



Séminaire de **prospective scientifique**

17 - 20 MARS 2014

La Rochelle



SURFACES CONTINENTALES

Yves Brunet
INRA/ISPA, Bordeaux
pour le groupe SC



Surfaces continentales : introduction

◆ Les surfaces continentales

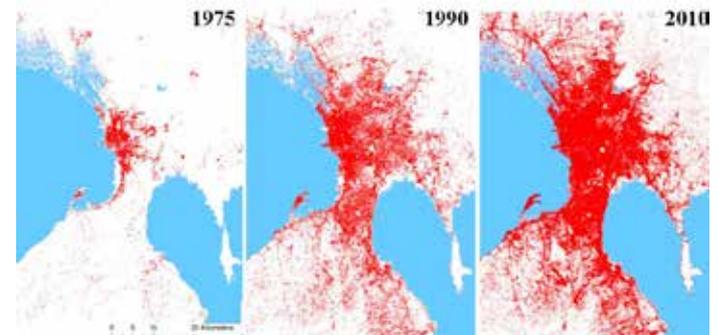
- ◆ 1/3 de la surface terrestre
- ◆ En interaction avec les océans et l'atmosphère (forçages, flux, cycles biogéochimiques...)
- ◆ Lieu de vie de nombreuses espèces... dont l'homme

◆ Des contraintes majeures

- ◆ Une forte croissance démographique : 6.1 Mrd en 2000, 7.2 en 2012, ~ 9 en 2050
- ◆ Demande croissante pour la nourriture, l'eau, l'énergie
- ◆ La raréfaction des ressources
- ◆ La pression sur les terres
- ◆ Le changement climatique

◆ Une préoccupation forte

- ◆ Organismes internationaux (WMO, FAO...)
- ◆ Grands programmes (IGBP, GWSP, WEF Nexus...)



Croissance de Manille, Philippines (Abelen et al., 2011)



Enjeux de société, enjeux de connaissance

◆ Des enjeux sociétaux forts

- ◆ Sécurité alimentaire (*production, pression sur les terres, déforestation, urbanisation...*)
- ◆ Ressources en eau (*disponibilité en eau douce, eau potable, irrigation, qualité de l'eau...*)
- ◆ Qualité de l'environnement (*pollution, érosion, dégradation des sols...*)
- ◆ Biodiversité (*pratiques agricoles, migrations d'espèces...*)
- ◆ Sécurité sanitaire (*santé environnementale, épidémiologie...*)
- ◆ Risques (*incendies, tempêtes, inondations, sécheresses, érosion...*)

◆ Un exemple : évaluation des conséquences hydrologiques du changement climatique

- ◆ Modélisation des interactions surface-atmosphère, des écoulements de surface et de profondeur, continuum d'échelles
- ◆ Analyse de sensibilité, évaluation sous scénarios
- ◆ Définition de stratégies d'adaptation, de remédiation
- ◆ Comprendre pour agir : gestion de l'environnement, des territoires, des ressources, des crises...



De grandes questions scientifiques

- ◆ **Au cœur de la science : la compréhension du fonctionnement et des dynamiques spatio-temporelles des surfaces et interfaces continentales, sous forçage anthropique et climatique**

