

Un anniversaire:
50 ans de mesure de la Terre par satellite
Bilan, leçons, et perspectives.

Michel Lefebvre et François Barlier

Forcalquier École d'été GRGS 2008
Interactions en géodésie spatiale
Vers une compréhension globale de la Terre
La Terre, ses composantes, sa mesure

4 oct.2007: 50 ans de science spatiale !

Geodetic Satellites

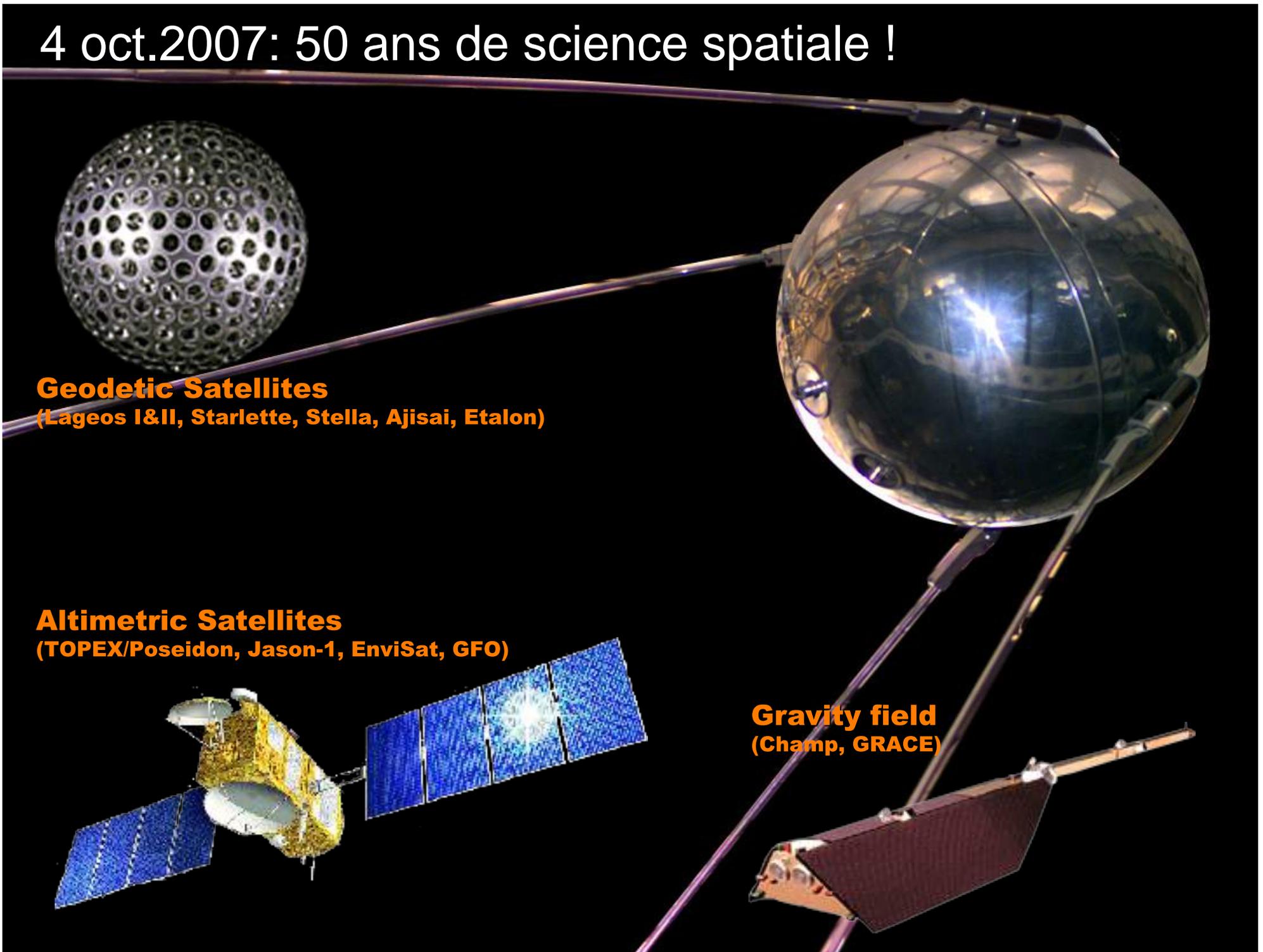
(Lageos I&II, Starlette, Stella, Ajisai, Etalon)

Altimetric Satellites

(TOPEX/Poseidon, Jason-1, EnviSat, GFO)

Gravity field

(Champ, GRACE)



EN ATTENDANT GALILEO : LA TERRE MESURÉE DEPUIS L'ESPACE

- DE DIAPASON À JASON -

LA CONTRIBUTION FRANÇAISE.

GALILEO ARRIVE

ASPECTS GÉODÉSIQUES - GÉOPHYSIQUES -

HYDROLOGIQUES - ROTATION TERRE-

SYSTÈME TERRE LUNE.

Avant Propos

C'EST DE LA MESURE DE LA TERRE DONT IL S'AGIT MAIS CE N'EST PAS LIMITÉ A LA GÉODÈSIE .

CELA S'APPLIQUE A PLUSIEURS DISCIPLINES EN SCIENCES DE LA TERRE ET AUX APPLICATIONS QUI EN DÉCOULENT.

LE DOCUMENT QUE NOUS AVONS REDIGÉ EN 1970 ET QUI A SERVI DE BASE A LA CRÉATION DU GRGS L'ANNONCE CLAIREMENT :

ÉTUDIER TOUT CE QU'IL EST POSSIBLE DE DÉTERMINER À PARTIR DE MESURES PRÉCISES DE DISTANCES VITESSES, ACCÉLÉRATIONS ENTRE SATELLITES ET STATIONS TERRESTRES OU ENTRE SATELLITES.

CECI CONCERNE L'ÉTUDE DE LA TERRE - ET DE LA LUNE - EN TANT QUE SOLIDES DÉFORMABLES ET DES VARIATIONS DES MASSES FLUIDES QUI L'ENTOURENT.

AVANT PROPOS (SUITE)

LA MÉTROLOGIE SPATIALE DE LA TERRE A UN PASSÉ :
DIAPASON, DIADEME,
MAIS ON PEUT L'ÉTENDRE A 1975 ET AU-DELÀ.

LA METROLOGIE SPATIALE A UN PRESENT:
NOUS INSISTERONS SUR LA MISSION TOPEX/POSEIDON,
L'ARRÊT DU SATELLITE APRES 13 ANS NOUS DONNE
L'OCCASION DE FAIRE LE BILAN.

LA METROLOGIE DE LA TERRE A AUSSI UN FUTUR :
NOUS ATTENDONS GALILEO MAIS IL ARRIVE.

Géodésie spatiale en France 1957-1975

Construction d'une capacité nationale forte à partir de :

- Lanceurs diamants
- Pompes optiques
- Oscillateurs à quartz
- Renouveau mécanique céleste et spatiale
- Développement de l'informatique
- Rôle du Bureau des longitudes
- Structuration communauté française: le GRGS

Réalisation française 1965-1968

Satellites Diadème février 1967

- Après Diapason, le CNES développe des trièdres de rétro-rélecteurs laser placés sur les satellites DIADEME-1 et 2, lancés depuis Hammaguir en février 1967 par la fusée **Diamant**. Ces satellites furent observés et ré-observés pendant une vingtaine d'années.



- Liaison Europe-Afrique par 3 techniques de poursuite: Optique - laser - radio
Précision 5 à 10 mètres

- Poursuite des satellites par laser en coopération internationale

- Janvier 1965 succès du SA du CNRS pour les premiers tirs laser sur le satellite américain BEB
- Février 1967 et pendant une vingtaine d'années suivi du satellite américain BEB et des satellites français D1 C et D1 D et de bien d'autres satellites.



Coopération France-US en géodésie spatiale 1965-1970

- Depuis 1965 coopération sur la poursuite des satellites par les différentes techniques :
optique, laser, radio
- 1968 visite du Smith.Astro.Observatory à Cambridge
- 1969 visite de laboratoires géodésiques aux USA (APL, NWSC, DMA/USNO, GODDARD, Mt Hopkins ...)

Diapason-Eole-Géole

- Après DIAPASON, un autre projet français: localiser des objets à partir de mesures entre un satellite et ces objets et suivre les déplacements de ballons déployés dans la stratosphère: c'est le projet EOLE
- D'EOLE à GEOLE
- Sur le même concept un système mondial de localisation et navigation, le système GÉOLE proposé..., en mars 1968 ! Il comportait des satellites à 6000 kilomètres et un réseau de 50 à 60 stations-

Coopération France-USA-URSS en géodésie spatiale 1970-1975

1971: Cooperation Internat. ISAGEX+PEOLE

1970-1975 : À partir des données ISAGEX et plus anciennes, nouveaux champs de gravité de la Terre

1973 : Dépôt de **réflecteurs sur la Lune** en compléments des réflecteurs »Apollo » grâce à coopération France-USSR Observations

1975 : **Starlette** (Laser) puis **Lageos** (1976),...

1975 : **Castor/Cactus**- Accéléromètres(ONERA) et forces non gravitationnelles

Satellite Starlette 1975



La Métrologie en Géodésie spatiale

- Le laser (Lune et satellite)
- Les techniques radioélectriques (Tranet, Doris, GPS/Galileo)
- L'altimétrie
- L'accélérométrie spatiale
- Le transfert de temps

Métérologie Spatiale et Programmes

Observation de la Terre:

En 50 ans la connaissance de la TERRE a progressé considérablement

Les observations spatiales ont joué un rôle important

Il faut toutefois un certain nombre de conditions supplémentaires pour réussir

Critères sur les systèmes

Ces systèmes doivent répondre à plusieurs critères :

- pérennité
- continuité

Toutes échelles d'espace et de temps

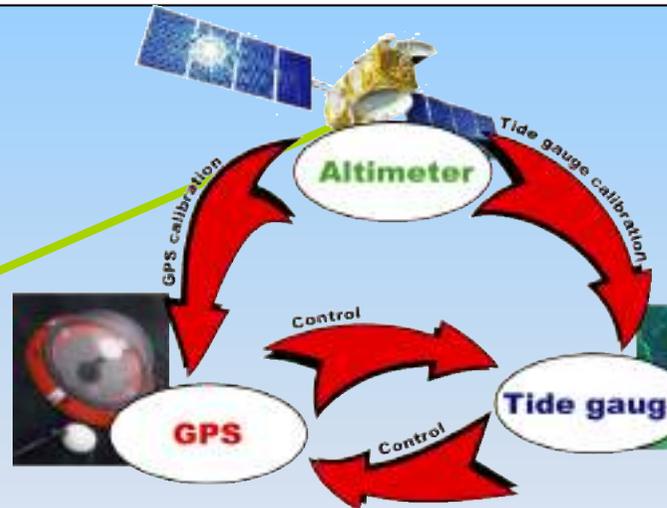
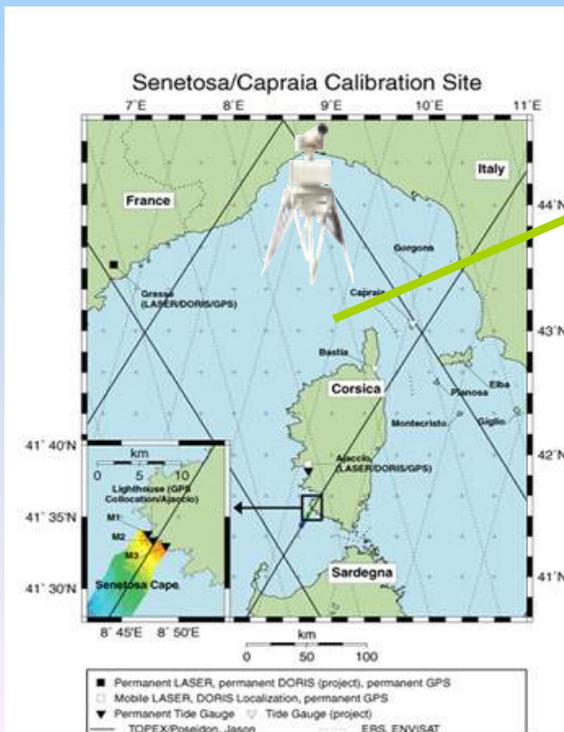
Détermination de la dynamique des milieux observés

Modélisation cruciale

Utilisation de l'amélioration constante des mesures de base

CALibration of Radar Altimeters

- Essential for altimetry
 - A link between space and the ground
 - Performing altimeter calibration from **tide gauges** and **GPS buoy**
- **Absolute calibration** site in Corsica, double configuration
 - A geodetic site at *Ajaccio* (FTLRS settled, in 2002 and 2005)
 - An in-situ site at *Senetosa* cape (under the track n°85)



Products used for the study:

- T/P: M-GDR + TMR drift
- Jason-1: GDR

Definition of altimeter bias calibration:

sea height bias = altimeter sea height - in situ sea height

Evaluation

L'évaluation des résultats obtenus est un problème essentiel et difficile:
il faut encore pour vraiment réussir

Gagner au moins un ordre de grandeur sur la connaissance actuelle

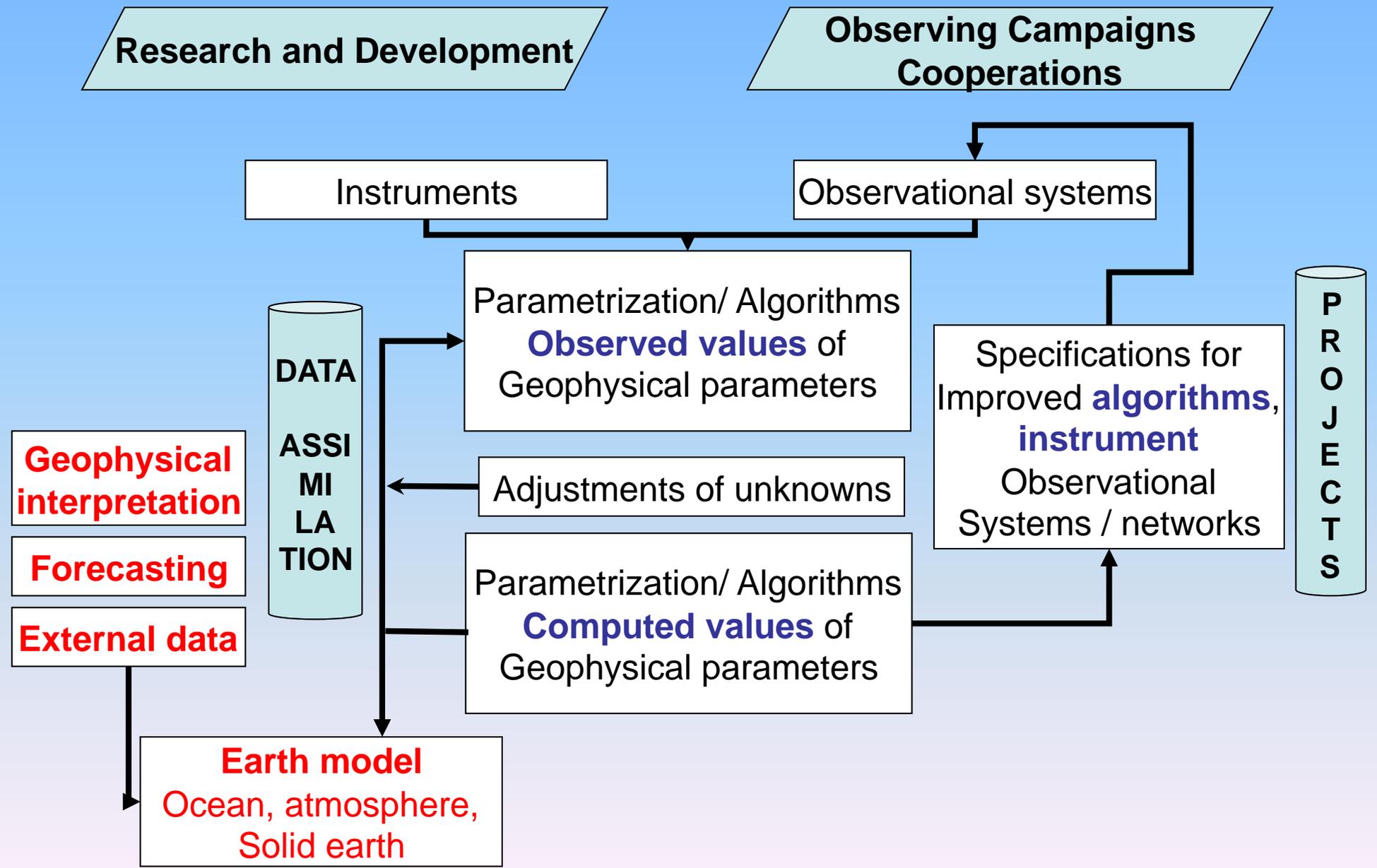
NASA Workshop in 1969:

“Earth and Ocean Application Physics”

- The expertise being acquired, it was time to have some perspective.
 - New projects
 - New technologies
- Chaired by W. Kaula



Lundquist's chart
(from NASA document, 1969)



Applications à l'altimétrie

NÉCESSITÉ D'UNE CONNAISSANCE DE LA CHAÎNE
- ROLE DU SDT, DU SWT -
CONFERENCE DE METROLOGIE SPATIALE

Idées de base : partir du schéma de Lundquist.
Les mesures fondamentales ont été présentées et sont rappelées dans le tableau suivant qui montre clairement les progrès : **on a gagné plusieurs ordres de grandeur en 25 ans**. Ces valeurs ne sont pas des valeurs de laboratoire mais bien celles obtenues par instruments disponibles. Il reste à utiliser ces mesures de base dans des systèmes permanents d'observations de la Terre : exemple du projet TOPEX/POSEIDON

Applications à TOPEX/Poséidon

L'OBJECTIF : Déterminer la circulation océanique à toutes les échelles spatiales et temporelles, paramètres géophysiques à la surface de la mer par rapport à un ellipsoïde de référence. Pour obtenir ce paramètre il faut :

1 - Déterminer la distance entre centre de masse du satellite et surface, on utilisera un altimètre radar ; c'est un des instruments de mesure ; outre ses erreurs instrumentales, il faut corriger les mesures des effets de propagation dans l'ionosphère et la troposphère et des effets dus à l'état de mer ; il faut aussi dater la mesure.

2 - Déterminer la position du satellite - c'est à dire son orbite ; on devra avoir un ou des réseaux de poursuite un modèle des forces agissantes. Il faudra aussi tenir compte des variations des positions des stations des irrégularités de la rotation de la Terre, des déplacements du géocentre.

LA QUANTITÉ DITE "OBSERVÉE" est la distance entre la surface marine et un ellipsoïde de référence ; c'est une quantité déduite des observations : certaines corrections nécessitent d'autres mesures radiométriques : le bilan d'erreurs n'est pas facile à déterminer

Leçons des données d'altimétrie

La quantité "OBSERVÉE "hauteur de la topographie océanique par rapport à une référence telle l'ellipsoïde n'est pas une observation directe mais elle se déduit de deux quantités :

- **la mesure par radar** embarqué de la distance entre le centre de masse du satellite et la surface, les erreurs sont dues aux incertitudes sur les corrections de propagation, d'état de la mer, de l'instrument, de la datation
- **la détermination à chaque instant de la position** du satellite porteur dans un système de référence. La précision va dépendre du système de poursuite de la position des stations et de leurs variations des paramètres de rotation de la Terre, du modèle de forces, des erreurs des mesures de poursuite.

Leçons des données d'altimétrie (suite)

La valeur "CALCULÉE" du même paramètre dépend **des modèles de circulation océanique**, hypothèses physiques, forçages, paramétrisation, et la comparaison entre valeurs calculées et mesures dépend de nombreuses inconnues. La décorrélation peut être délicate; elle **nécessite de toute façon des itérations.**

L'évaluation de la qualité du système n'est pas évidente :

Elle résulte d'un

"FAISCEAU DE PREUVES CONVERGENTES"

Leçons de l'ÉTALONNAGE DES ALTIMÈTRES

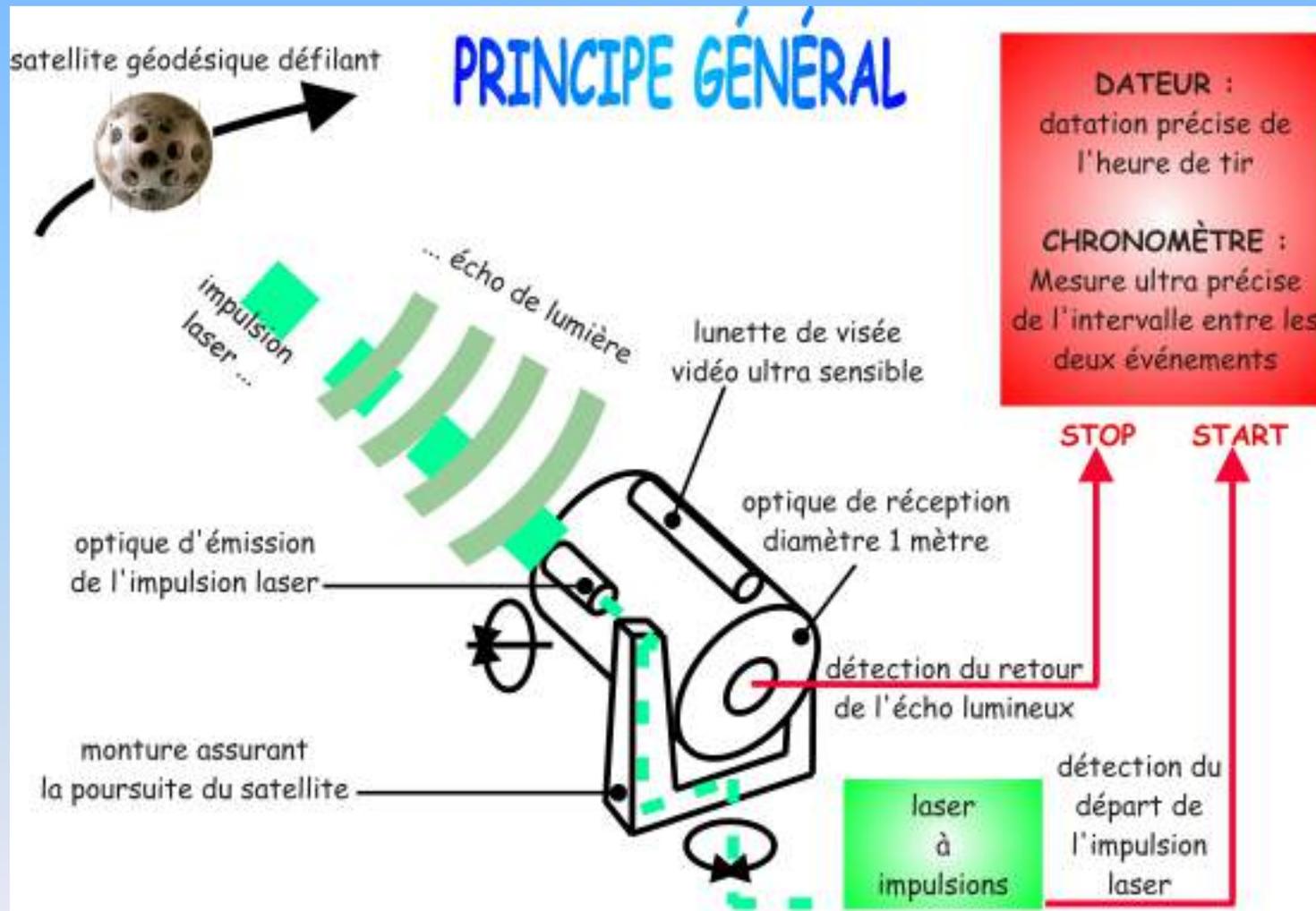
Calibration du radar altimètre : comparaison à la verticale
Comparaison sur site spécialement équipé - propagation tropo -
modèles météo et mesures radiométriques - propagation iono
multifréquences ou modèle iono ou mesures autres paramètres
d'orbite - comparaison directe mesures de poursuite colocalisées -
Comparaison des orbites faites avec mesures de systèmes différents-
Comparaison rotation Terre avec paramètres de Lageos ou VLBI-
Comparaison des vitesses stations- modèles de marées et
marégraphes produits passages colinéaires altimétriques - courants
Par mesures in situ avant et après assimilation données spatiales
seules et in situ les objectifs bougent aussi de 12.3 Centimètres à 2
puis au 0.1 mm/an

objectifs principaux et associés = découvertes

SONG à SCHLOSS ELMAU JANVIER 1978

YEAR	1980	1985	1990
PROGR. PHASE	MEDIUM-TERM		LONG-TERM
	PROGR. NAME	OBJECTIVES	
MAIN PROGRAMMES	(A) SOLID EARTH	Precise Position Determination: Local - Regional - Global Measurement of vertical and horizontal Motions Study of the Earth Gravity Field	PRECISE POSITIONING SATELLITE Earthquake Hazard Reduction
	(B) SURFACE STUDIES	Global Study of: - Ocean - Ice Topography - Ocean - Ice Dynamics - Interaction Sea - Atmosphere	ICE OCEAN SATELLITE Precise GEOID Determination GEOID SATELLITE
SUPPORT PROJECTS	(C) MAGNETIC FIELD MONITORING	Improved Model of geomagnetic secular Variation Accurate up-to-date Description of main geomagnetic Field Understanding of the Earth's Core Dynamo Process	SATELLITE MAGNETOMETER
	(D) RADIATIVE BALANCE STUDIES	Direct Measurement of Radiation Balance Determination of upper Atmosphere Densities	BIRAMIS SECS LOW-DRAG SATELLITES Improved Trajectory
	(E) SATELLITE NAVIGATION AID	International Cooperation in Development and Operation	Further Development for - Global Systems - European Specialized System LOW-COST NAVIGATION SYSTEM

Principe Télémétrie Laser



Stations Laser à Grasse (plateau de Calern) Station mobile, Station fixe satellite, Laser-Lune



What is now required for SLR

Context: IGY, IPY, IHY, ...

- **DATA:**

- precision, accuracy (mm level)
- continuity, pereniality
- data archiving
 - raw data
 - normal points
- metadata: pole, geocenter, scale factor, J2dot, ...
- calibration

- **ANALYSIS:**

- control and **inter-comparison** with other techniques
- **in situ** measurements
- comparisons with **geophysical models**

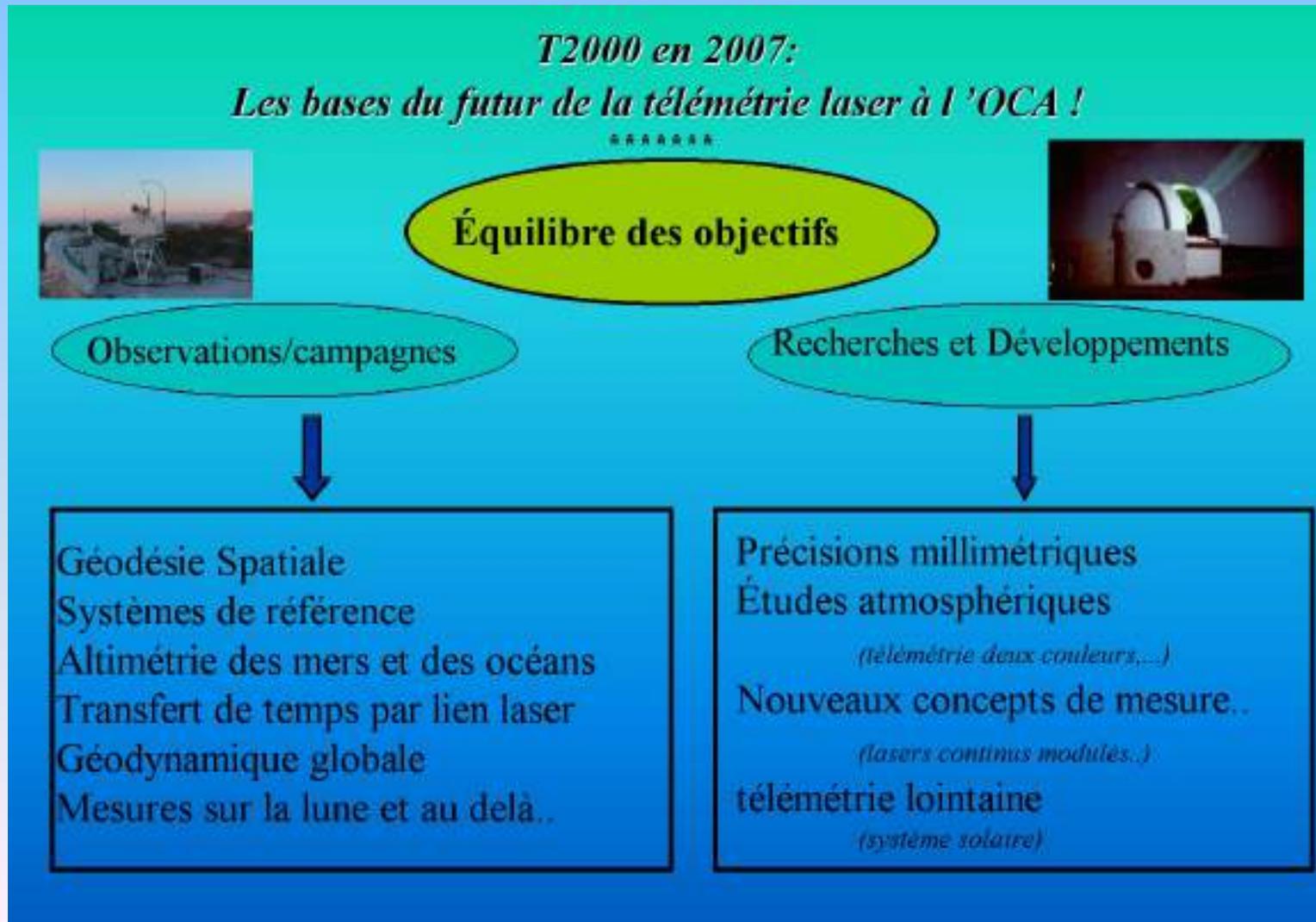


Towards the millimetric level: A new Deal for SLR

-

For what kind of challenges ?

