COLLÈGE DE FRANCE
1530

Chaire Développement durable - Environnement, Énergie et Société

Professeur Anny Cazenave

Année académique 2012-2013

Cours n°6 - 27 mai 2013

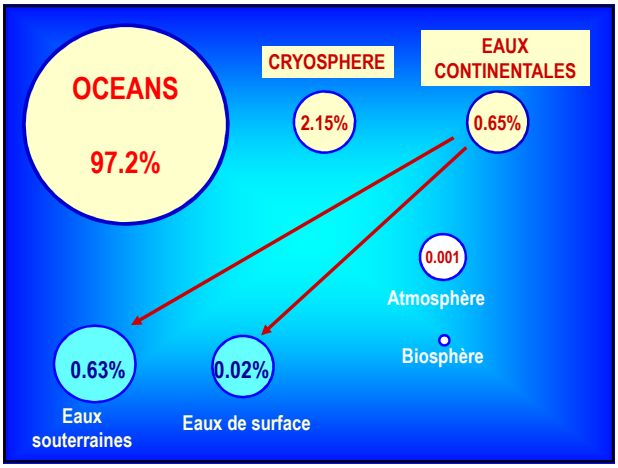
Satellites et ressources en eau

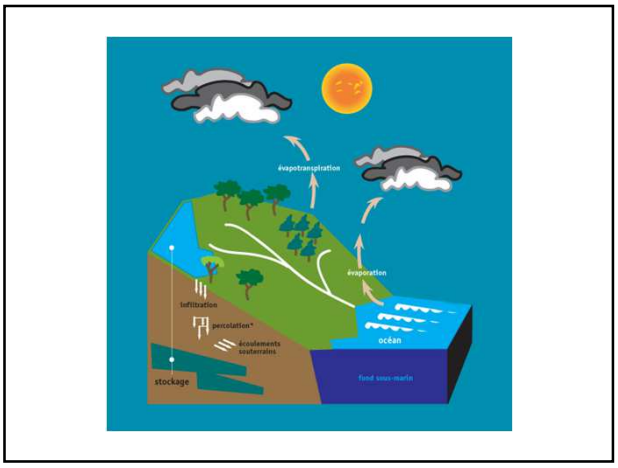
-

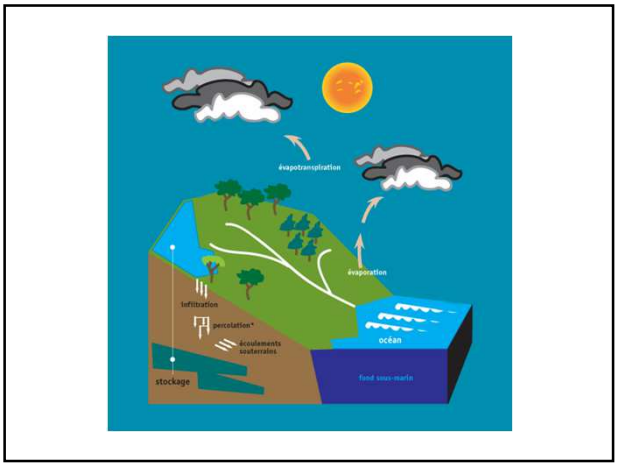
Présentation *power point*

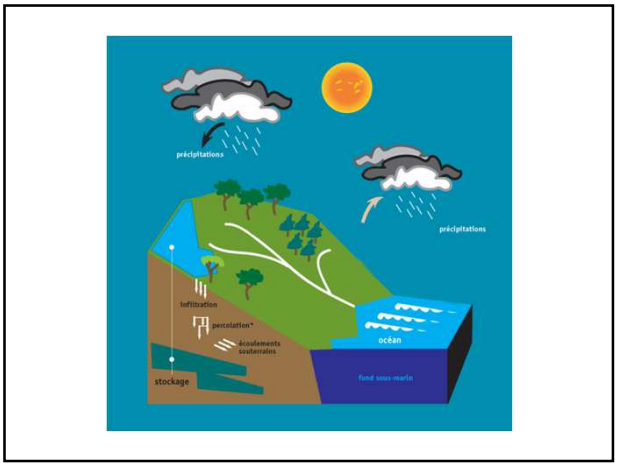

Etude de la Terre et de l'Environnement depuis l'espace
Leçon n°6
« Les eaux continentales observées depuis l'espace »
Anny Cazenave
Collège de France

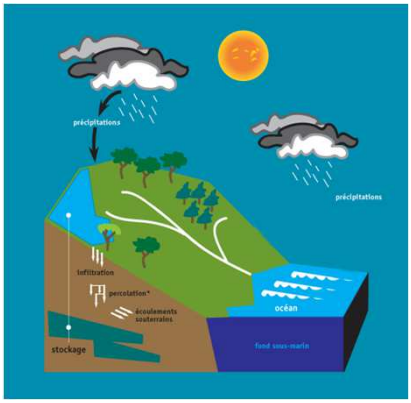

L'eau sur Terre
Source : USGS

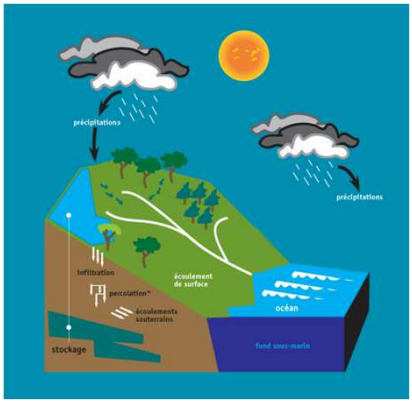

OCEANS
97.2%
CRYOSPHERE
2.15%
EAUX CONTINENTALES
0.65%
0.001
Atmosphère
Biosphère
0.63%
Eaux souterraines
0.02%
Eaux de surface

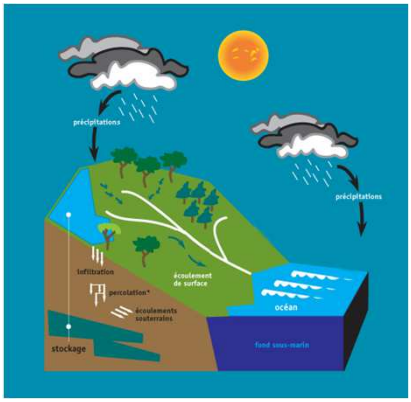

évapotranspiration
évaporation
infiltration
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin

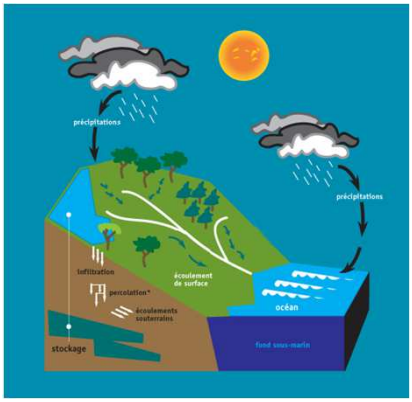

évapotranspiration
évaporation
infiltration
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin


précipitations
précipitations
infiltration
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin