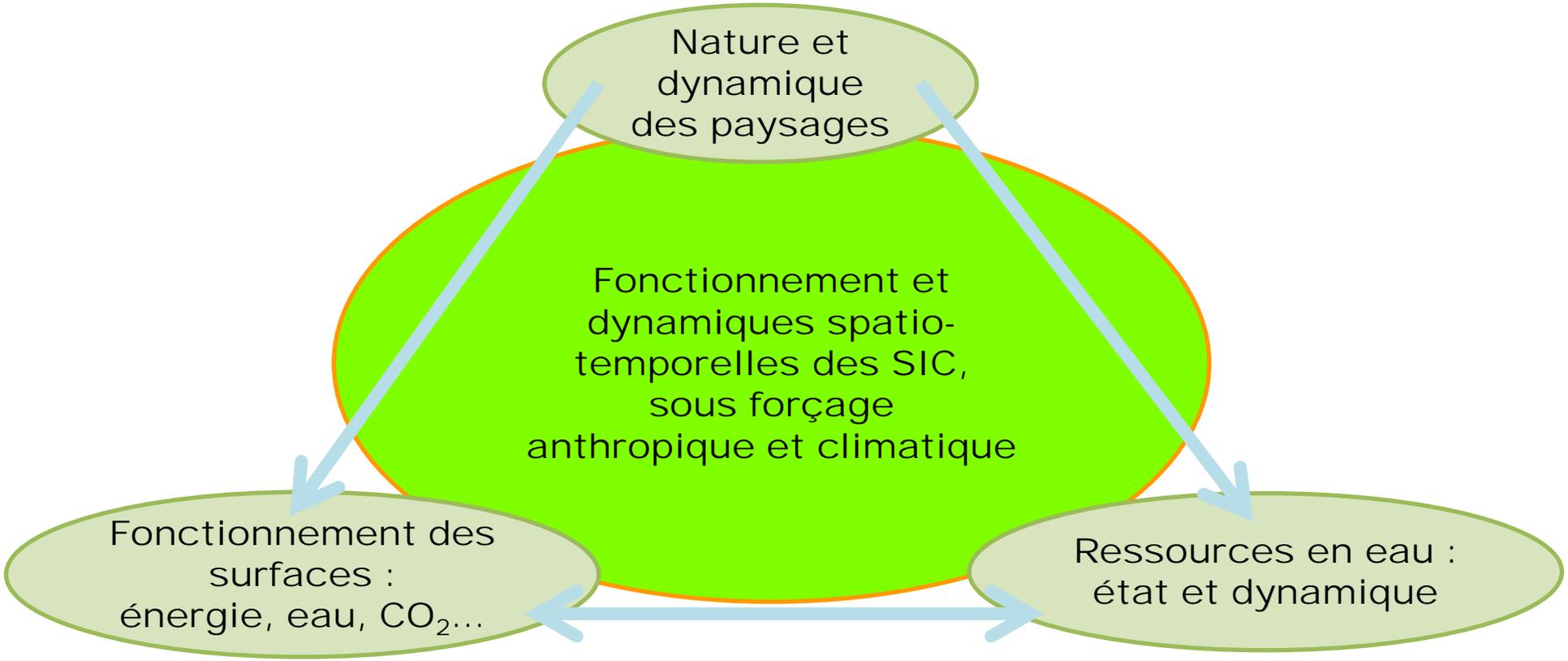
- ◆ **Des problématiques fondamentales (prospective INSU/SIC 2013)**
 - ◆ Le fonctionnement des sols et de la végétation (*flux, bilans, processus...*)
 - ◆ Le cycle de l'eau (*ressource, réservoirs d'eau douce, évaporation...*)
 - ◆ Les cycles biogéochimiques (*C, GES, N, P...*)
 - ◆ La nature et l'évolution des paysages (*occupation des sols, changements d'utilisation des terres...*)
 - ◆ Les échanges des surfaces et interfaces continentales avec l'atmosphère et l'océan (*continuum*)
 - ◆ Des indicateurs pour l'environnement

- ◆ **« Surfaces et Interfaces Continentales » (SIC) : des compartiments clés**
 - ◆ « Zone critique », biosphère, agrosystèmes, zones urbaines
 - ◆ Systèmes hydrologiques (*glaces, cours d'eau, sol, nappes, estuaires, littoral...*)
 - ◆ Interfaces continent – océan, continent – atmosphère



