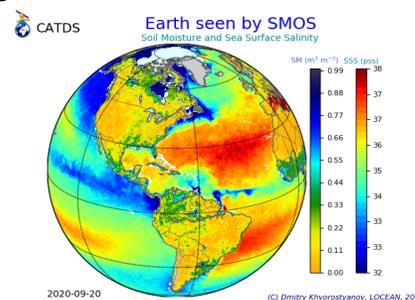
## Thème 2 : Couplages, interfaces et interactions d'échelles

- ? Comment l'océan et l'atmosphère échangent des gaz, de la chaleur et l'énergie ?
- ? Où, quand, par quel mécanismes les flux d'eau douce pénètrent-ils dans l'océan ? Comment influencent-ils la stratification de l'océan, et comment les gradients de densité qu'ils induisent participent-ils à la circulation côtière et polaire ?
- ? Comment caractériser les interactions « multi-échelles » et leur rôle sur le mélange des aérosols, la convection et la circulation océanique globale ?



Courants de surface et couplages océan/atmosphère

**Odysea**



Salinité de surface à haute résolution et humidité du sol

**Smos-HR**



Ballons stratosphériques

**StratoFleet**

## Les recommandations du TOSCA

### Les missions



### L'instrumentation

### Les données



### Thème 3: Continuum Terre-Mer

- ? Quels sont les **flux terre-mer** (eau, matière, chimie), leurs interactions avec la dynamique côtière et l'océan ouvert ?
- ? Comment répondre aux enjeux de l'adaptation et de la gestion des risques dans les zones côtières ?

Côtier et hydrologie continentale

S3-NG-Topo



Swot-Loac

Couleur de l'eau  
(orbite géostationnaire)

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



### Thème 4: Socio-écosystèmes et biodiversité

- ? Comment caractériser l'**exposition, la vulnérabilité et la dynamique des socio-écosystèmes** en réponse aux changements globaux ?
- ? Comprendre les **couplages physique/biologie** et l'évolution de la production primaire et de la **biodiversité marine**



Suivi de variables essentielles de la biodiversité terrestre et caractérisation des milieux côtiers marins



**Biodiversity**

Couleur de l'océan

Géostationnaire couleur

Caractérisation en 3D de l'impact des activités anthropiques

4D-Earth

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données

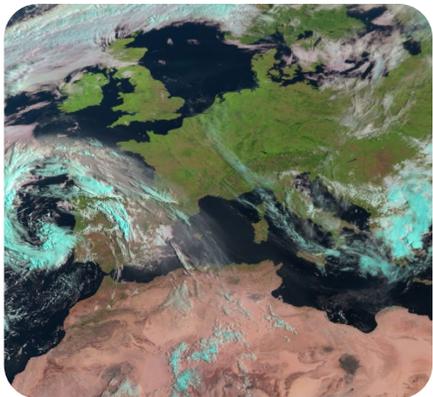


### Thème 5: Prédiction, jumeaux numériques et aléas

- ? Quelles observations pour **améliorer la prédiction du temps, de l'océan et des événements extrêmes** ?
- ? **Comment anticiper les aléas naturels** ?
- ? Comment accompagner l'évolution des modèles et le **développement des jumeaux numériques** à très haute résolution ?

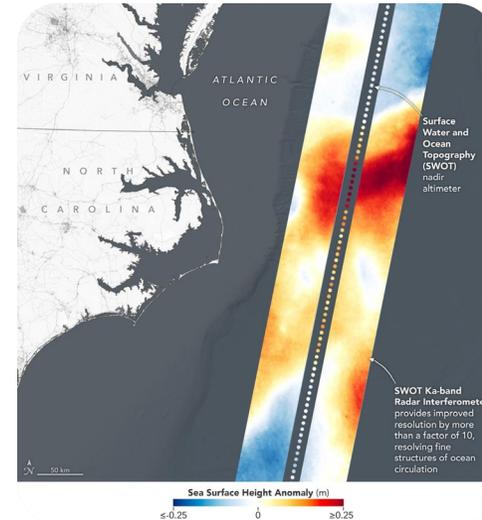
Risques et aléas sismiques

**Magic/NGGM**



Répondre aux besoins des futurs modèles de prédiction numérique du temps avec une observation à très haute fréquence