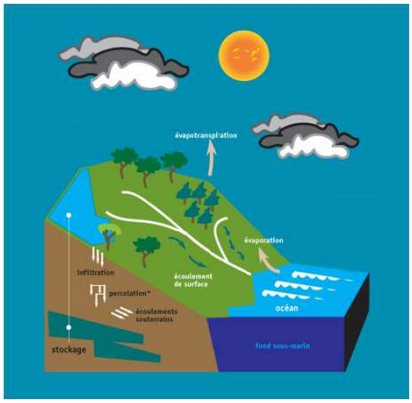

précipitations
précipitations
infiltration
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin

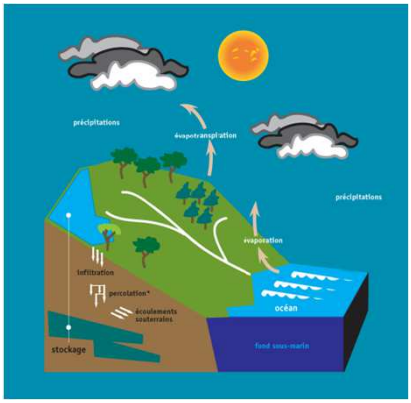

précipitations
précipitations
infiltration
écoulement de surface
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin

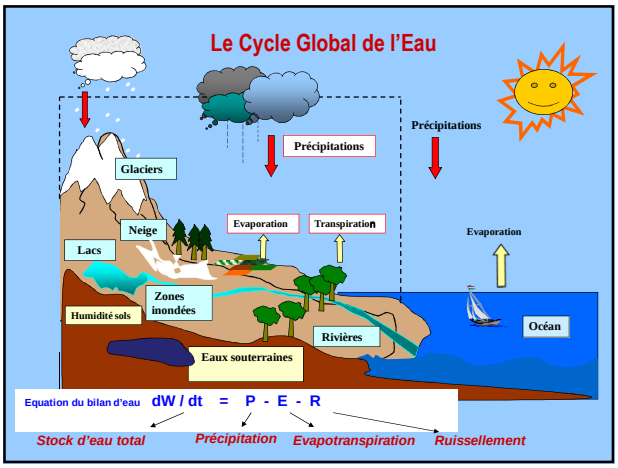

précipitations
précipitations
infiltration
écoulement de surface
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin


précipitations
précipitations
infiltration
écoulement de surface
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin


infiltration
écoulement de surface
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin


évapotranspiration
évaporation
infiltration
écoulement de surface
percolation*
écoulements souterrains
océan
stockage
fond sous-marin





Causes des variations spatio-temporelles du cycle continental de l'eau

- Variabilité climatique (interne/naturelle et anthropique)

- Activités humaines
  - Pompage des eaux souterraines
  - irrigation
  - construction de barrages
  - urbanisation
  - déforestation
  - changements d'occupation des sols

Bilan hydrique à l'échelle du bassin versant

$$dW/dt = P - E - R$$

Stock total — Précipitations — Evapotranspiration — Ruissellement

Eaux de surface, humidité des sols, eaux souterraines, manteau neigeux

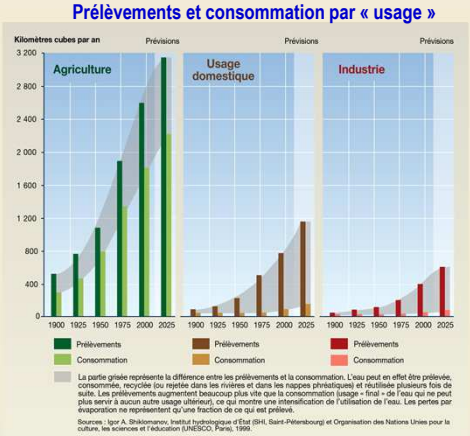
Echanges d'eau entre les différents réservoirs:
- Volumes d'eau échangés
- Vitesses d'échange
- Capacité des réservoirs
- Taux de renouvellement de l'eau dans les réservoirs

Processus associés à ces échanges:
- Echanges de masse et d'énergie entre la surface et l'atmosphère
- Processus biogéochimiques
- ….

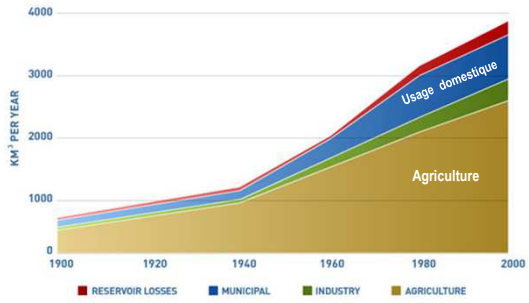
- Gestion de l'eau dans les bassins versants
  - → Ressources en eau
  - → Agriculture-Irrigation
  - → Production Energie Hydroélectrique
- Prévision météo et modélisation du climat
- Prévision et gestion des risques: *inondations, sécheresses*
- Navigation
- Aménagement du territoire
- Transports sédimentaires
- Cycle du carbone
- Niveau de la mer

Pour commencer, quelques données globales sur l'eau…

Prélèvements et consommation par « usage »

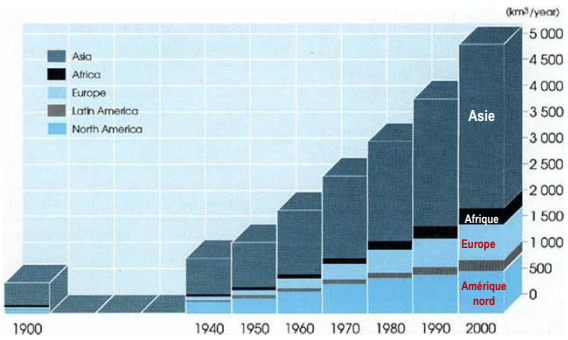


Evolution de la consommation annuelle d'eau (km^3/an) par usage depuis 1900

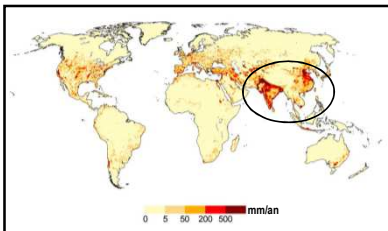


Source: FAO

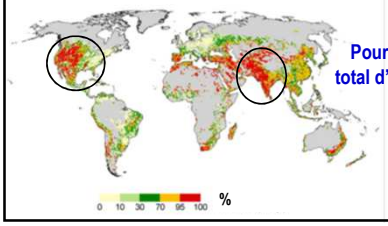
Consommation d'eau annuelle par région



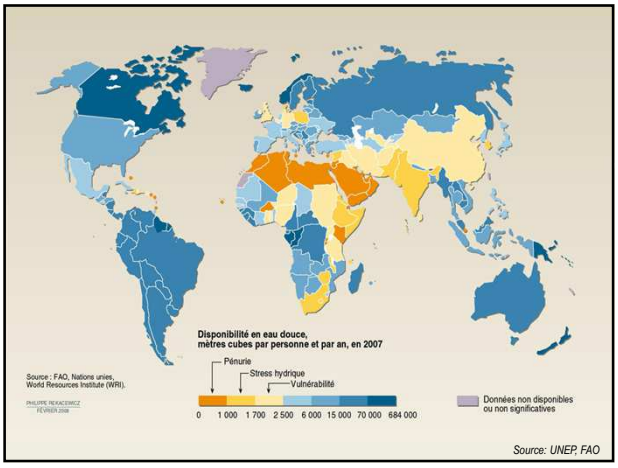
Prélèvements d'eau (1998-2002)