Télémétrie laser à l'OCA et Tahiti





Physique fondamentale

LLR, Microscope, Galileo

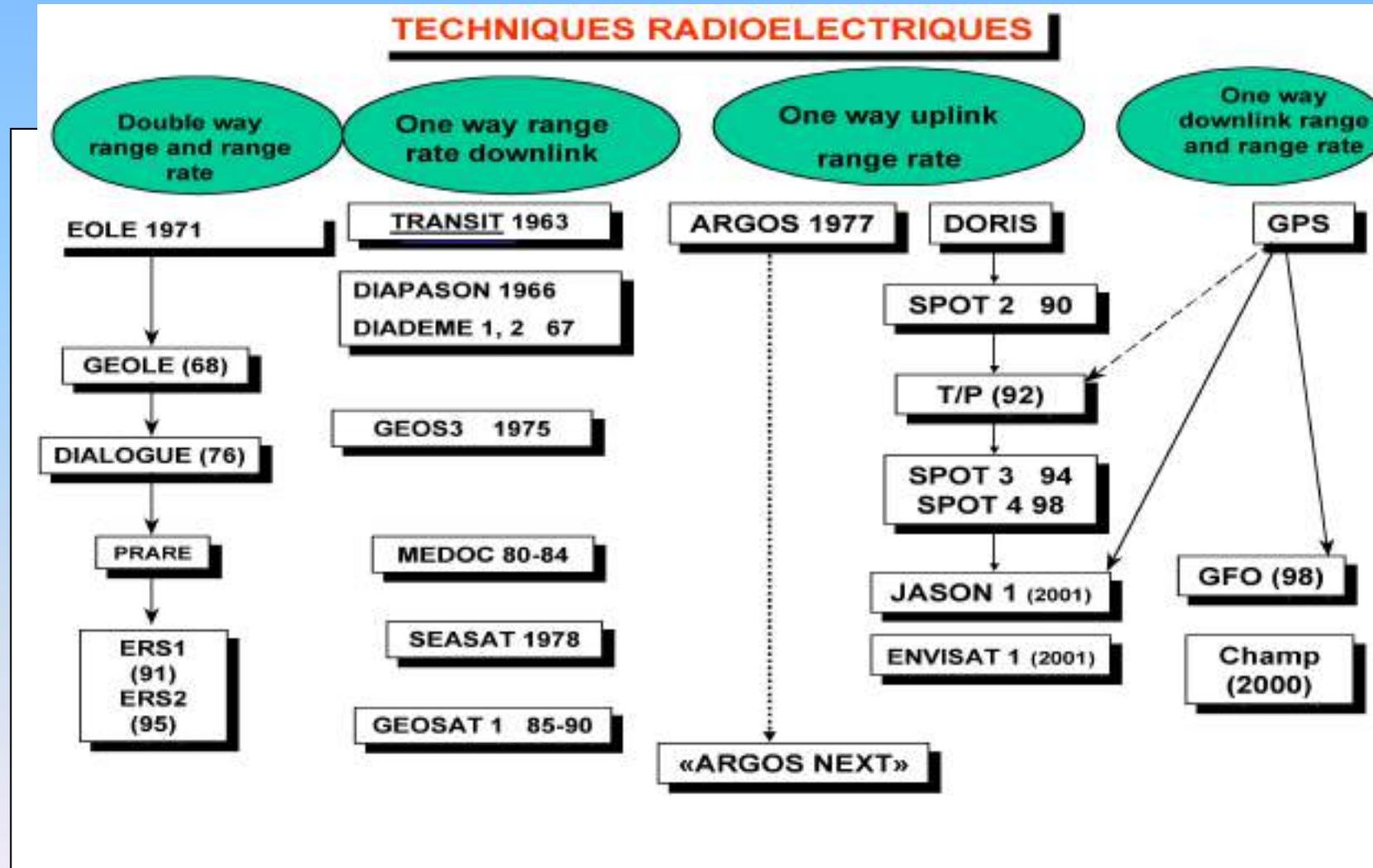


AS A CONCLUSION:

What kind of challenges for slr

- Stress on the **role played by SLR**
 - For specific parameters
 - Among other geodetic techniques
- Technology
 - **network** (e.g. SLR/LLR + VLBI),
 - precision / accuracy
 - automation, reduction of costs, etc.
- Data and products
 - Dissemination, Archiving
 - **Virtual Observatory** and International Cooperation
- Science
 - Many **new items and studies**
 - **Valorisation** of scientific contributions (present and futur) of SLR/LLR
 - Scientific papers, Special issues
 - Outreach

Les types de mesures radioélectriques



Conception du système Doris

Objectif : déterminer GM précision « 1 cm, 1 mois, 1 bassin »

Pas de système existant >>> nouveau système nécessaire

-- échantillonnage de l'orbite continu.

>> mesures radio électriques

>> réseau dense : stations sol simples, automatiques

-- précision sur SM équivalente à précision sur GM d'où :

>> doppler 0,3 mm / seconde ou distance 3 cm

>> héritage ARGOS : Doppler simple trajet émetteur au sol, récepteur à bord

>> OUS à quartz au sol et à bord : 10-12 / 1000 secondes

-- Avantages :

>> Une seule échelle de temps, celle de l'horloge bord

>> Collecte des données à bord :

Temps différé >> Centre de traitement

Temps réel >> calcul de l'orbite à bord, système DIODE

Stations sol : émettent sur deux fréquences, 400 et 2000 Mhz, pilotage par oscillateurs ultra stables (OUS)

Essais sur Spot 2 (1990) 40 stations

Mesures de base sur TOPEX POSEIDON : 50 stations

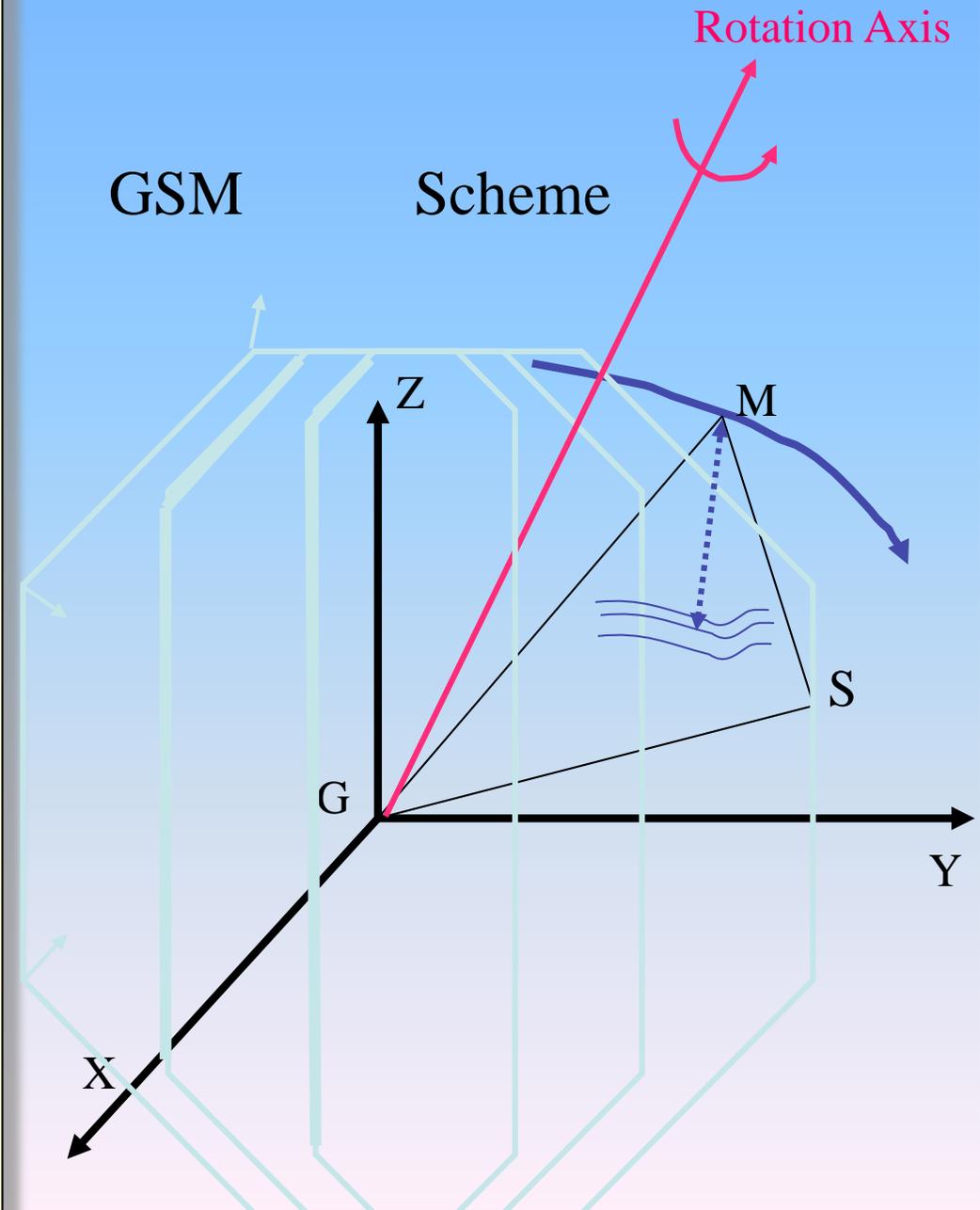
Résultats : Orbite précise : 2 - 3 cm

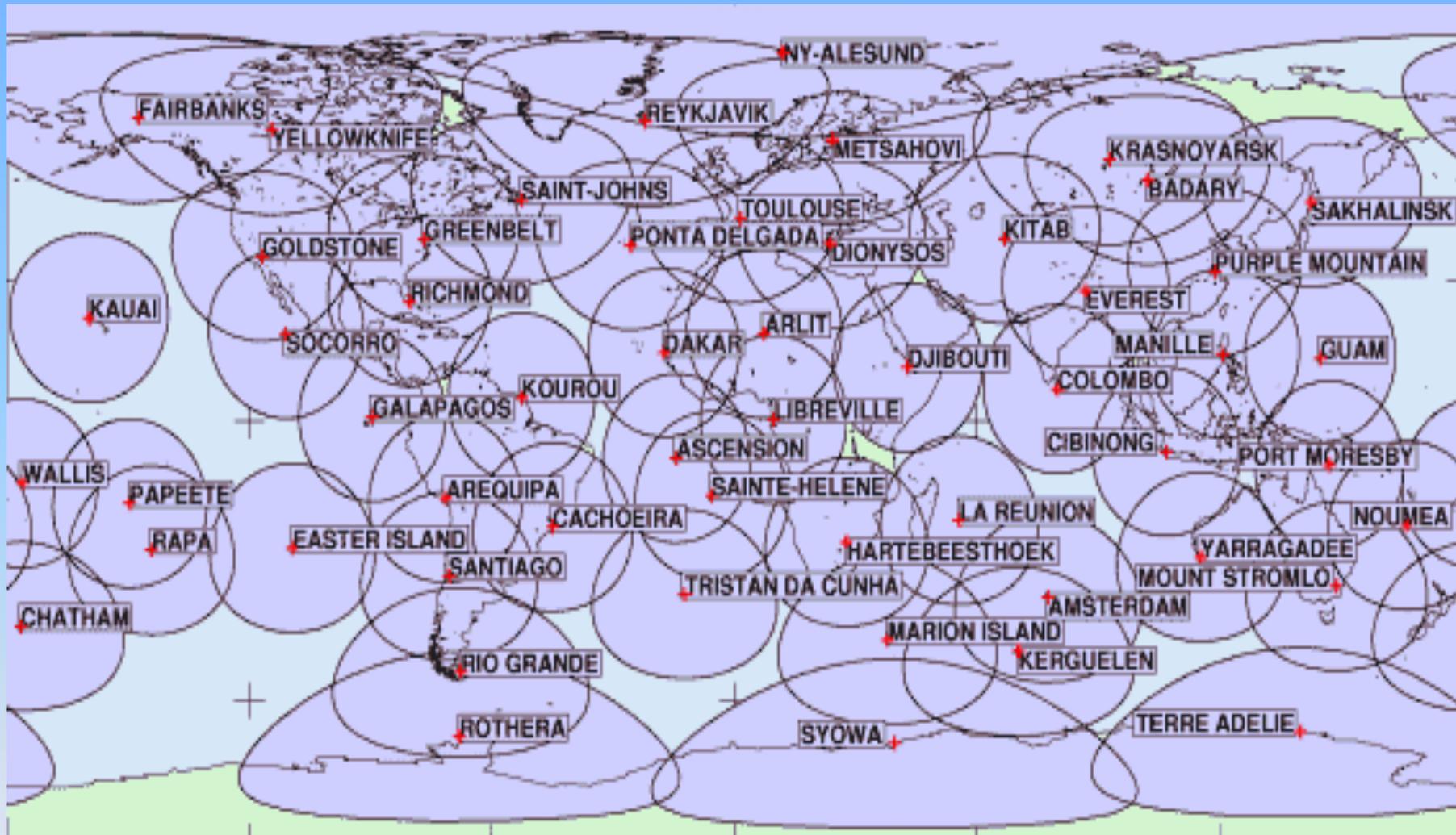
Embarqué sur SPOT 3, 4, et 5 : utilisation directe

Embarqué sur ENVISAT ET JASON 1

Prévu sur CRYOSAT, JASON 2, (PLEIADE)

Limitation : saturation au niveau réception







GNSS européen: Galileo

Anciennes diapositives de 2003

On espérait alors que Galileo
serait opérationnel en 2008

Aujourd'hui en 2008 on parle de
2013



Qu'est ce que Galileo?

Le programme européen de radionavigation par satellite



Galileo permettra à chacun, muni d'un récepteur, par exemple intégré dans son GSM, de capter des signaux émis par plusieurs satellites pour déterminer à tout instant **sa position dans le temps et dans l'espace.**

Galileo est basé sur une constellation de **30 satellites** placés sur orbite et couvrant en permanence l'ensemble du globe.

Où en est Galileo?

La phase de définition est achevée.



2002-2005

Phase de développement et de validation

2006-2007

Phase de déploiement

Dès 2008

Phase d'exploitation commerciale





Un enjeu majeur...

Sur le plan technologique



Comparable à d'autres grands projets européens tels Airbus ou Ariane, **Galileo** présente une **révolution technologique** comparable à celle engendrée par le téléphone mobile.

Sur le plan économique



Galileo permettra le développement d'une **nouvelle génération de services**: réduction des embouteillages, des accidents grâce au guidage automatique des véhicules, prospection pétrolière, préservation de l'écosystème, gestion des ressources rares telles que l'eau, transaction financières, sécurité des personnes et des biens.

Sur le plan politique



La révolution qu'entraînera la radionavigation par satellite exige que l'Union européenne ait la **maîtrise de cette technologie vitale au fonctionnement de notre société future**.





Galileo / GPS



- 30 satellites
 - Altitude : 23 600 km
 - free civil applications
+ extensions(scientific and dedicated)
 - Signals with codes
 - 3 frequencies
- 27 satellites
 - Altitude : 20 200 km
 - military and civil applications
+ scientific applications
 - Signals with codes
 - 3 frequencies

Objectifs de GALILEO

- Indépendance vis à vis du système militaire américain GPS
- Soutien à l'industrie européenne (segments sol et spatial, mise en place de nouveaux services)
- Amélioration des performances de GPS : meilleure exactitude, meilleure fiabilité, garantie des services, sécurité et intégrité du système.