**Cmim**



Améliorer le suivi et la prédiction de la circulation océanique

**S3-NG-Topo**

Prédiction des vagues et des couplages océan/atmosphère

**Cfosat-NG**

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



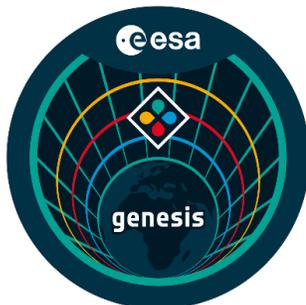
### Thème 6: Interactions entre la Terre interne et ses enveloppes externes

- ? Mieux comprendre les **rétroactions** entre l'ajustement isostatique et la fonte des calottes glaciaires, les **transferts de masse** à la surface de la Terre et l'occurrence des séismes.
- ? Comment réussir à définir un **repère de référence terrestre précis et stable** ?

Réaliser un nouveau référentiel terrestre très précis et stable à long terme

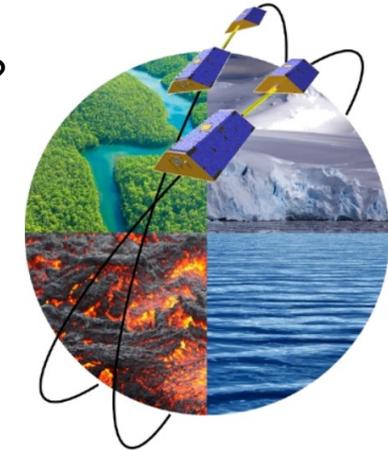
Genesis

Doris-Neo



Tester un accéléromètre atomique dans l'espace et ouvrir la voie à l'interférométrie à atomes froids

Carioqa



Etendre considérablement le champ des applications de la gravimétrie par satellite

Magic/NGGM

## Les recommandations du TOSCA

### Les missions

### L'instrumentation

### Les données



### Missions Copernicus : Dualité science et suivi opérationnel

→ Assurer une **continuité des mesures des variables climatiques essentielles, suivi des gaz à effet de serre, Arctique et calottes polaires (Sentinel expansion)**

- Il est important que les **besoins de la communauté scientifique** soient bien pris en compte dans ces évolutions. Des réunions de concertation entre le Cnes, les groupes Tosca et la communauté scientifique nationale devront être régulièrement organisées pour dégager les **priorités françaises**.

- La communauté s'est mobilisée avec succès sur **S3-NG-Topo**. Discussions sur le design de **S3-NG-Opt** pour l'amélioration des résolutions spectrales de l'instrument couleur de l'eau et sur le design du **S2-NG** pour le suivi à haute résolution des surfaces continentales et l'océan côtier. Point de vigilance sur **S6-NG** afin de garantir et d'améliorer sa précision pour le suivi du niveau moyen et comme référence des autres missions altimétriques.

## Les recommandations du TOSCA

### Les missions

### L'instrumentation

### Les données

#### Le New Space

- **Organiser un suivi** de l'évolution des propositions de constellation New Space.
- **Partager les résultats des premières qualifications** et analyses des données et synthétiser **l'apport de ces constellations pour la recherche**.
- La **qualité des mesures** qui seront produites étant un point capital, les efforts de **calibration/validation** seront essentiels.
- Les **politiques de partage des données** devront être également clairement explicitées et discutées.

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données

### Technologies Lidar

Un besoin important autour des technologies lidar pour différentes applications en atmosphère (spéciation des aérosols, mesures de GES), océanographie (couleur de l'océan, bathymétrie) et pour les surfaces continentales (écosystèmes forestiers).