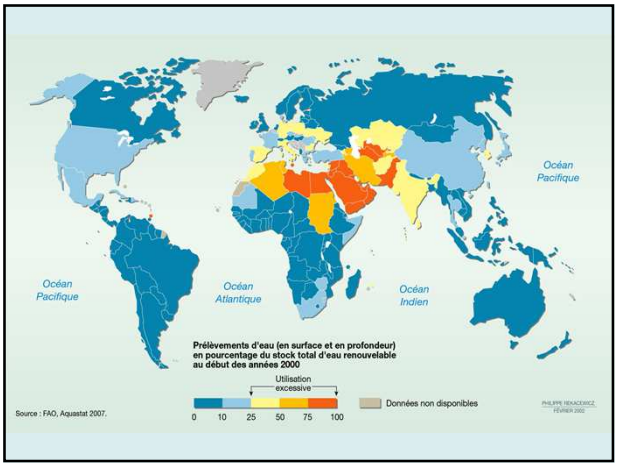
Pourcentage du prélèvement total d'eau utilisé pour l'irrigation



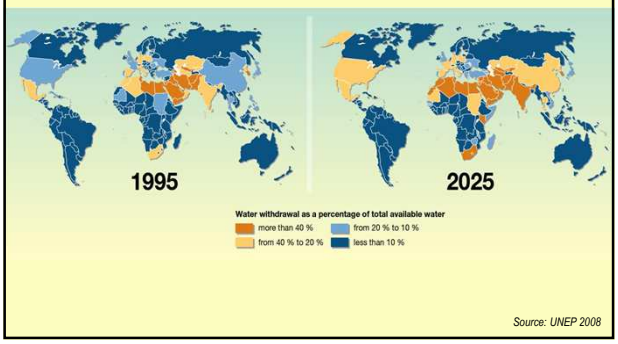
Source: Doll et al. (2012)



Source: UNEP, FAO

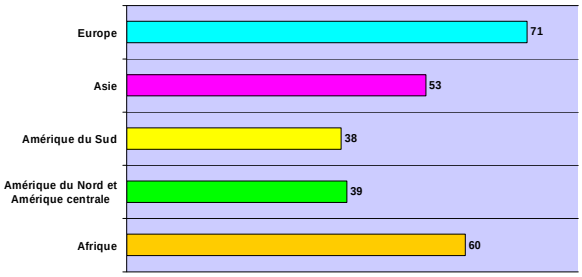


Pourcentage d'eau prélevée par rapport à la quantité disponible



Source: UNEP 2008

Nombre de bassins fluviaux internationaux



Le Tigre et l'Euphrate

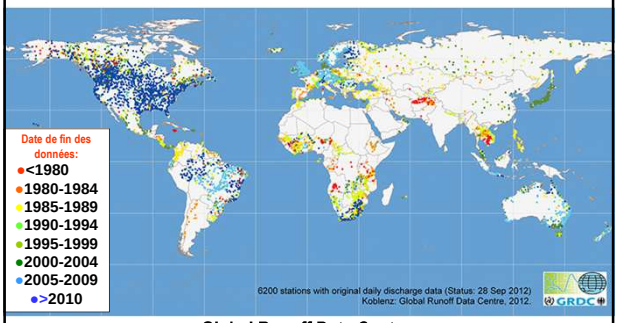
Fleuve Mékong

6 pays traversés

2 approches pour estimer le bilan d'eau dans les bassins versants

- **Observation**
- **Modélisation hydrologique** + **Assimilation des données**

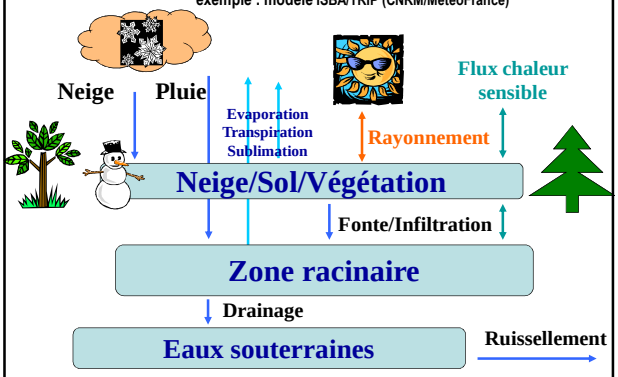
Disponibilité des mesures de niveau d'eau et débit au 28 septembre 2012 dans la base de données du GRDC



Global Runoff Data Center

Modèles hydrologiques globaux/régionaux

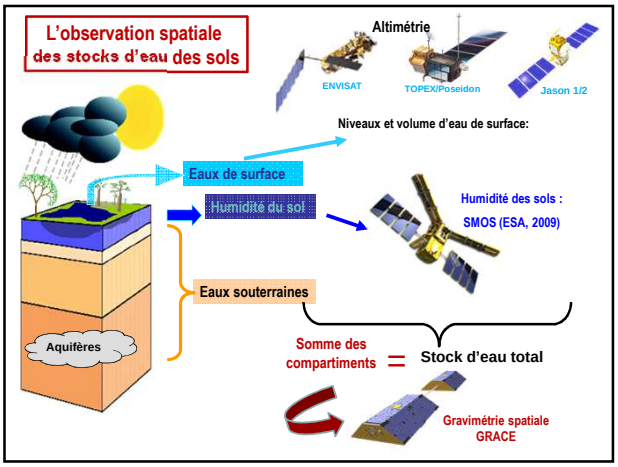
exemple : modèle ISBA/TRIP (CNRM/MétéoFrance)



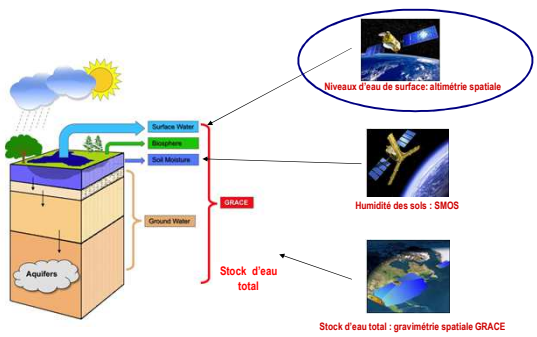
Mesure des paramètres hydrologiques depuis l'espace

Précipitations : Oui
Evaporation : mesures uniquement indirectes
Ruissellement : Rien