Galileo

enjeux stratégiques scientifiques,
techniques

par

l'Académie de marine, l'Académie de l'air et de
l'espace,

le Bureau des longitudes

Chez

l'Harmattan

FIN des diapositives Galileo

PROGRÈS DANS LA PRÉCISION DES MESURES

	1975	1985	1995	2000
LASER	150 cm	30 cm	3 cm	1 cm
DOPPLER	5 cm/s	1 cm/s	0.03 cm/s	0.01 cm/s
ALTIMETER	20 cm	5 cm	2 cm	0.5 cm
ACCELEROMETER	10^{-9} m/s^2	$5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}^2$	10^{-10} m/s^2	10^{-13} m/s^2
CLOCKS	10^{-11} (10^{-12})	10^{-12} (10^{-13})	$3 \cdot 10^{-13}$ (10^{-14})	10^{-14}

Spatial geodesy:

« multi-technique science »

PRODUCT	LLR	VLBI	SLR	GPS/ GALILEO	DORIS	SST- II
Celestial frame		***				
Attachment to solar system	***	*				
Attachment to the Earth						
<i>Precession-Nutation</i>	**	***	*	*		
<i>Universal Time</i>	*	***				
Earth Rotation						
<i>Length of day</i>		***	*	***		
<i>Polar motion</i>		***	**	***	*	
Terrestrial frame						
<i>Homogeneity of the world coverage</i>		*	*	**	***	
<i>Centre of mass (GM)</i>			***	*	*	
<i>Centre of figure</i>		**				
<i>Tectonic plates motion</i>		***	**	***	***	
<i>Densification</i>			*	***	**	
High satellite orbitography						
<i>GPS/GALILEO -like</i>			*	***		
<i>LAGEOS, ETALON -like</i>			***			
Low satellite orbitography						
<i>TOPEX/Poséïdon, JASON-1 -like</i>			**	***	***	
<i>ERS, ENVISAT -like</i>			**	***	***	
<i>CHAMP, GRACE -like</i>			*	***		***
Gravity field						
<i>Long spatial wavelengths (static part)</i>			***	**	*	*
<i>Moderate and short wavelengths (static part)</i>			**	***	**	***
<i>Time-varying part</i>			**	*		***

Vitesse des plaques tectoniques par plusieurs techniques

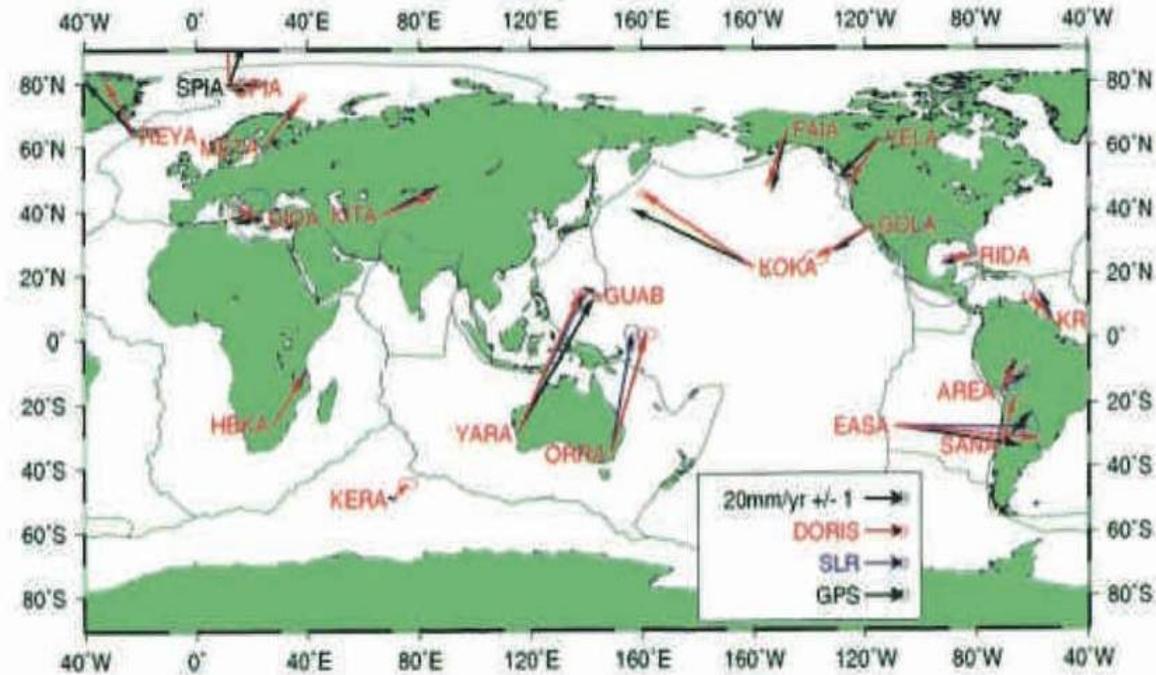
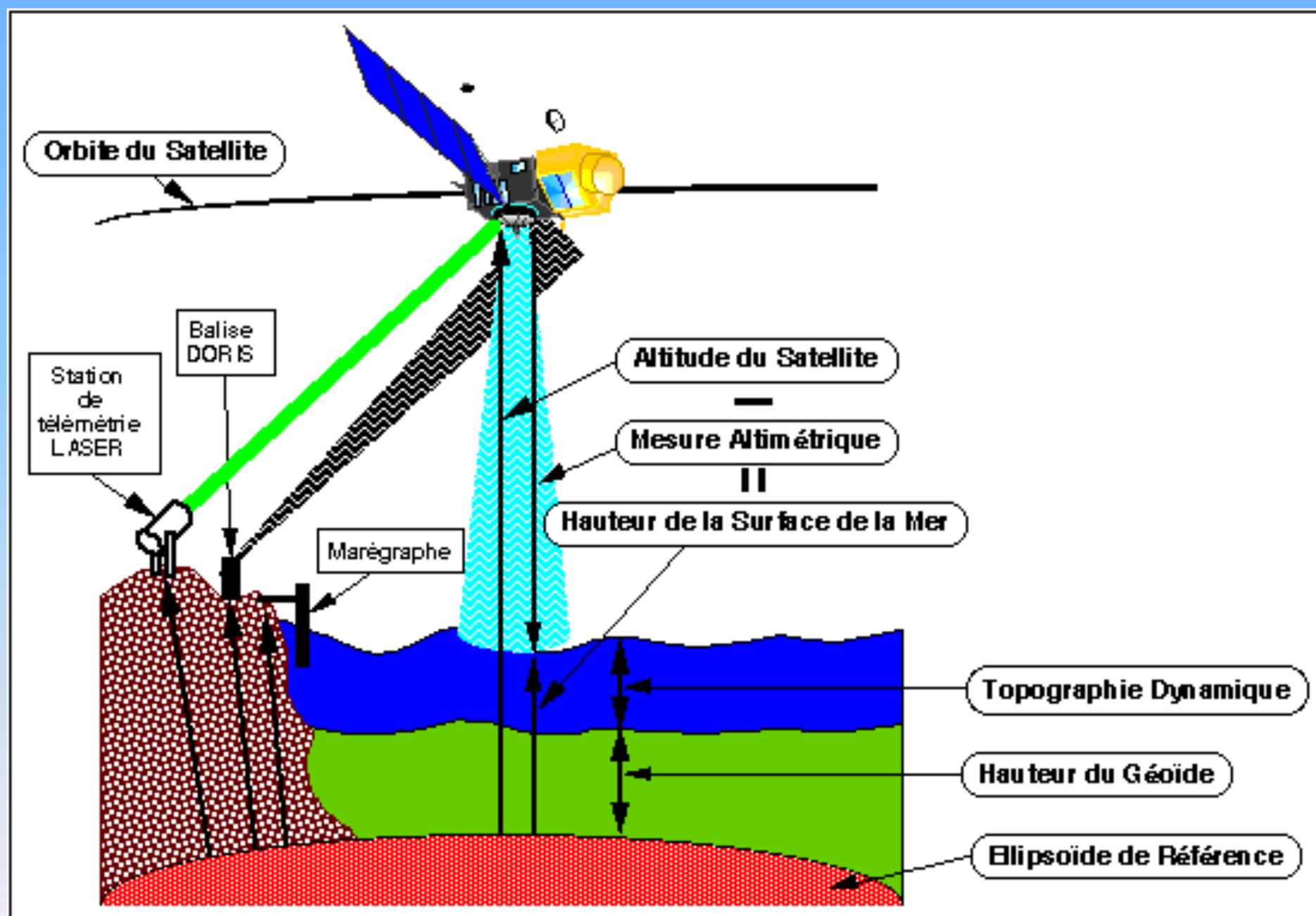
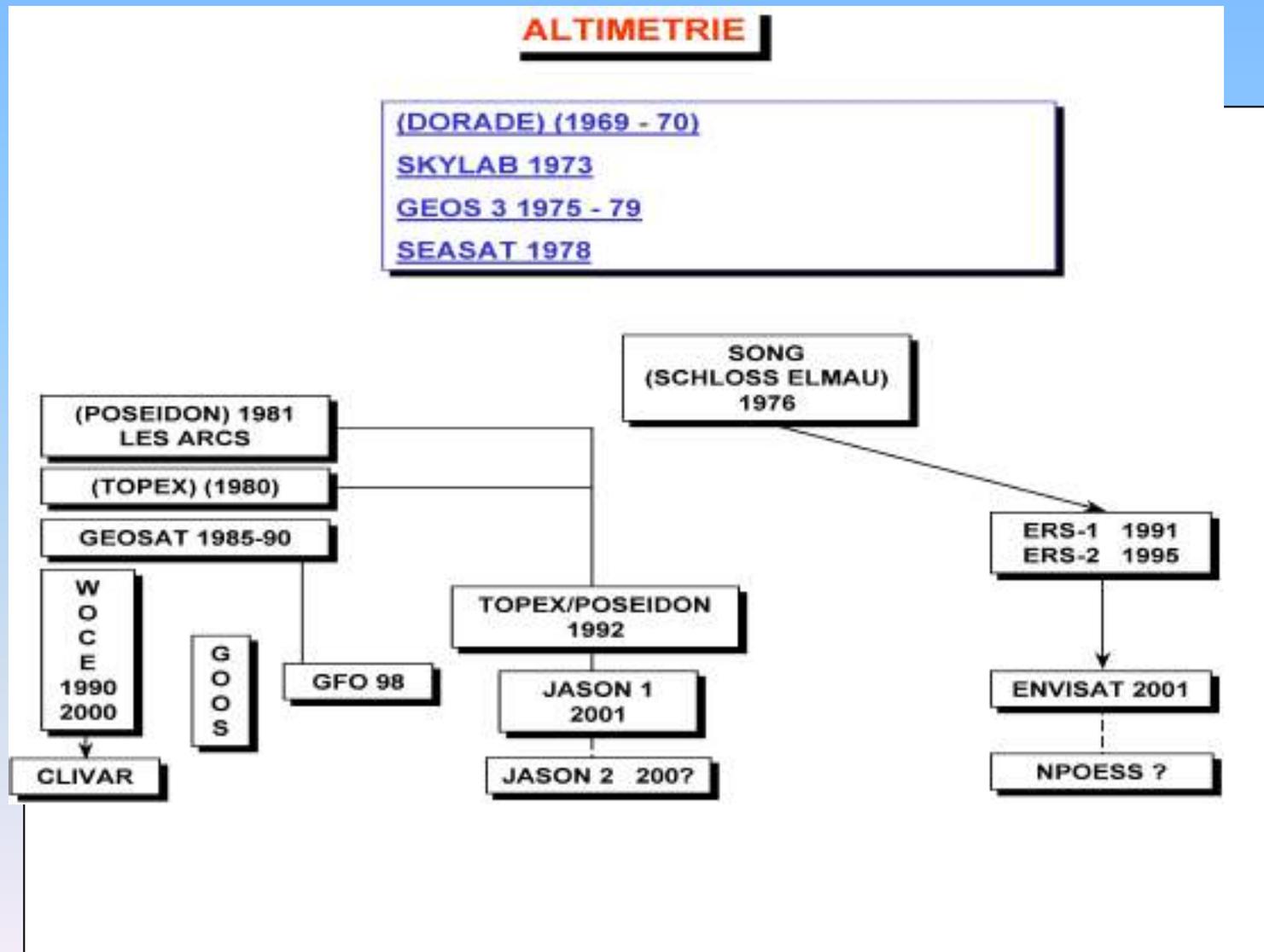


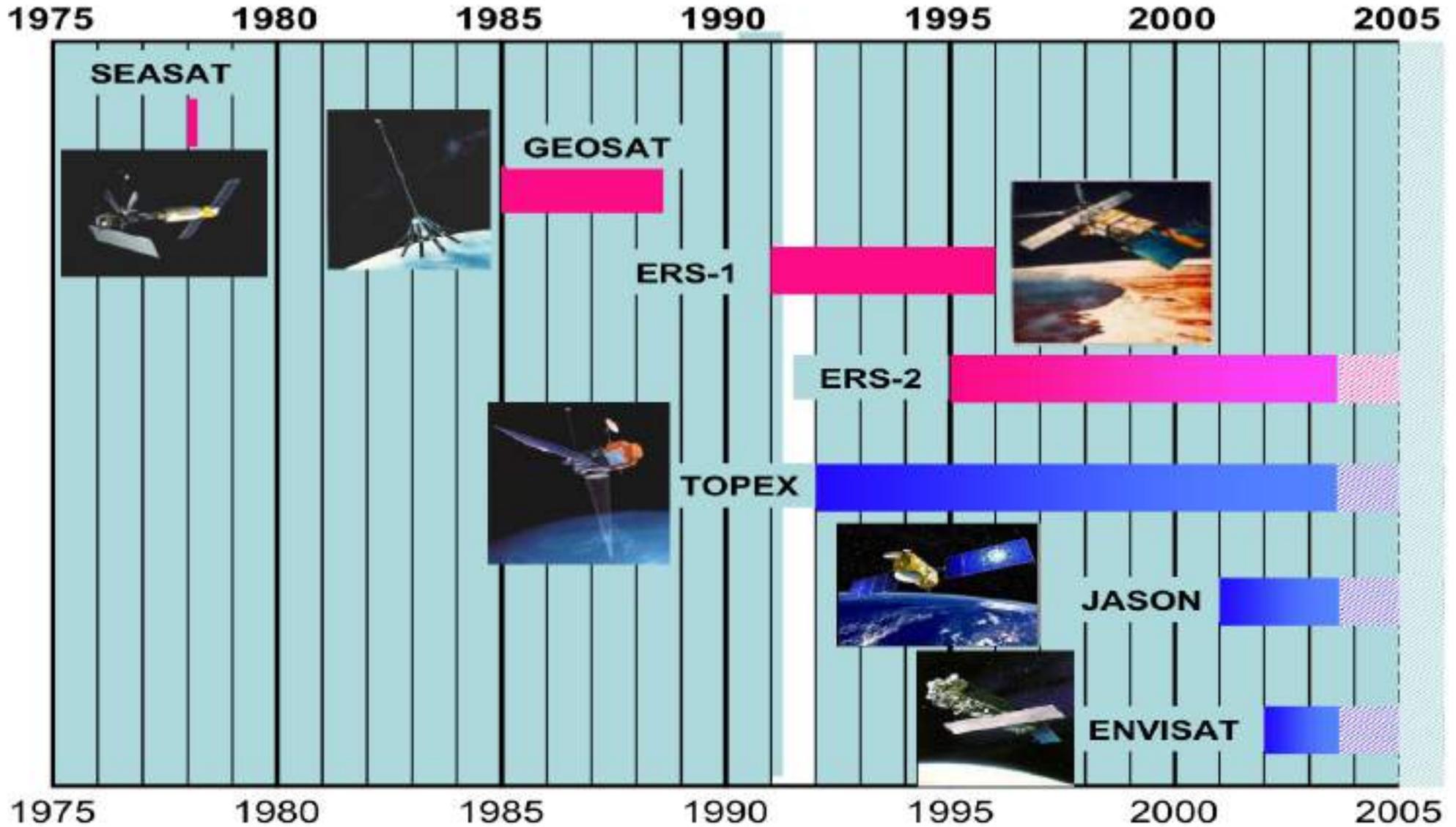
Figure 10 Velocities of plate tectonic motions deduced from three space geodetic techniques DORIS, SLR, GPS. (CNES/GRGS document, Toulouse, 1998.)