### Détecteurs

Amélioration des détecteurs dans le proche et moyen infra-rouge.



### Technologies Hyperspectrales

Le recours à des missions hyperspectrales à très haute résolution spatiale semble incontournable pour la quantification des émissions anthropiques de GES.

### Instruments

Miniaturisation des instruments.  
Etudes de nouveaux concepts, montée en TRL en synergie avec les laboratoires et les équipementiers.

### Doris-Neo

Le recours à des positionnements précis ( $>$  GNSS) est indispensable pour les missions « topographiques » (S3-NG-Topo, S6-NG) et le référentiel terrestre (GENESIS).

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



### Infrastructures in-situ et activités de Cal/Val

- Importance des **réseaux in-situ** et **mesures sol** pour les activités Cal/Val et plus généralement pour la **complémentarité avec les observations spatiales**.
- Favoriser la **synergie entre sites cal/val et SNOs**.

**Soutien à l'infrastructure In-Air** (avions de recherche, ballons et drones) essentielle pour la validation de nombreuses missions spatiales

Soutien à la **coordination nationale de l'observation de l'océan Fr-oos** (*French Ocean Observing System*) et aux IRs et SNOs associés.

Soutien du projet de **mission ballon GravMagBallon** qui permettra d'acquérir des données magnétiques et gravimétriques entre 10 et 30 km.



## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



### Infrastructures in-situ et activités de Cal/Val

- Importance des **réseaux in-situ** et **mesures sol** pour les activités Cal/Val et plus généralement pour la **complémentarité avec les observations spatiales**. → **qualité de la donnée**
- Favoriser la **synergie entre sites cal/val et SNOs**.

Le Tosca recommande le déploiement de  
**l'Observatoire Géodésique Géophysique Fondamental (OG2F) de Tahiti** :  
une infrastructure unique, **combinant les quatre techniques géodésiques**, indispensable pour  
améliorer la couverture du système de référence terrestre et complémentaire à Genesis.  
La réalisation d'une **station SLR française de nouvelle génération** en est l'**enjeu principal**.

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



### Plateformes HPC/Cloud et pôles de données

- La quantité de données spatiales disponibles va considérablement augmenter.

L'exploitation de ces données nécessitera un **accès facilité aux données avec outils et moyens de calcul (HPC)** adaptés aux traitements massifs, l'assimilation et l'utilisation de l'intelligence artificielle.

**Data Terra et les pôles de données:**  
Des avancées majeures et un rôle essentiel pour la communauté. **Position unique** au carrefour entre la science et les services et des plates-formes européennes.



DATA TERRA  
DINAMIS



Theia  
Pôle Thématique  
Surfaces Continentales



ODATIS



Renforcement de Data Terra et articulation avec les plates-formes européennes

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

Les données



### Exploitation des données et accompagnement de la recherche

- Soutenir les équipes françaises pour des **actions innovantes sur le développement des algorithmes et sur la qualification, le traitement et l'analyse des données** en particulier via les **techniques d'intelligence artificielle** et le **lien vers la modélisation**. → **Les jumeaux numériques de la Terre (DestinE, DTE, DTO)**
- Le **retraitement des longues séries de données multi-capteurs** pour l'ensemble des variables climatiques essentielles (ECVs) est une composante essentielle des études sur le climat. Ces travaux sont organisés dans le cadre programme Esa Climate Space (Earth Action) en lien avec Copernicus. Le Cnes doit continuer de **jouer un rôle majeur en amont** de ces actions pour assurer un retraitement continu et à l'état de l'art des données.