L'observation spatiale des stocks d'eau des sols

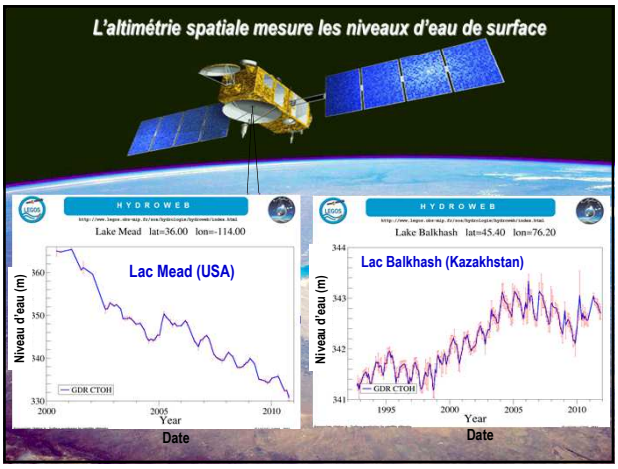


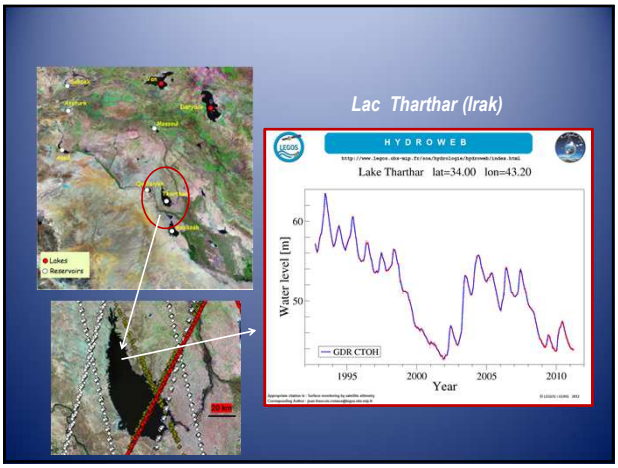
L'altimétrie spatiale mesure les niveaux d'eau de surface

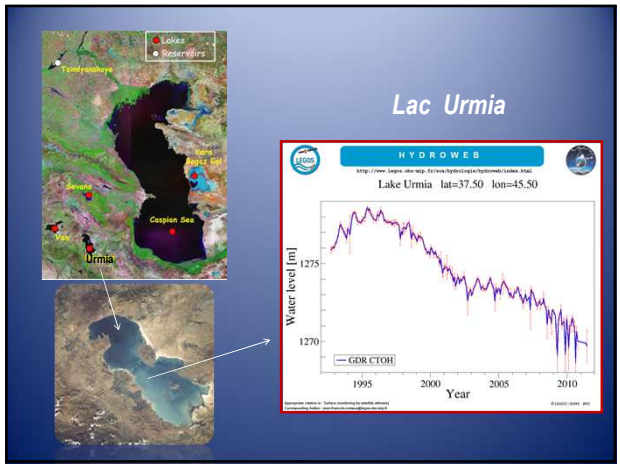


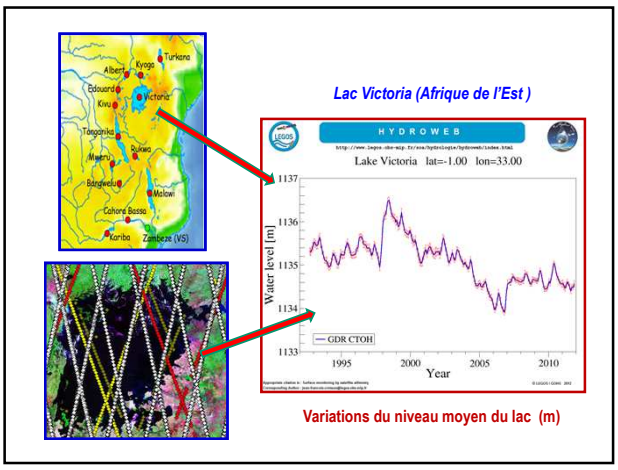
Altimétrie spatiale

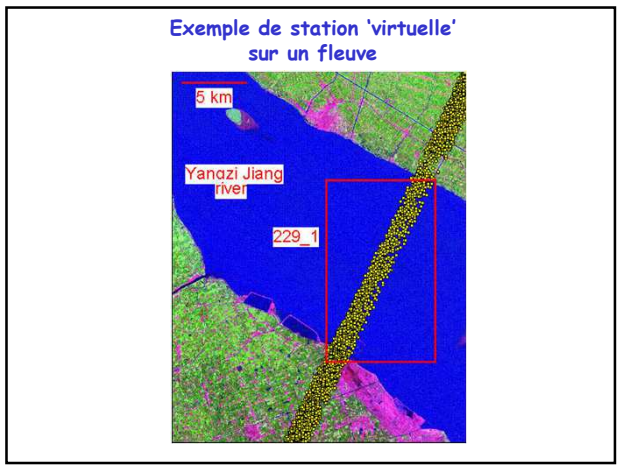

Altimétrie spatiale
Développée pour mesurer
la hauteur instantanée
de la mer
avec une précision
de 1 à 2 cm
Temps de revisite : 10 jours

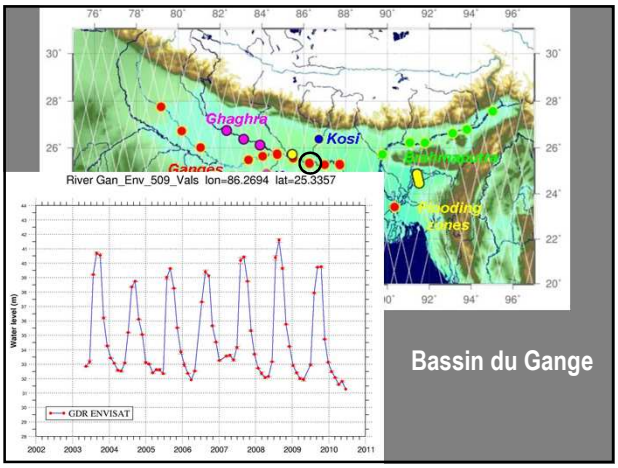

L'altimétrie spatiale mesure les niveaux d'eau de surface
HYDROWEB
Lake Mead lat=36.00 lon=-114.00
Lac Mead (USA)
Niveau d'eau (m)
GDR CTOH
Year
Date
HYDROWEB
Lake Balkhash lat=45.40 lon=76.20
Lac Balkhash (Kazakhstan)
Niveau d'eau (m)
GDR CTOH
Year
Date

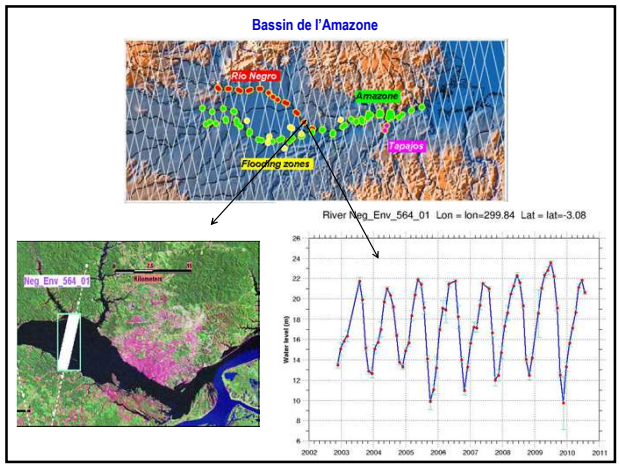

Lac Tharthar (Irak)
HYDROWEB
Lake Tharthar lat=34.00 lon=43.20
Water level [m]
GDR CTOH
Year