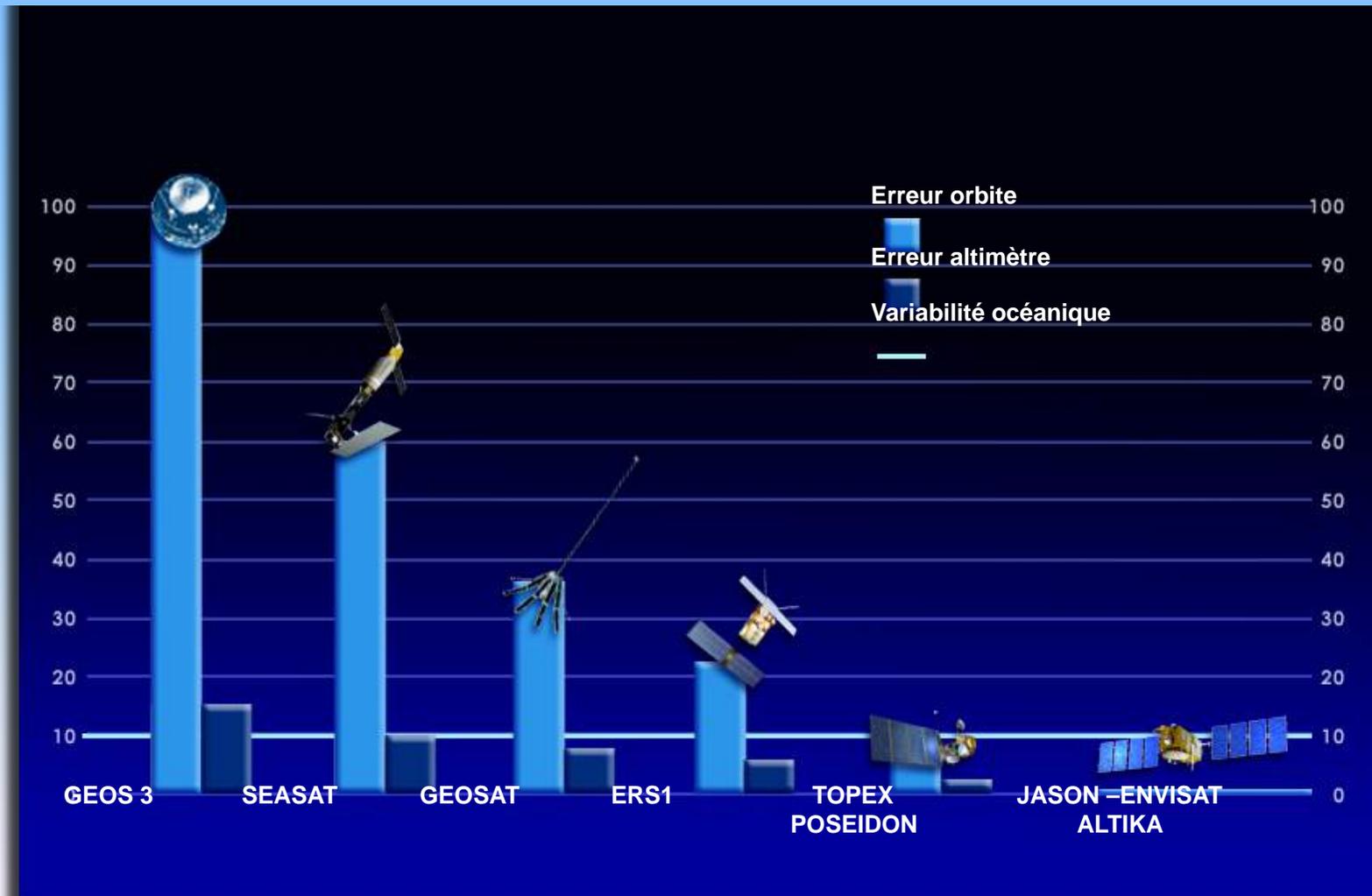
Altimétrie des océans et des glaces



Missions altimétriques



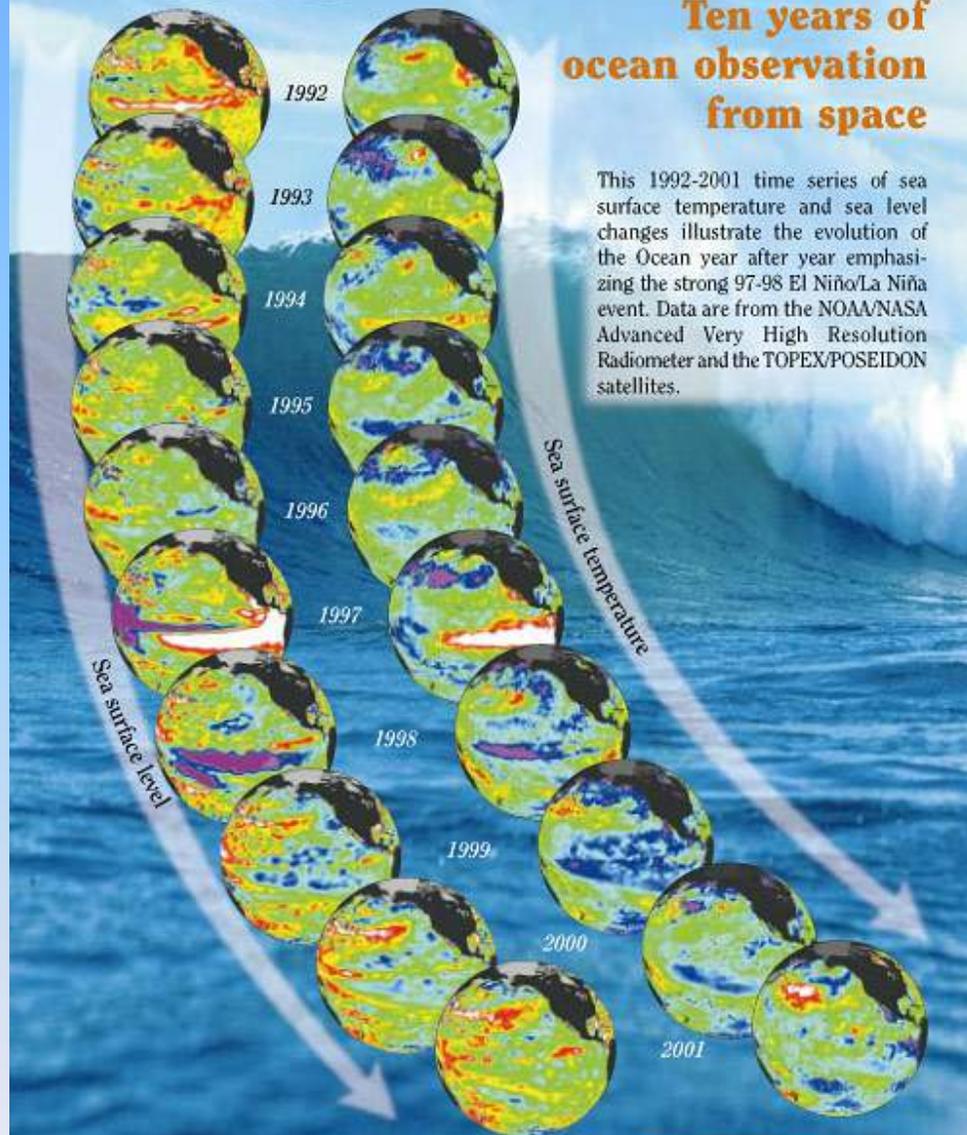
Évolution de la performance des missions altimétriques



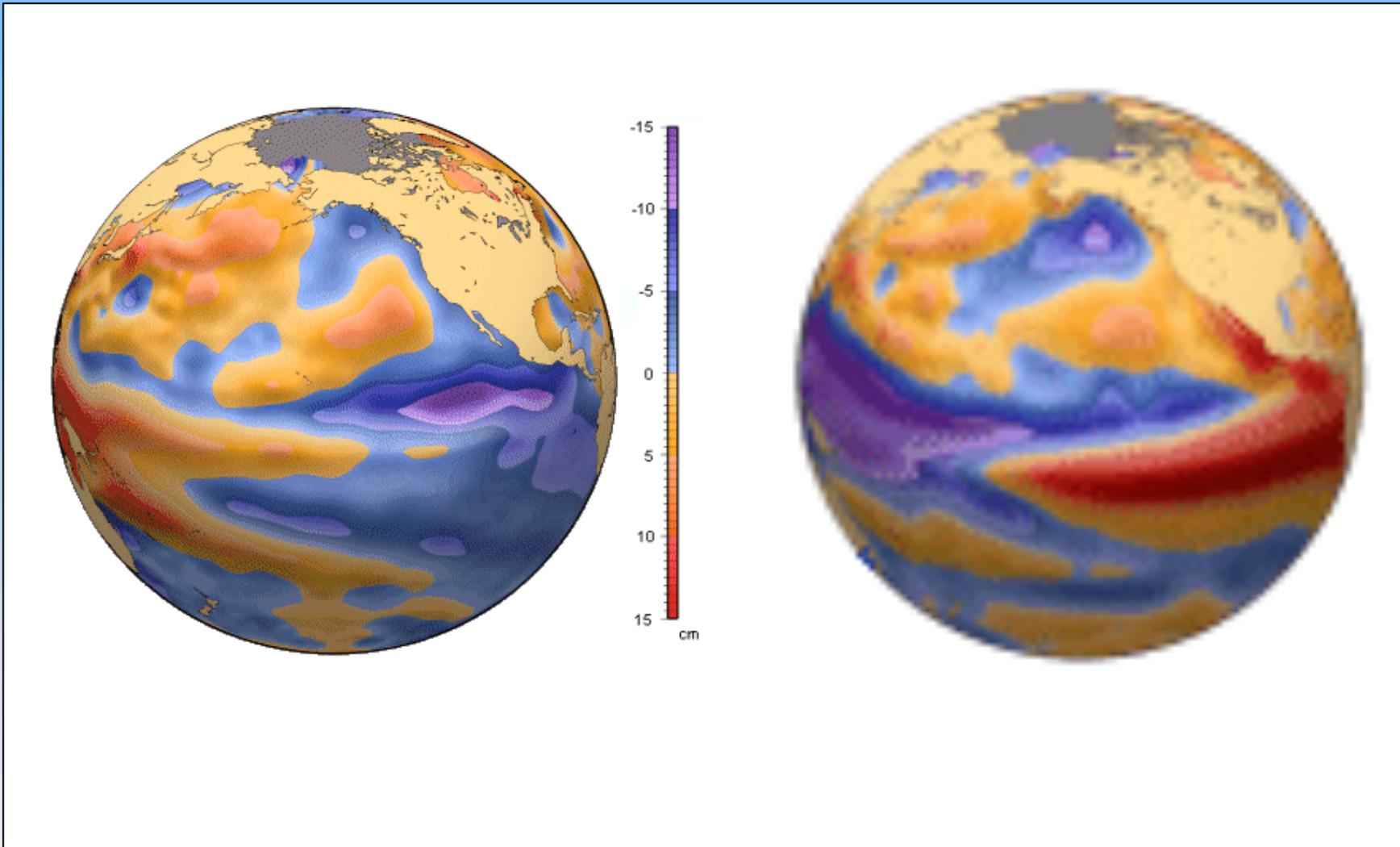
Observing the oceans from space

Ten years of ocean observation from space

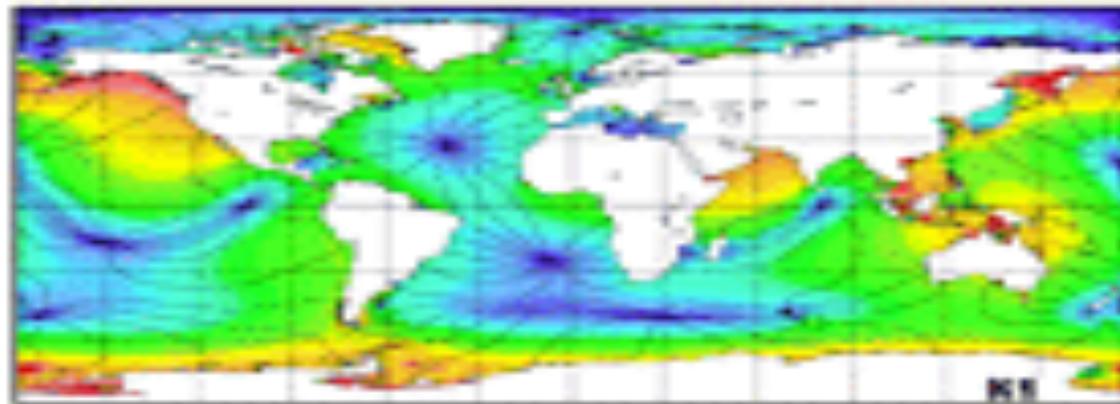
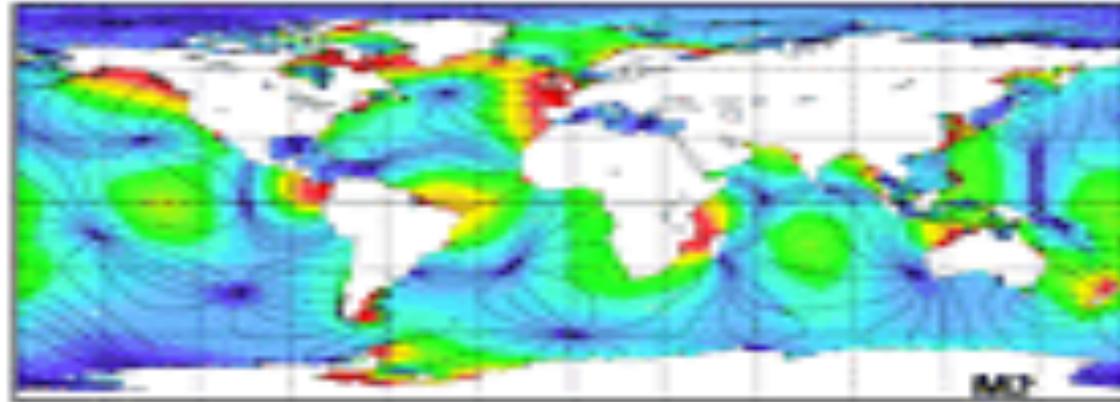
This 1992-2001 time series of sea surface temperature and sea level changes illustrate the evolution of the Ocean year after year emphasizing the strong 97-98 El Niño/La Niña event. Data are from the NOAA/NASA Advanced Very High Resolution Radiometer and the TOPEX/POSEIDON satellites.