De grandes questions scientifiques

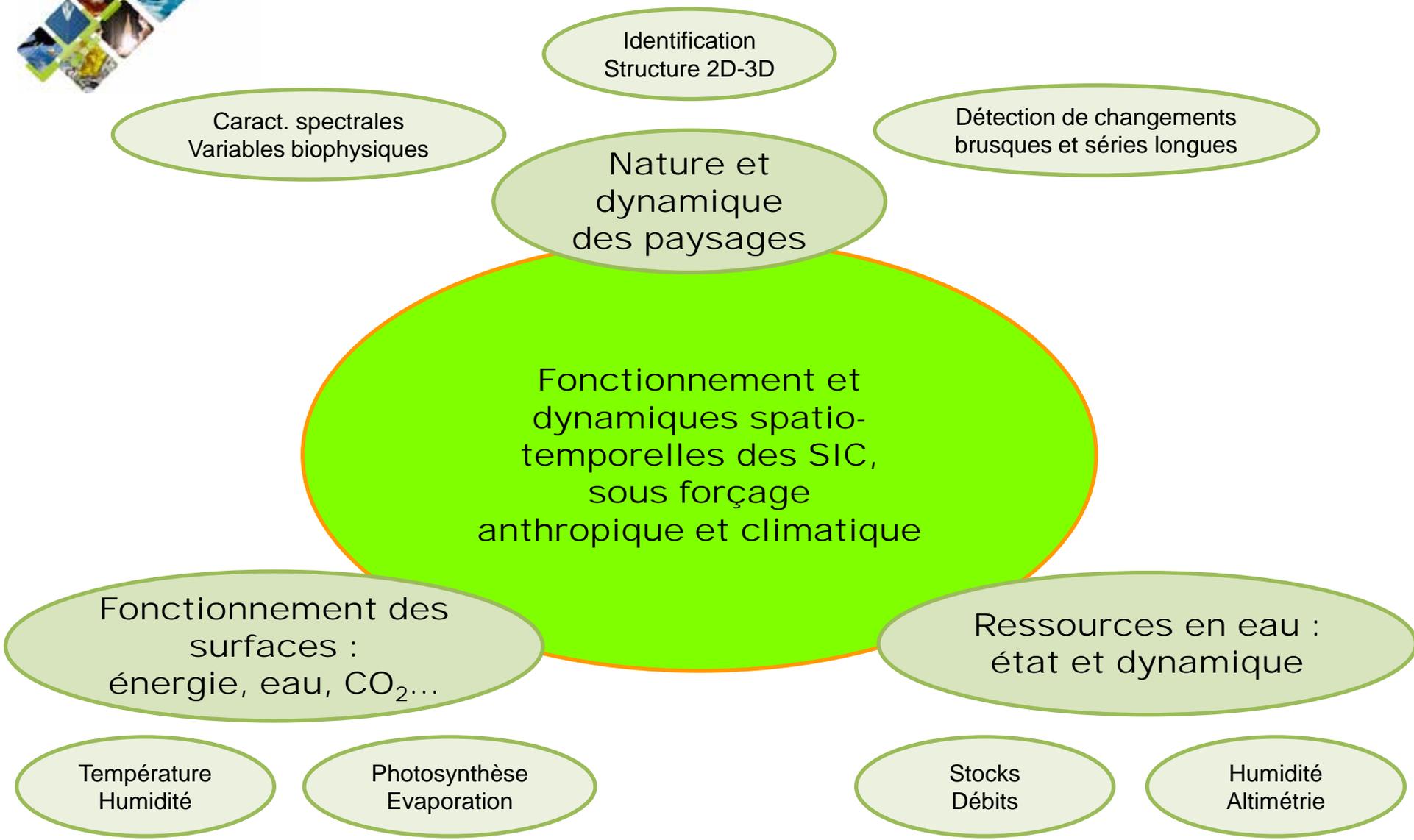
Suivre et caractériser
Détecter et quantifier les changements



Comprendre et quantifier
Connaître pour gérer



Des besoins en observations





Bilan : de Biarritz à La Rochelle

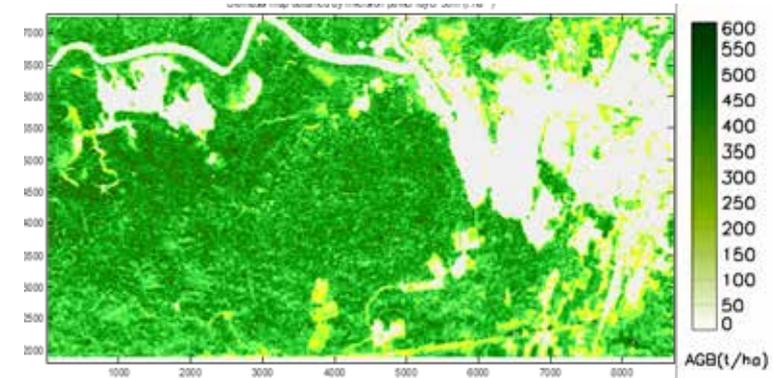
BIARRITZ 2009	2009-2013
P1 (2015) : MISTIGRI (IRT 50 m, 1-2 j)	Phase A 2011, nécessité partenariat, THIRSTY avec JPL/NASA
P2 (2020) : SWOT (altimétrie eau)	Montée en puissance, nombreux projets, structuration de la communauté, partenariat franco-américain, phase B
Fort soutien à BIOMASS	Sélection ESA en 2013, 7 ^e mission EE
Plus long terme : géostationnaire	Un projet TOSCA/SC
Plus long terme : lidar végétation	Une communauté, des études prospectives
Accompagnement des missions	Accompagnement fort de SMOS, SWOT, BIOMASS, S2 – Venus, MISTIGRI, lidar...
Mise en place d'un pôle thématique	Création THEIA en 2012, démarrage 2013