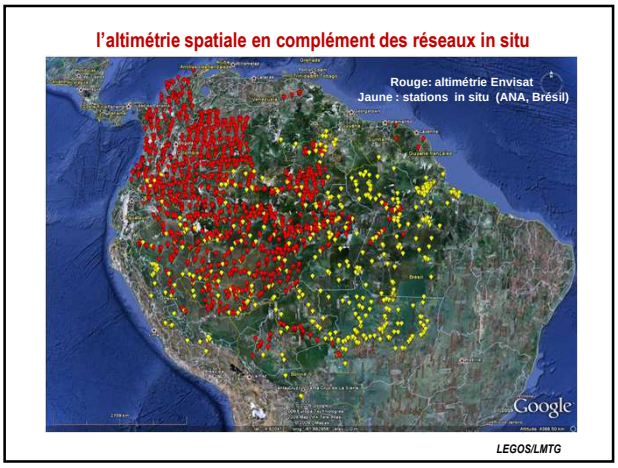

Lac Urmia
Lakes
Reservoirs
Caspian Sea
Urmia
HYDROWEB
Lake Urmia lat=37.50 lon=45.50
Water level [m]
GDR CTOH
Year

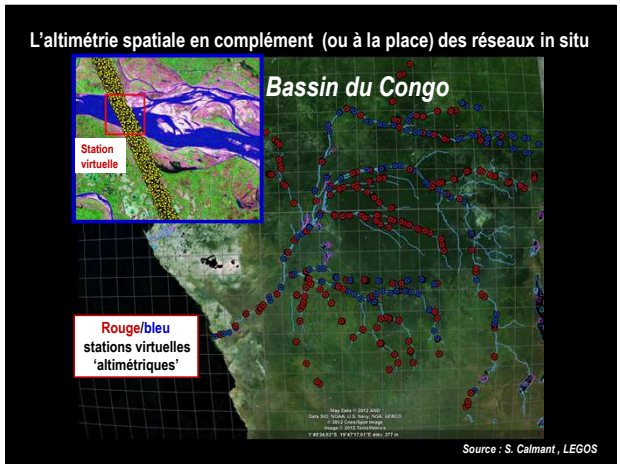

Lac Victoria (Afrique de l'Est)
HYDROWEB
Lake Victoria lat=-1.00 lon=33.00
Water level [m]
GDR CTOH
Year
Variations du niveau moyen du lac (m)

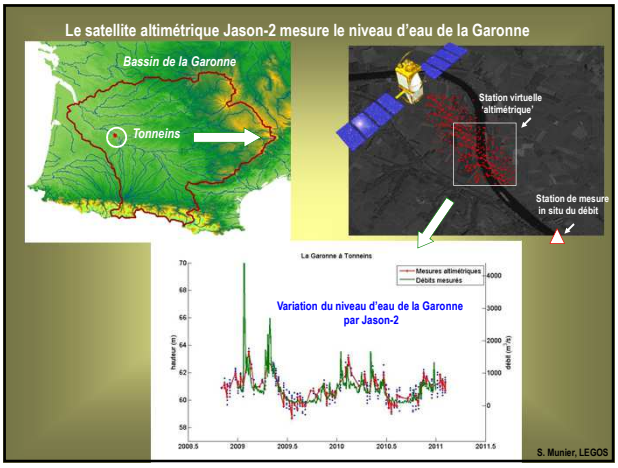

Exemple de station 'virtuelle'
sur un fleuve
5 km
Yangzi Jiang
river
229_1

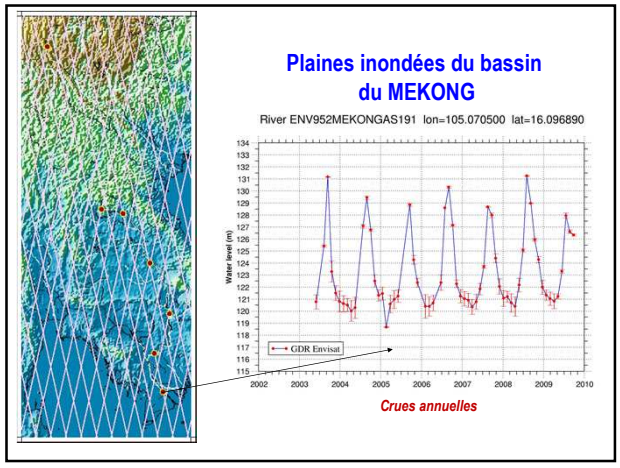

Ghaghra
Kosi
Ganges
Flooding zones
River Gan_Env_509_Vals lon=86.2694 lat=25.3357
GDR ENVISAT
Bassin du Gange

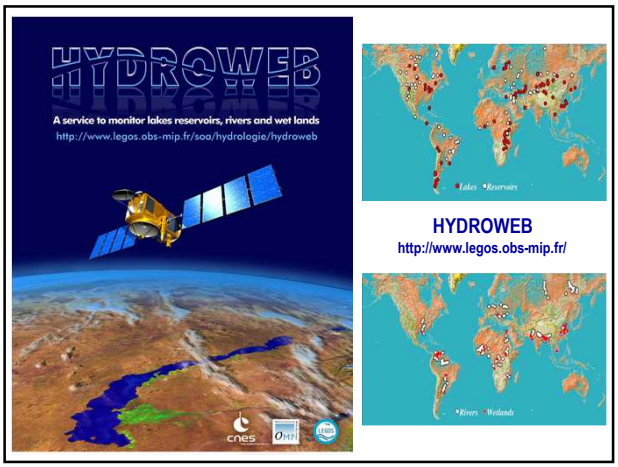

Bassin de l'Amazone
Rio Negro
Amazone
Tapajos
Flooding zones
River Neg_Env_564_01 Lon = lon=299.84 Lat = lat=-3.08

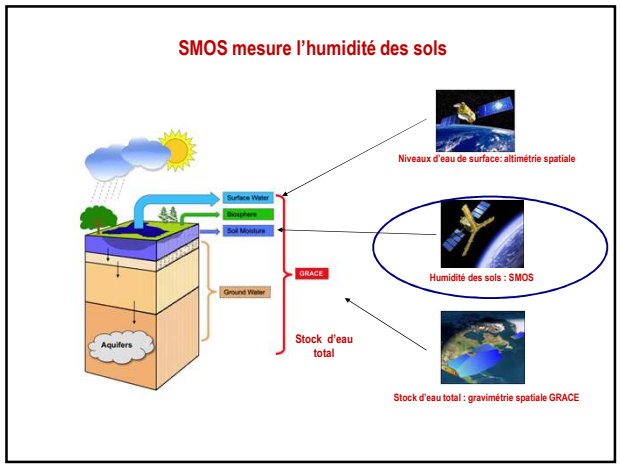

l'altimétrie spatiale en complément des réseaux in situ
Rouge: altimétrie Envisat
Jaune : stations in situ (ANA, Brésil)
LEGOS/LMTG


L'altimétrie spatiale en complément (ou à la place) des réseaux in situ
Bassin du Congo
Station virtuelle
Rouge/bleu
stations virtuelles
'altimétriques'
Source : S. Calmant , LEGOS