El Niño : niveau des mers en Nov 1996 et Mars 1997



Amplitude des ondes de marées M2 et K1



Les gens de Mer



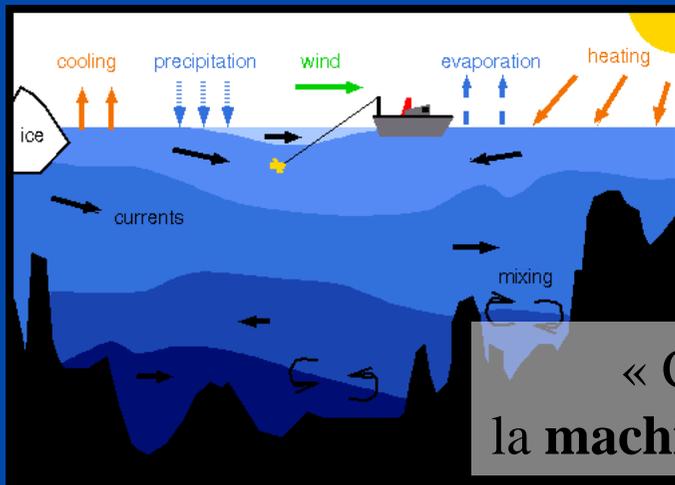
« Apprivoiser l'océan, mon univers. »

Les gens du Climat



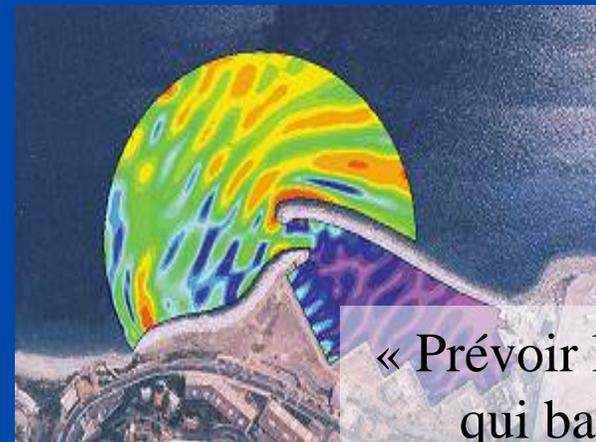
« Prévoir l'océan, composante lente du climat »

Les gens de Science



« Comprendre la machine-océan »

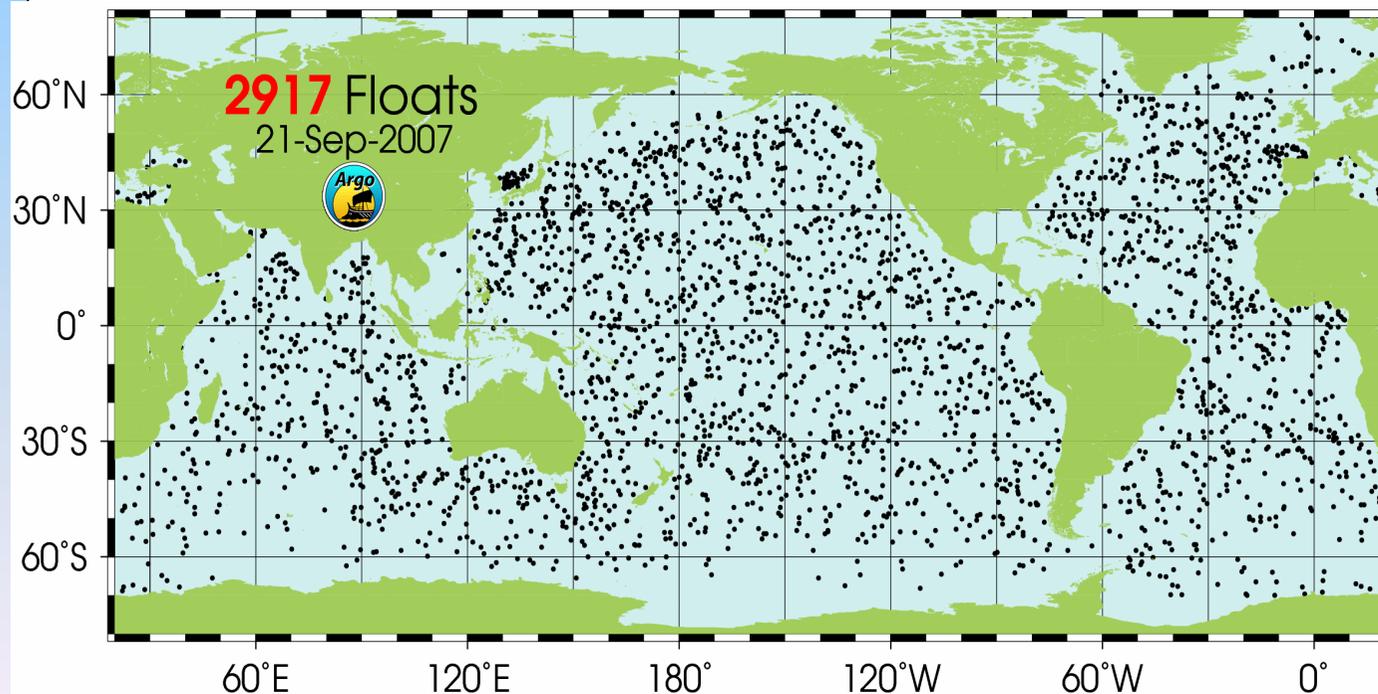
Les gens de la Côte



« Prévoir l'océan du large, qui baigne mes côtes »

Mesures In situ : réseau ARGO

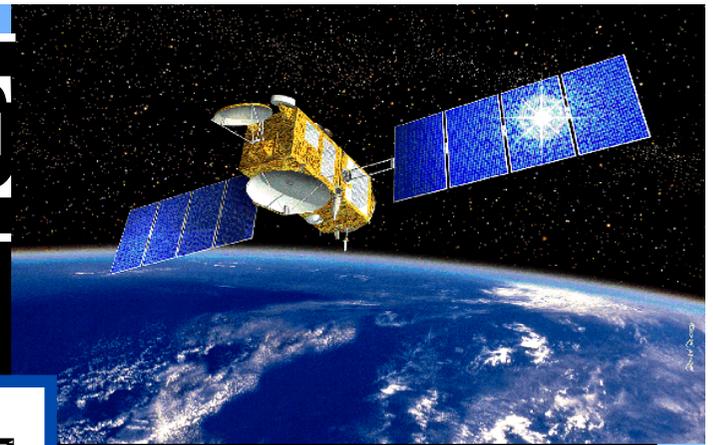
- Réseaux d'une flotte de 3000 profileurs
- Mesure de la température et de la salinité sur 2000 m de profondeur



2004

GODAE

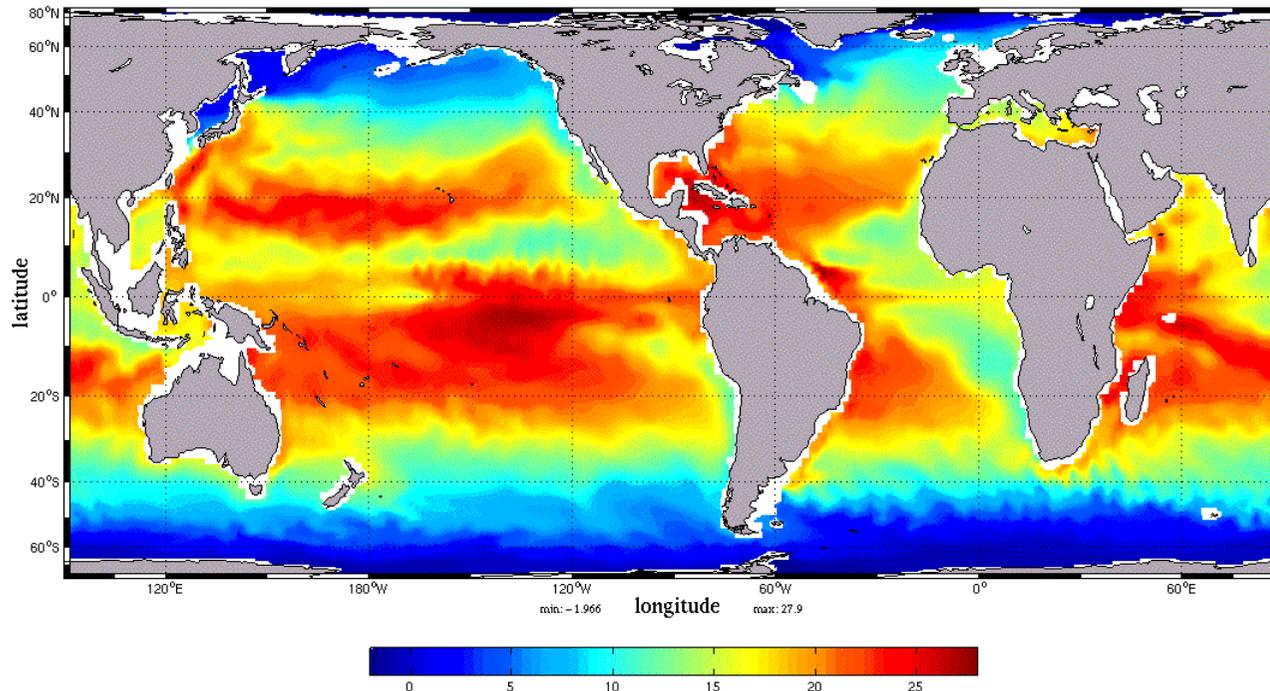
Global Ocean Data Assimilation Experiment



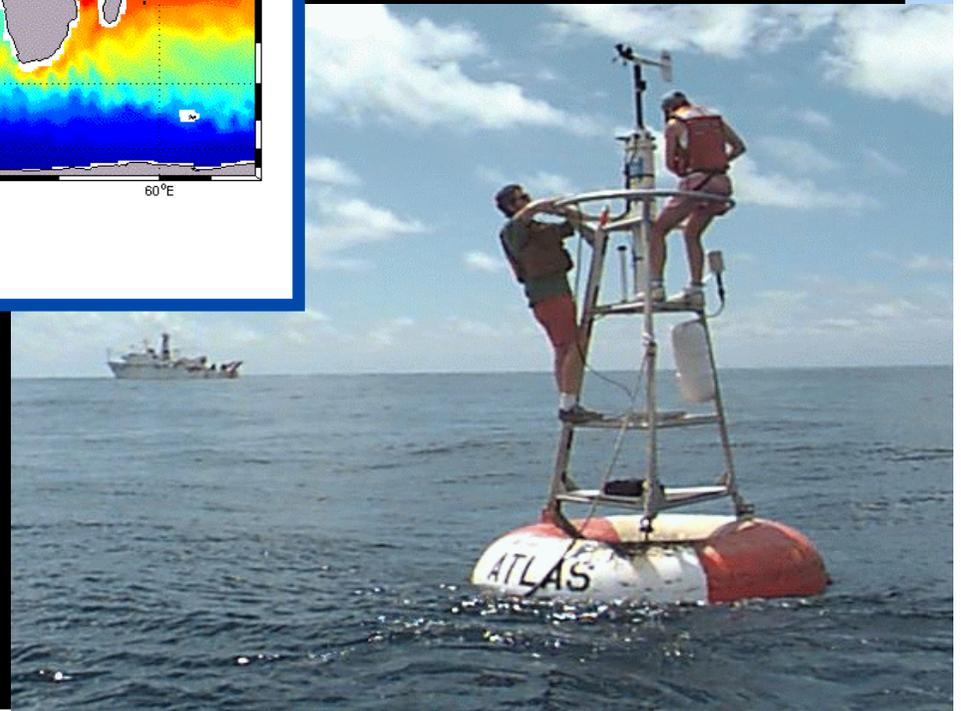
2003-2005

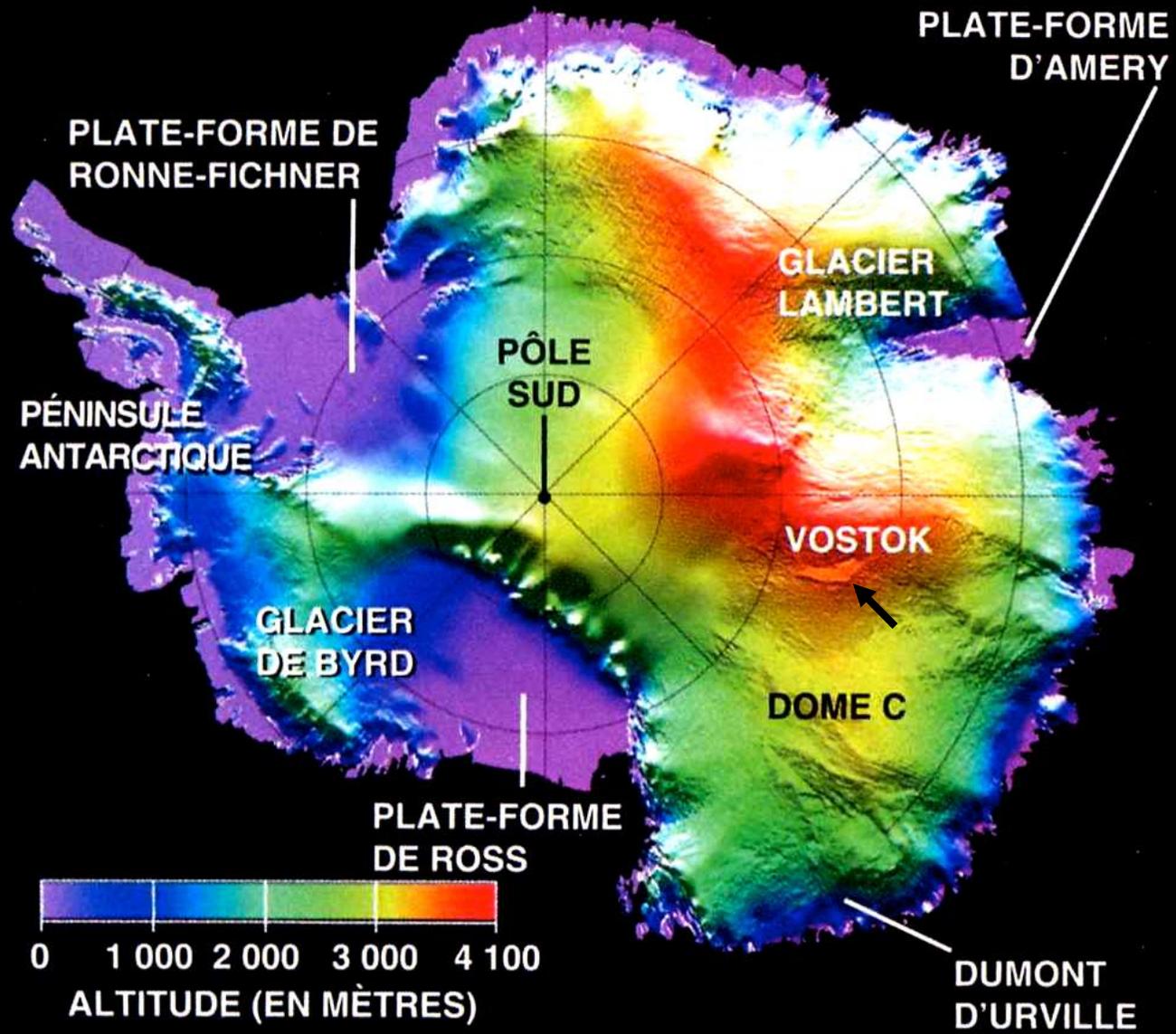
Première expérience internationale d'océanographie opérationnelle grandeur nature.