## Les recommandations du TOSCA

Les missions

L'instrumentation

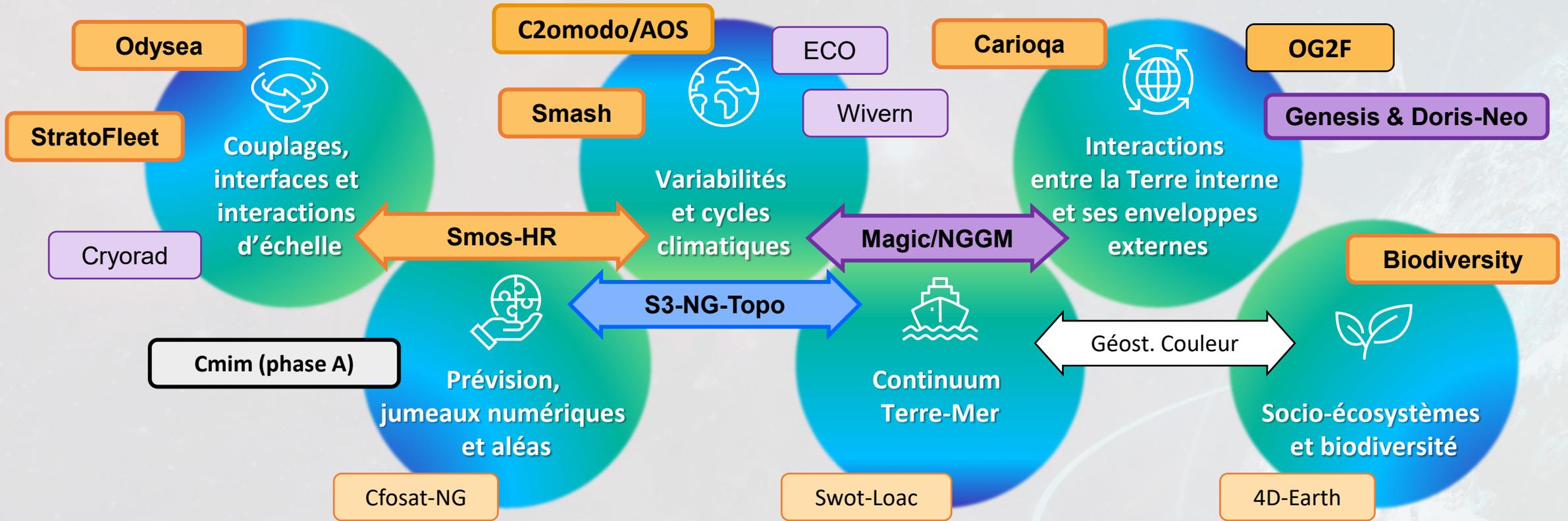
Les données



### Accompagnement de la recherche

- En regard du nombre croissant de missions et des enjeux scientifiques associés, un **renforcement du support aux équipes françaises impliquées dans la préparation des futures missions et l'exploitation des données des missions en vol est indispensable**
- Besoins de **postes statutaires (chercheurs, ingénieurs) dans les laboratoires**
- **Importance d'une stratégie inter-organismes pour pérenniser le savoir-faire en France**

## Synthèse des priorités du TOSCA



**LÉGENDE**

	Coopérations	Copernicus	ESA : FutureEO - Nav	EUMETSAT
Priorités majeures				
Priorités substantielles				

## Synthèse TOSCA

- Les capacités d'observation de la Terre doivent se développer pour améliorer notre compréhension du système Terre et répondre aux défis sociétaux.
- Des questionnements scientifiques qui perdurent sur la **variabilité climatique** et les **cycles climatiques**.
- Des **nouveaux questionnements** et de nouvelles attentes sociétales.
- **Besoin de continuité des mesures** réaffirmé. Nécessité d'accéder à de **nouvelles observables**, d'améliorer la **précision** et d'augmenter les **résolutions spatiales et temporelles**.
- Rôle **spécifique du Cnes** vis-à-vis des **programmes européens** (Copernicus, Esa, Eumetsat).
- Importance réaffirmée des **mesures in-situ et sols**. Rôle **croissant de l'IA**. Développement des **jumeaux numériques**. Renforcement de **Data Terra**.
- **Renforcer l'expertise instrumentale et l'exploitation scientifique**. Ressources dans les laboratoires. Postes statutaires.