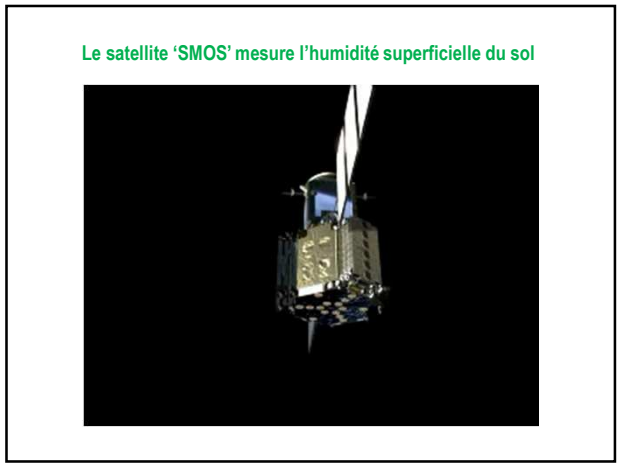

Le satellite altimétrique Jason-2 mesure le niveau d'eau de la Garonne
Bassin de la Garonne
Tonneins
Station virtuelle altimétrique
Station de mesure in situ du débit
Variation du niveau d'eau de la Garonne par Jason-2
S. Munier, LEGOS

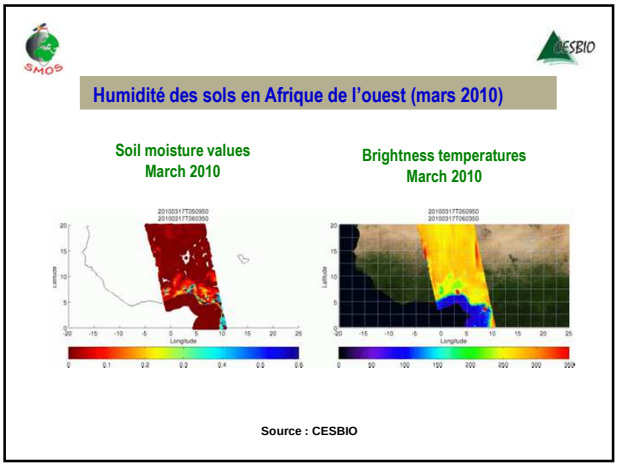

Plaines inondées du bassin du MEKONG
River ENV952MEKONGAS191 lon=105.070500 lat=16.096890
GDR Envisat
Crues annuelles

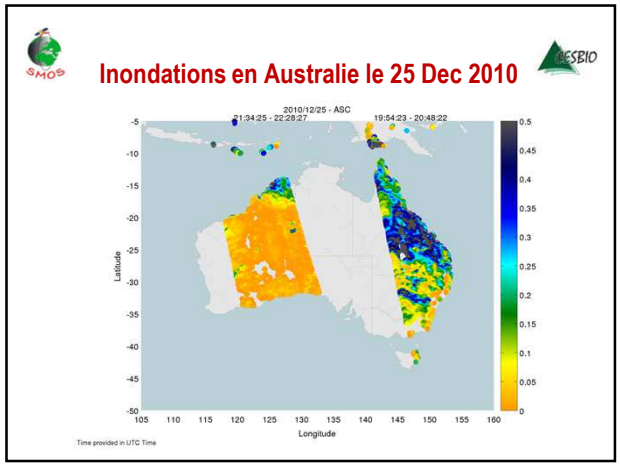

HYDROWEB
A service to monitor lakes reservoirs, rivers and wet lands
http://www.legos.obs-mip.fr/soa/hydrologie/hydroweb
cnes
Lakes • Reservoirs
HYDROWEB
http://www.legos.obs-mip.fr/
Rivers • Wetlands


SMOS mesure l'humidité des sols
Surface Water
Biosphere
Soil Moisture
Ground Water
Aquifers
GRACE
Stock d'eau total
Niveaux d'eau de surface: altimétrie spatiale
Humidité des sols : SMOS
Stock d'eau total : gravimétrie spatiale GRACE

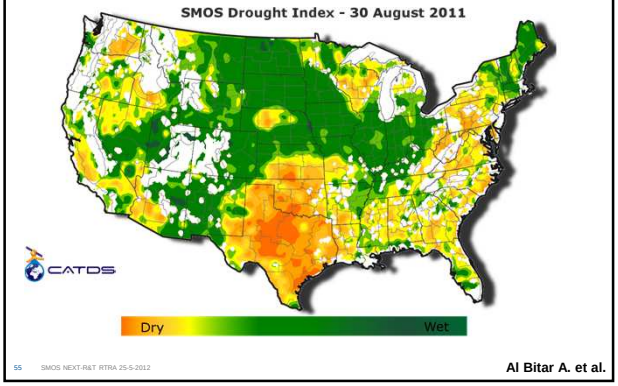

SMOS : Humidité du sol
Résolution 43 km
Revisite : 3 jours


Le satellite 'SMOS' mesure l'humidité superficielle du sol


SMOS
CESBIO
Humidité des sols en Afrique de l'ouest (mars 2010)
Soil moisture values
March 2010
Brightness temperatures
March 2010
Source : CESBIO


SMOS
CESBIO
Inondations en Australie le 25 Dec 2010
2010/12/25 - ASC
21:34:25 - 22:28:27
19:54:23 - 20:48:22
Latitude
Longitude
Time provided in UTC Time

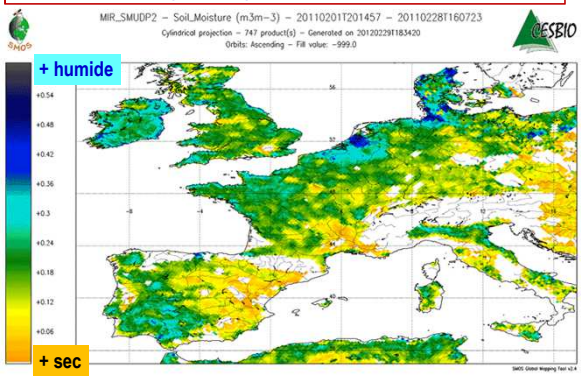
L'humidité des sols : un indicateur de sécheresse



55 SMOS NEXT-R&T RTRA 25-S-2012

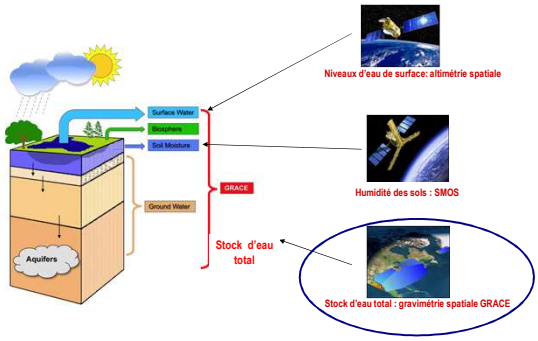
Al Bitar A. et al.