analysed temperature on 26-12-97 near 100m

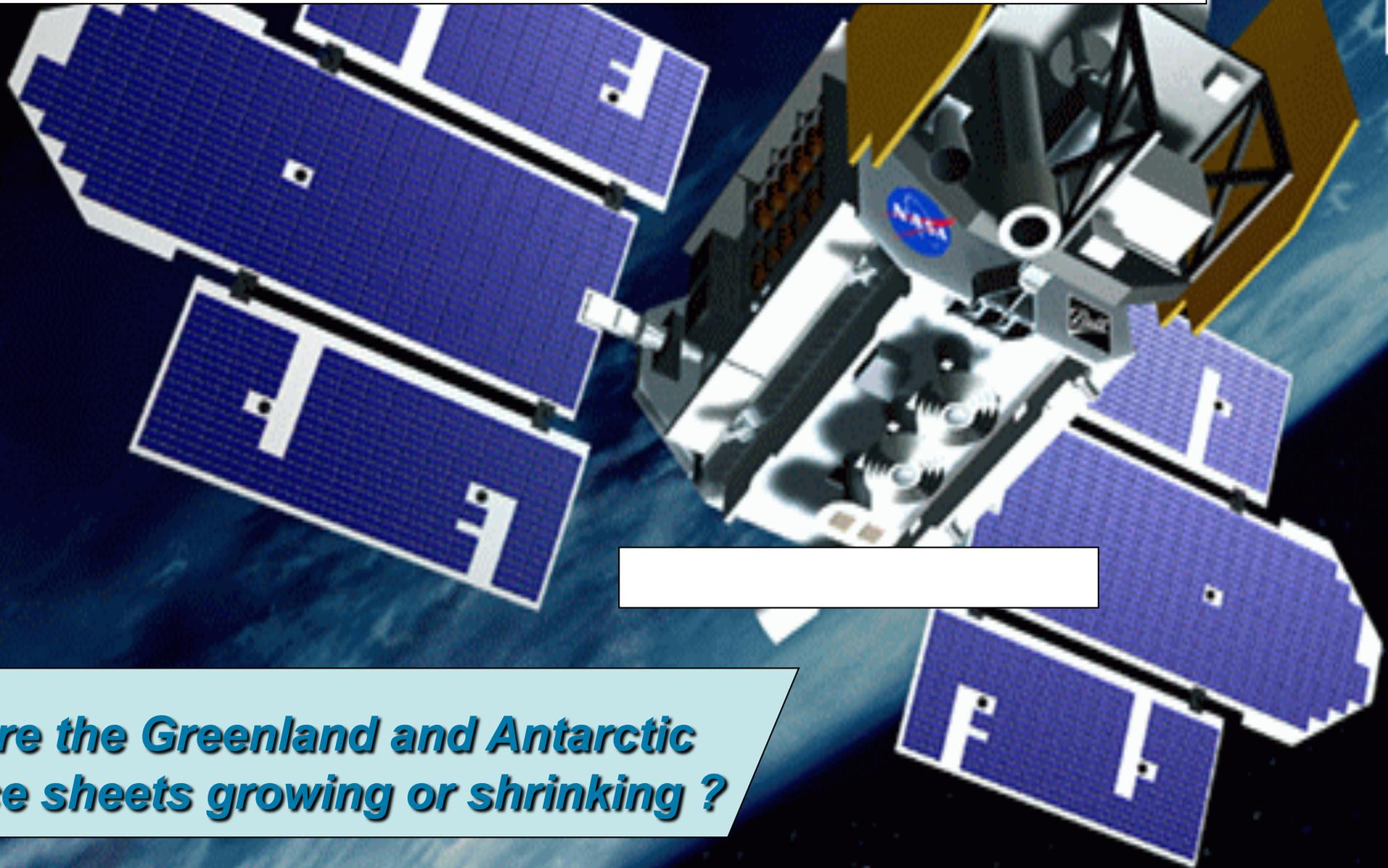


Australie, Brésil, Etats-Unis,
Grande-Bretagne, France, Japon,
Norvège, ...





ICESat



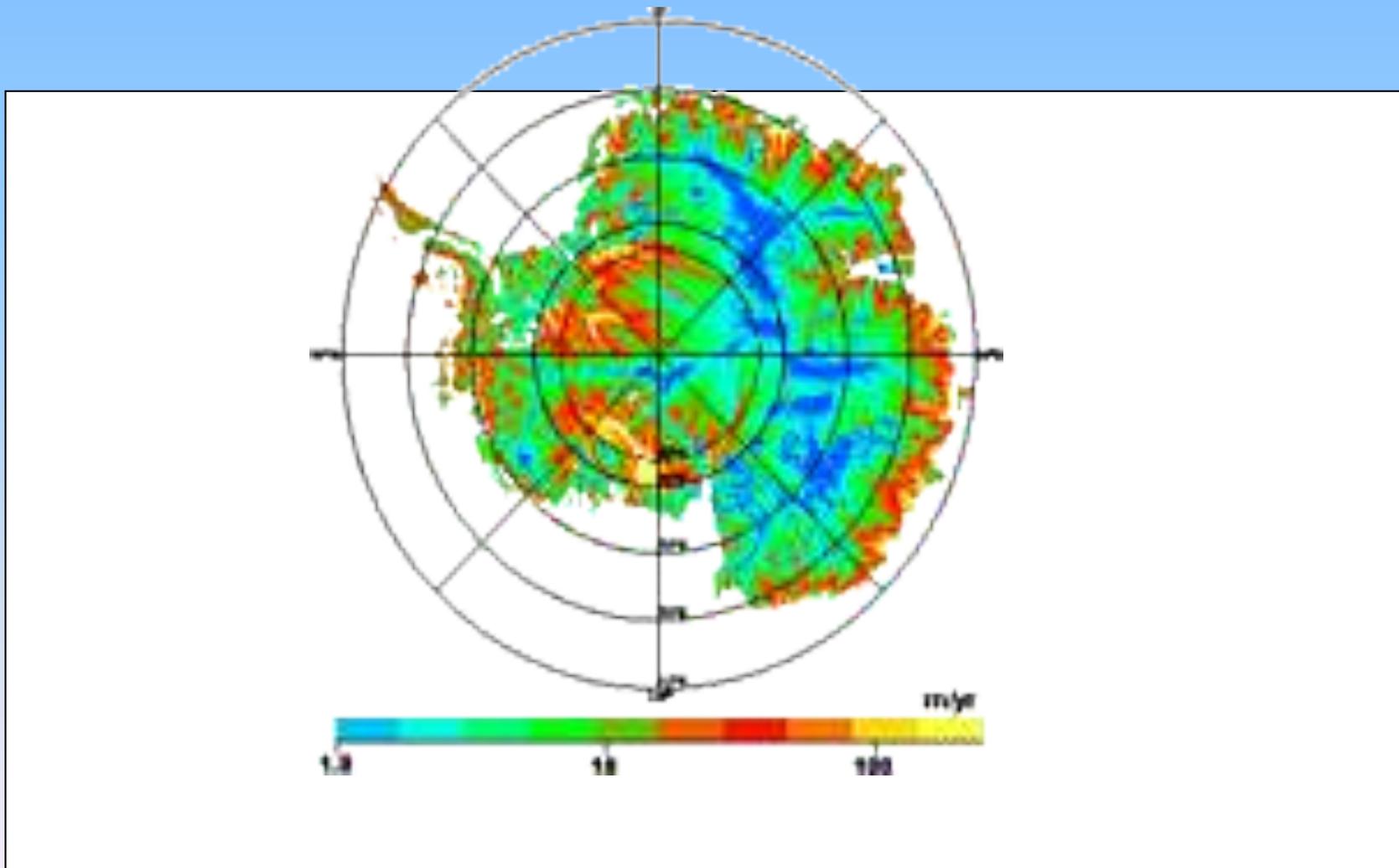
Are the Greenland and Antarctic ice sheets growing or shrinking ?

2009: Cryosat-2 satellite



monitoring precise changes in the
thickness of the polar ice sheets and
floating sea ice

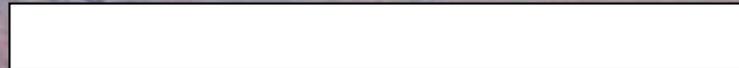
Vitesse d 'écoulement des glaces

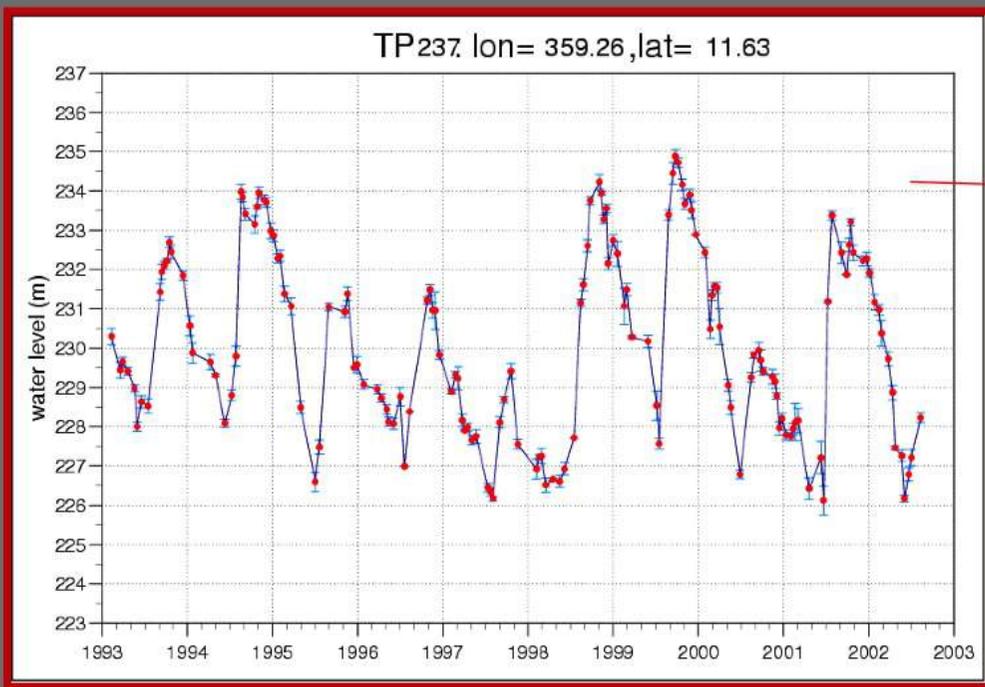
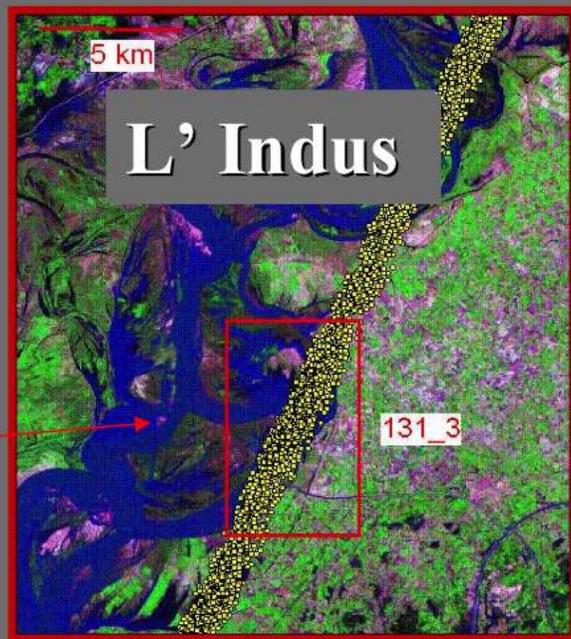
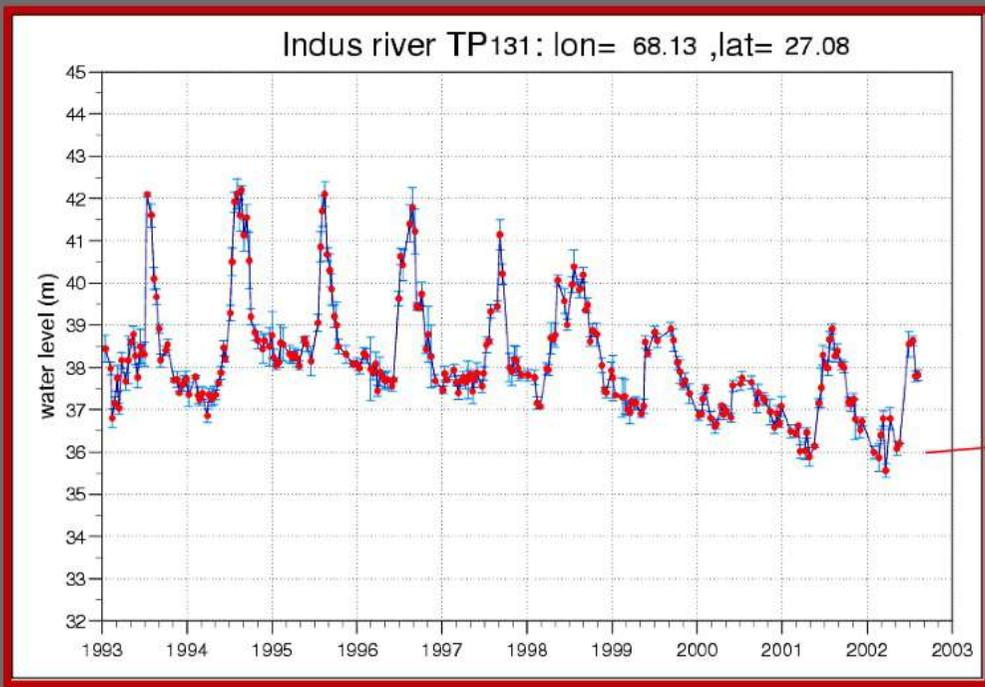


Continental waters, land, ice topography

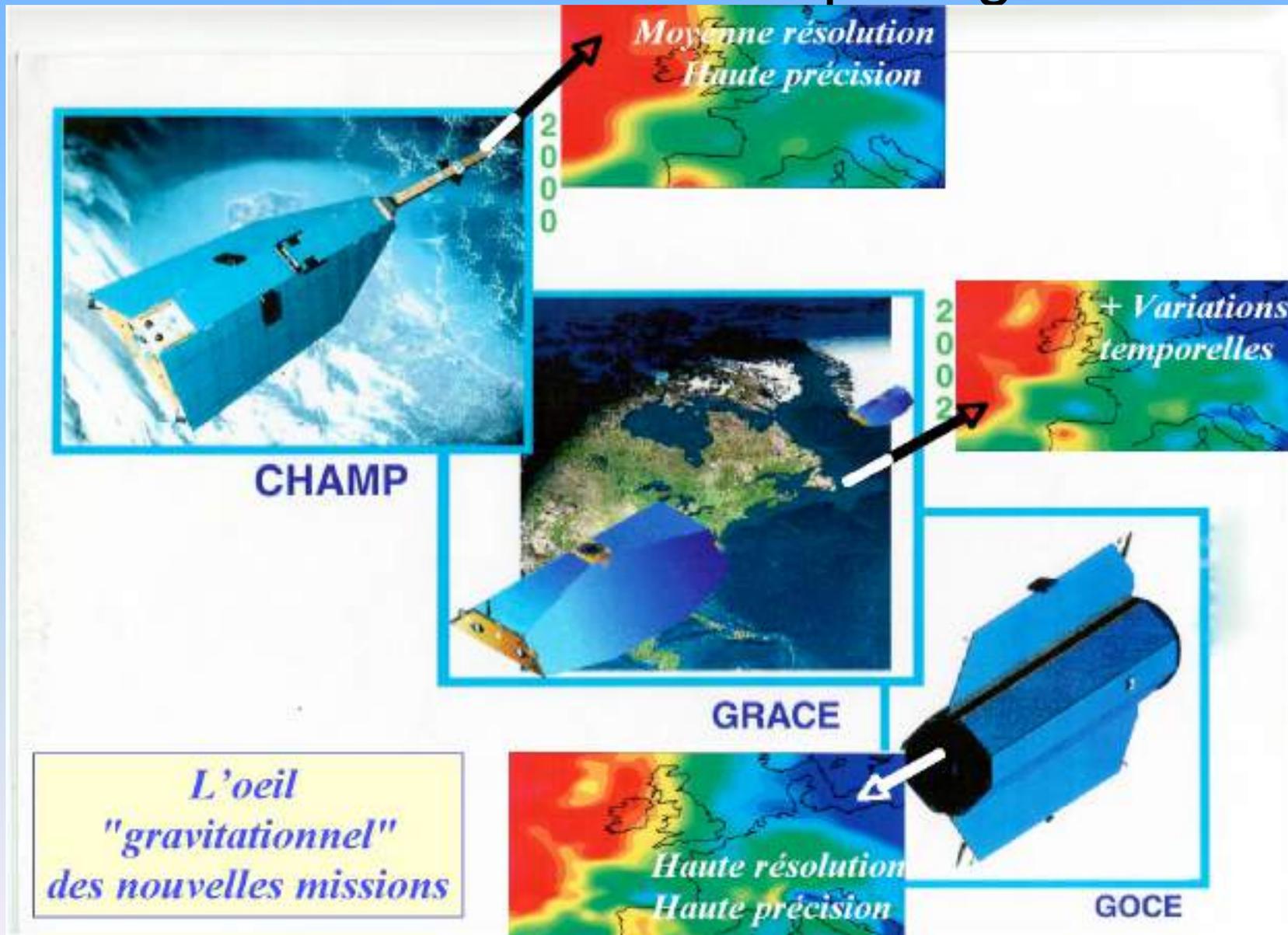
Etude des eaux continentales par altimétrie spatiale

Continental waters by spatial altimetry

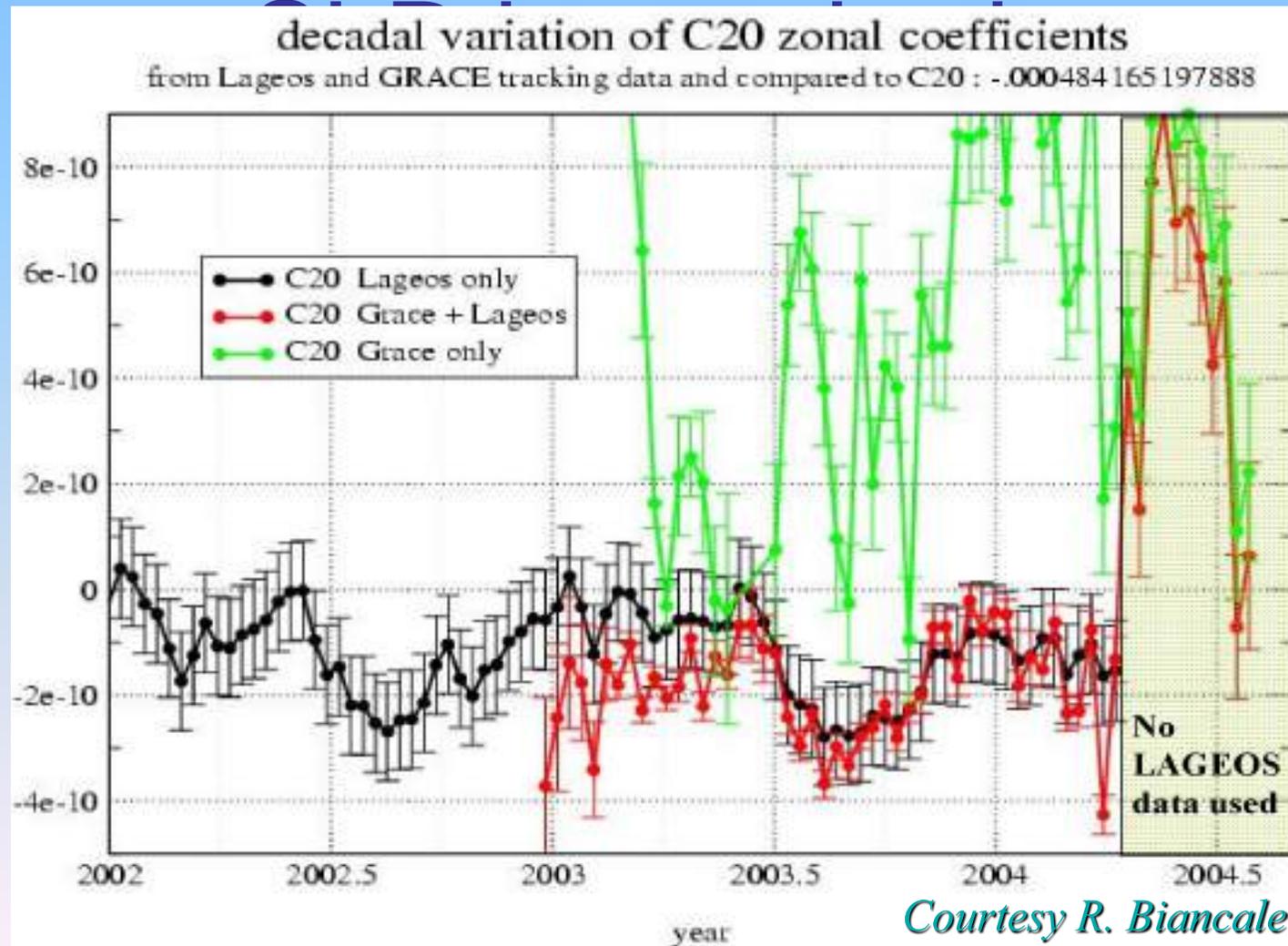




La décennie du champ de gravité



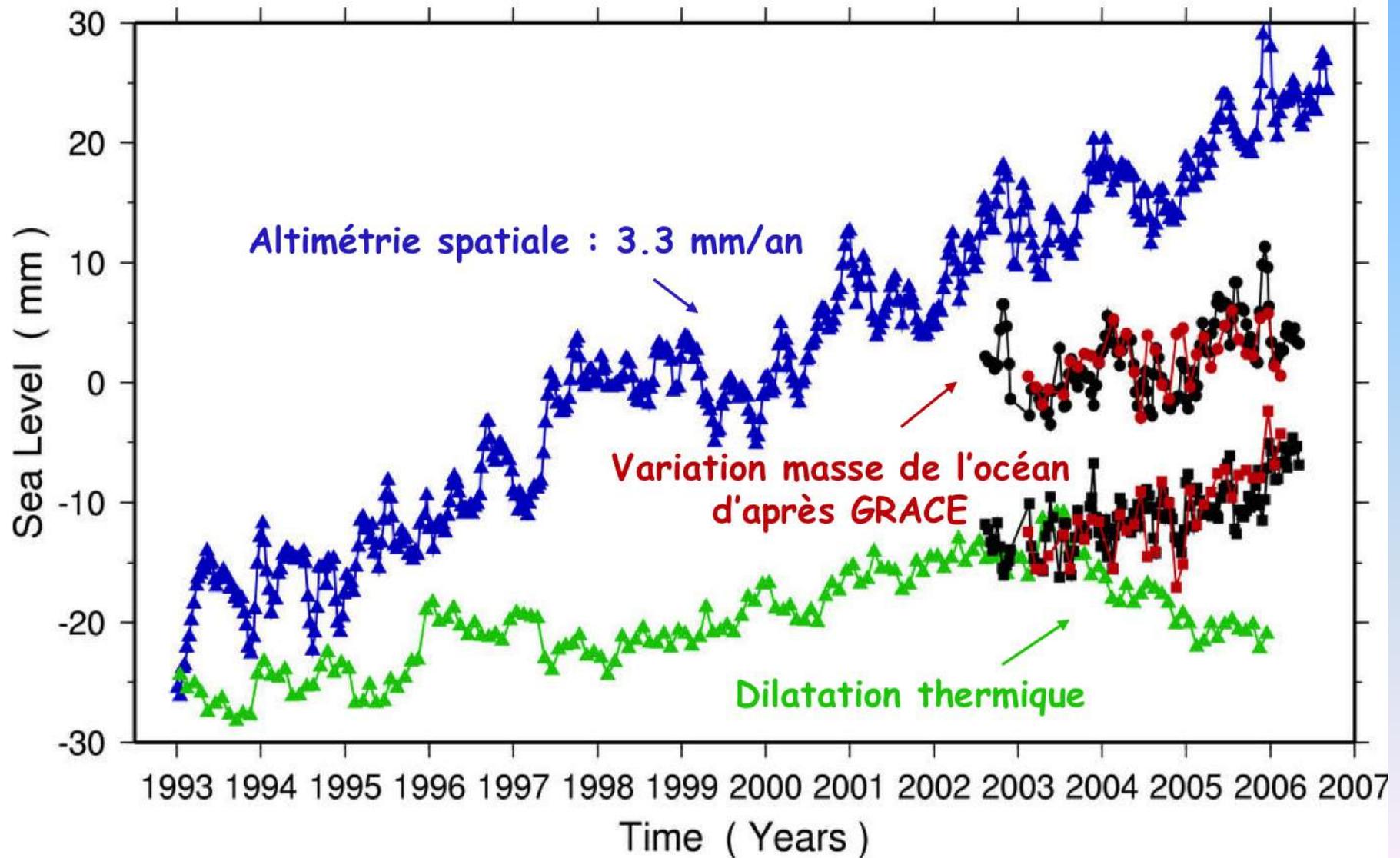
Temporal variations of Earth gravity field: C_{20} , C_{30} ...



En noir solution « Grace » GRGS, en rouge GFZ

5.

Niveau de la mer



Lombard et al. (2007)

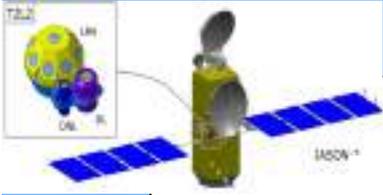
International Cooperation

- **GGOS (Global Geodetic Observing System, IAG)**
 - review of used Constants, Conventions, Models and Parameters and...
 - ILRS.....!
- Several other groups
 - CEOS: Committee Earth Observation satellite
 - **IGOS-P: Integrated Global Observation Strategy**
 - GMES Global Monitoring for Environment and Security
 - And:
 - GCOS Global Climate observing system
 - GOOS Global Ocean Observing System
 - GTOS Global Terrestrial Observing System
 - GEOSS Global Earth Observation System of Systems
 - GEO WG Group on Earth Observation WG
 - IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
 - ...

AUTRES DOMAINES ET COMPOSANTES

- Mesure du champ magnétique
- Mesure de la déformation des volcans - volcanologie
 - Mesure de la vitesse des ondes sismiques - sismologie
 - Mesure des paramètres météorologiques et climatologiques
 - Mesure des paramètres de
L'atmosphère supérieure de la Terre et de
l'environnement terrestre et solaire

Rôle de l'imagerie optique, radar, interférométrie
en études des déformations et variations des surfaces



Jason-2

Next challenges



- **Earth**

- Climate change and oceanography
 - Ice sheet, land surface, vegetation changes, clouds, upper atmosphere
 - Absolute calibration, orbitography: Cryosat-2, AltiKa, interferometer altimeter, GOCE
- Gravity field: *Low degrees, including secular variations, mass transfer*
- Navigation & positioning:
 - GPS, GLONASS, Galileo, Chinese-Compass
 - LAGEOS -1 and -2 !

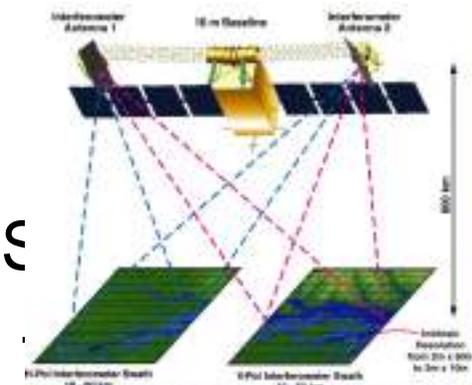
Interferometric Altimeter Concept

- **Space and Technology**

- Network, laser, clocks
- Time transfer, formation flying, space debris

- **Other planets (including Moon) and Solar S**

- Celestial mechanics, and planetology (**LRO-LR**,
- Navigation
- Fundamental physics





FIN

JEUX DE MOTS GÉODÉSIQUES sur la MESURE

JE PÉSE MES MOTS : JE MESURE MES PAROLES

Faire BONNE MESURE ET SE MESURER A : **coopération**
DONNER TOUTE SA MESURE: **échange des données**

Emploi du TEMPS à sa MESURE : **synchronisation**
TAILLER SUR MESURE: **prédépouillement**
BATTRE la MESURE

TON MESURÉ : **doppler**
PAS MESURÉS: **distances**

il faut DEPASSER LA MESURE
se passionner OUTRE MESURE

AVOIR COMMUN : **MESURES SIGNIFICATIVES**

Jeux de mots géodésiques sur la mesure (suite)

MESURER SES FORCES , SON CHAMP sans PRESUMER DE SES
FORCES - PRENDRE POUR MODELE ...

PRENDRE LA MESURE DU MODELE, SES MENSURATIONS

MESURER L ETENDUE DU PROBLEME
DANS TOUTES SES DIMENSIONS

DANS UNE LARGE MESURE : ON EST GLOBAL

LES INTERPRETES JOUENT EN MESURE LA SYMPHONIE DU
NOUVEAU MONDE

QUELQUES PHRASES CLES ET CONSEILS

ALLER AU FUR ET A MESURE SE DEPENSER SANS MESURE
NE MESURER NI SON TEMPS NI SA PEINE - PRENDRE LA MESURE
DE SES POSSIBILITES - MESURER SA CHANCE SON BONHEUR

**les instruments de mesures doivent être déployés dans des
systèmes permanents**

Applications à TOPEX/Poséidon (suite 1)

LA QUANTITE DITE "CALCULEE" est aussi la distance topographie de surface ellipsoïde, la topographie de surface est calculée à partir de modèles de circulation océanique et de modèles de marées: elle dépend de la physique du modèle océanique représenté par des paramètres liés au forçages et la différence observée moins calculée peut être minimisée par une approche statistique ; les dérivées partielles de cette quantité par rapport aux paramètres nous permettent de recalculer ces paramètres, la non linéarité peut être résolue en faisant des itérations ; il faut remarquer qu'on détermine en même temps plusieurs types d'inconnues, les inconnues liées au modèle de l'élément étudié, les inconnues liées aux incertitudes sur les erreurs de la quantité observée pour la partie modèle océanique; les ajustements peuvent être trompeurs : on utilise un modèle paramétrisé supposé représenter l'océan et sa physique ; si ce modèle est incorrect l'ajustement peut être sujet à caution ; on peut minimiser en ajustant des paramètres non pertinents!

Applications à TOPEX/Poséidon (suite 2)

Pour la partie "OBSERVÉE " il y a aussi de nombreuses inconnues erreurs systématiques, aussi bien erreurs de mesure que paramètres des algorithmes de correction ; c'est aussi une possibilité d'améliorer les systèmes suivants ; on voit bien qu'il s'agit d'un système complexe ; l'analyse des données va nécessiter une connaissance de toutes les parties du système ; de plus la durée de projets de ce type est en moyenne d'une vingtaine d'années; pendant une telle durée la technologie change ,la compréhension des mesures s'améliore par les travaux des utilisateurs ; les performances en vol sont souvent-toujours ? -meilleures que les spécifications pour gérer cette complexité une approche différente a été utilisé : un SCIENCE WORKING TEAM a été formé comprenant les P.I.s, les équipes projet et des représentant des agences ; l'originalité était d'associer utilisateurs et équipes projet PENDANT TOUTES LES PHASES DU PROJET ET, DE DONNER À CETTE STRUCTURE LA POSSIBILITÉ D'EXERCER DE VRAIES RESPONSABILITÉS.