Humidité des sols en Europe mesurée par le satellite SMOS en février 2011 et février 2012



Source: CESBIO

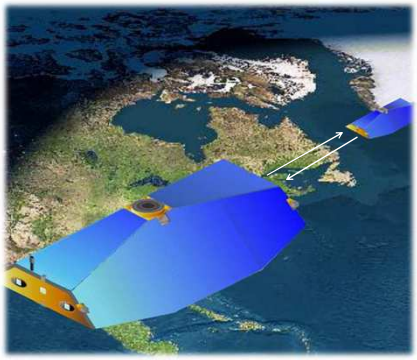
GRACE mesure les variations temporelles du stock d'eau vertical total



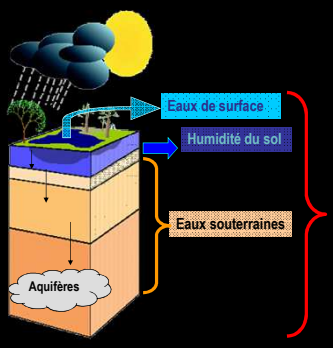
Gravimétrie spatiale GRACE (2002-) → redistribution des masses en surface

Résolution au sol 300km

Résolution temporelle 1 mois

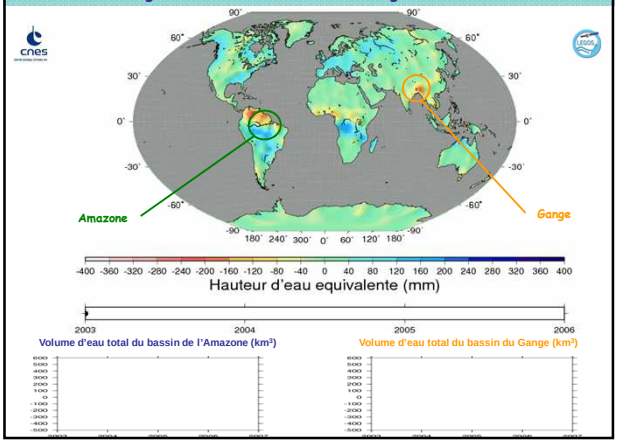


Gravimétrie spatiale « GRACE »



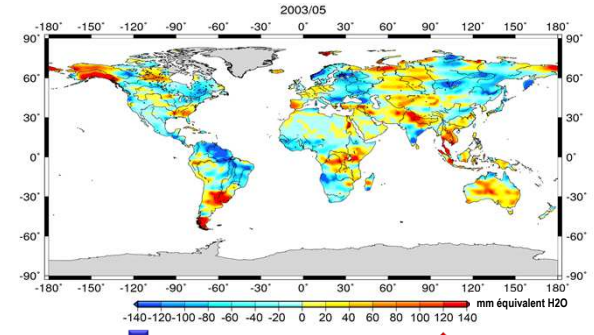
mesure les variations temporelles du stock d'eau total vertical

Change with time of land water storage from GRACE



GRACE : Evolution spatio-temporelle du stock d'eau total dans les bassins fluviaux (2003-2012)

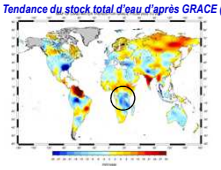
sans cycle saisonnier



1 valeur par mois

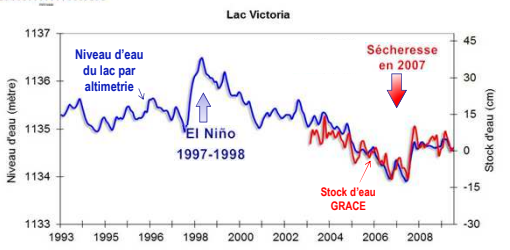
Source: LEGOS

Tendance du stock total d'eau d'après GRACE (2003-2007)



Lac Victoria

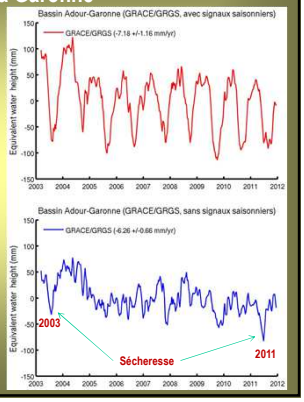
(Afrique de l'Est)



Becker et al. 2010

GRACE mesure les variations du stock total d'eau du bassin de la Garonne

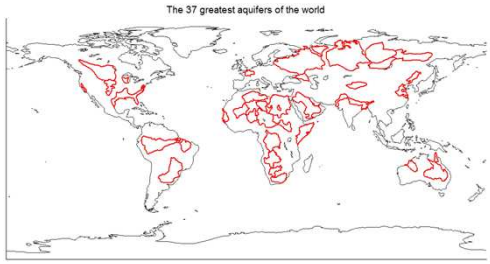
Bassin de la Garonne



Variation du stock d'eau du bassin de la Garonne par GRACE

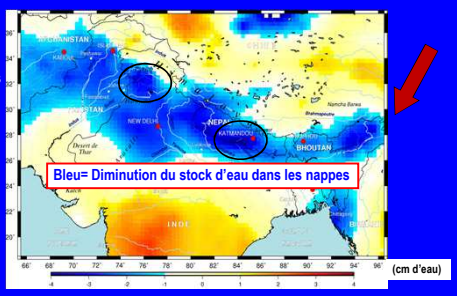
Source: LEGOS

Variations des eaux souterraines vues par GRACE



Variations du stock d'eau total mesuré par GRACE moins eaux superficielles = variations eaux souterraines

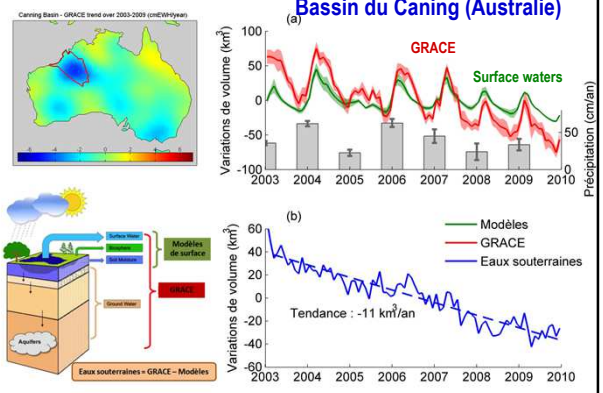
Diminution du stock d'eau dans les nappes entre 2002 et 2008 mesurée par GRACE



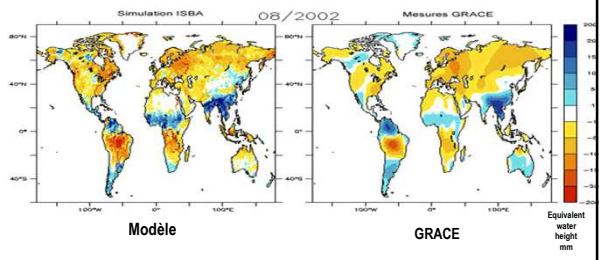
Pompage des eaux souterraines pour l'irrigation des cultures dans les vallées du Gange et de l'Indus

Rodell et al, 2009; Tiwari & Wahr, 2009

Bassin du Caning (Australie)

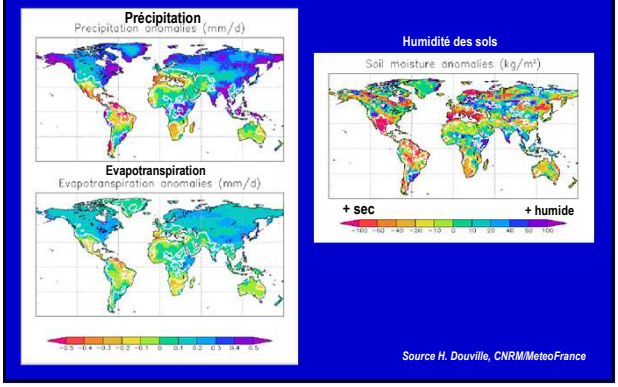


Stock d'eau total GRACE (droite) et estimations du modèle ISBA-TRIP de Météo-France (gauche)



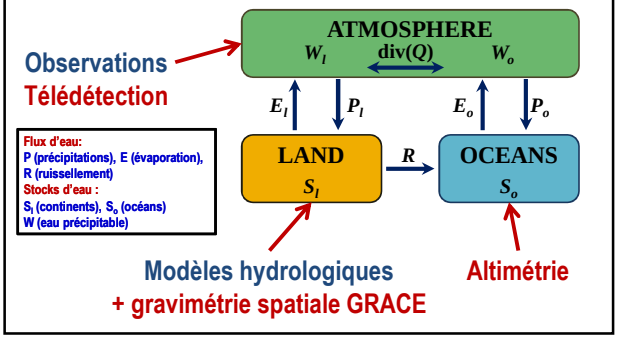
Alkama et al., 2010 a,b

Projections en 2100

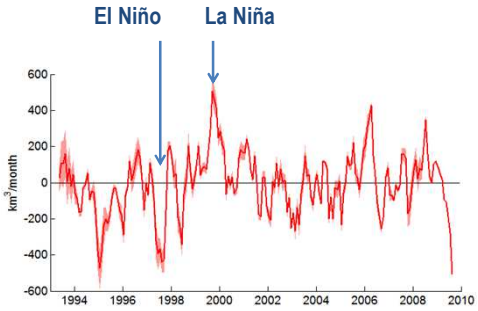


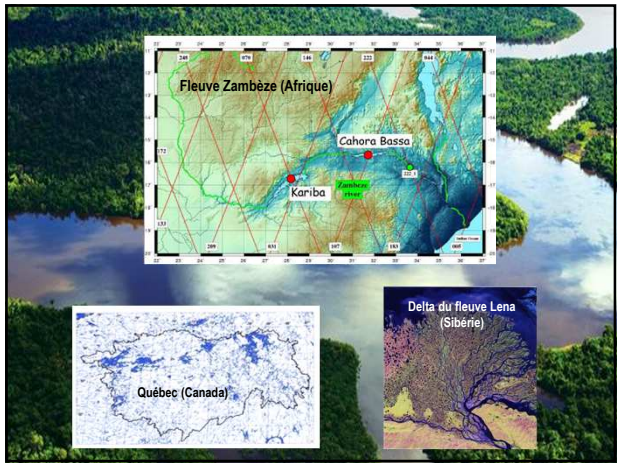
Source H. Douville, CNRM/MeteoFrance

Cycle global de l'eau: intensification?



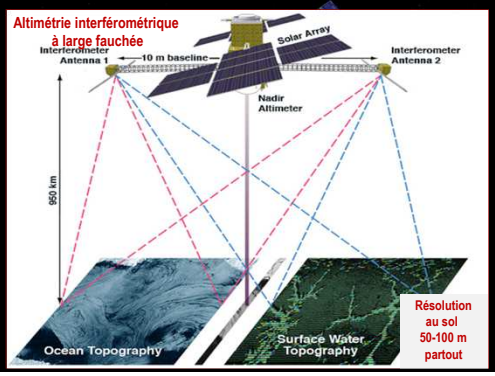
Exemple de résultat: Ruissellement global





Mission SWOT « Surface Waters-Ocean Topography »

CNES/NASA (2020) → une révolution pour la gestion des eaux de surface



Mission SWOT « Surface Waters-Ocean Topography »

CNES/NASA (2020) → une révolution pour la gestion des eaux de surface

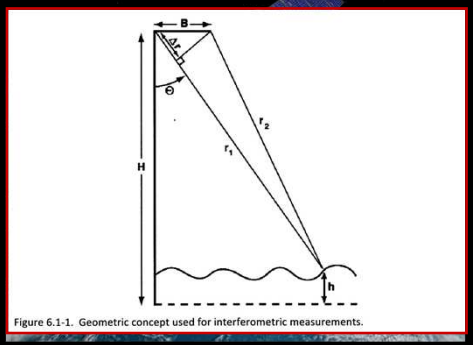
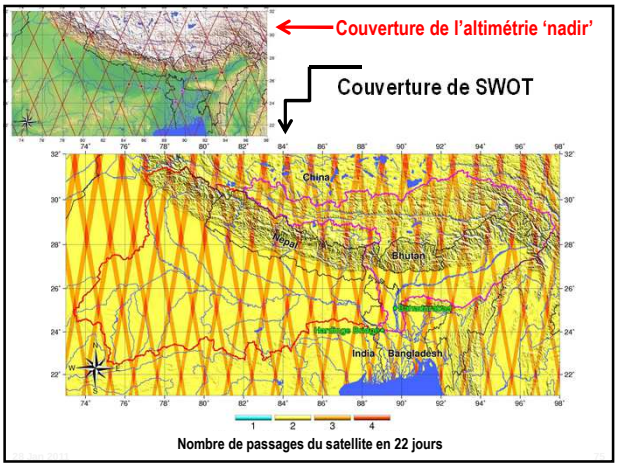
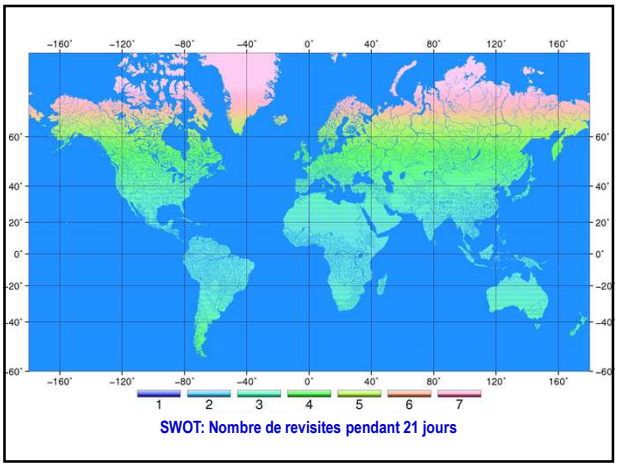


Figure 6.1-1. Geometric concept used for interferometric measurements.



Nombre de passages du satellite en 22 jours

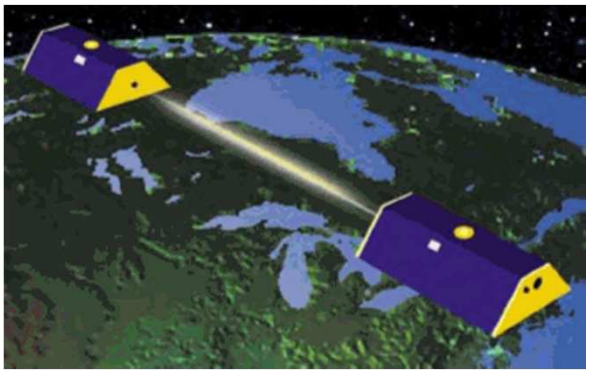


SWOT: Nombre de revisites pendant 21 jours

Principales applications de la mission SWOT

1. Modélisation de l'hydrodynamique des cours d'eau
2. Quantification des ressources en eau de surface (lacs, rivières) → bassins transfrontaliers
3. Prévision des inondations

GRACE Follow-On → 2017



SMOS NEXT → 202?