Faits marquants : la sélection de BIOMASS

- ◆ Sélection en mai 2013 pour phase B, 7^e mission Earth Explorer (ESA)
- ◆ **Estimation biomasse forestière à l'échelle globale** (flux de C, ress. forestières, accords internat.)
- ◆ **SAR bande P** (polarimétrie, interférométrie, tomographie)
- ◆ 1 carte globale tous les 6 mois pendant 5 ans (biomasse et hauteur à 20%, résolution 4 ha)

- ◆ 9 (14) équipes en France
- ◆ 65 publications dont 15 inter-équipes
- ◆ Campagnes expérimentales
 - ◆ Guyane : TropiSAR (2009) et TropiScat (2011-12)
 - ◆ Afrique : AfriSAR, AfriScat (2014)
- ◆ 2014 : algos, modél. électromagn., BdD in situ, complémentarité Biomass-Lidar

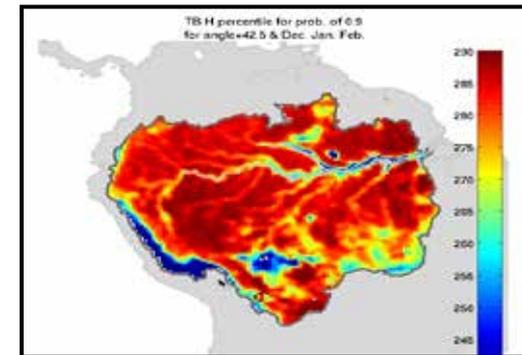
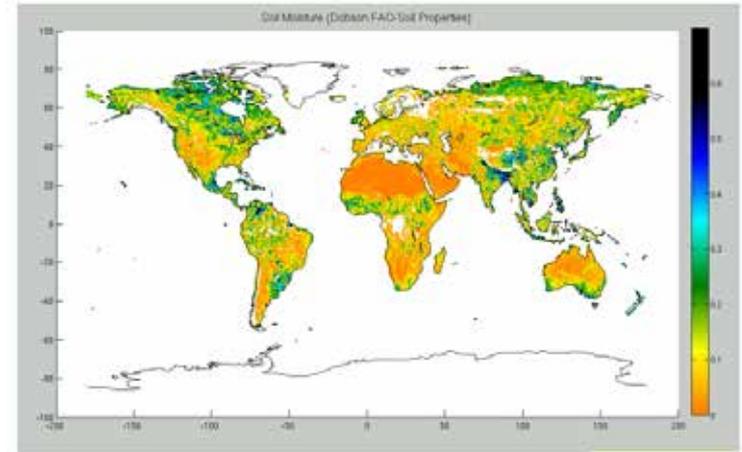


Carte de biomasse par tomographie
(Ho Tong et al., 2014, IEEE TGRS)

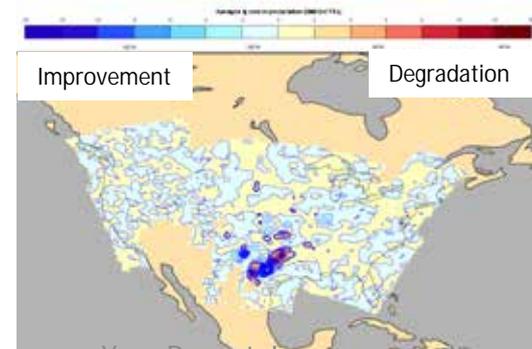


Faits marquants : les données SMOS

- ◆ Lancement novembre 2009 (ESA/CNES)
- ◆ Humidité des sols et salinité océan
- ◆ Radiomètre interférométrique bande L
- ◆ 8 (15) équipes SIC en France
- ◆ > 45 équipes dans le monde
- ◆ Publis ~ 200 (WoS)
- ◆ Usage opérationnel
- ◆ Exemples de résultats:
 - ◆ Production de cartes : humidité des sols, risques d'inondation, indices de sécheresse
 - ◆ Meilleure prévision des précipitations, de l'humidité dans la zone racinaire, de la température de l'air avec assimilation SMOS



(Al Bitar, WRR, in prep)

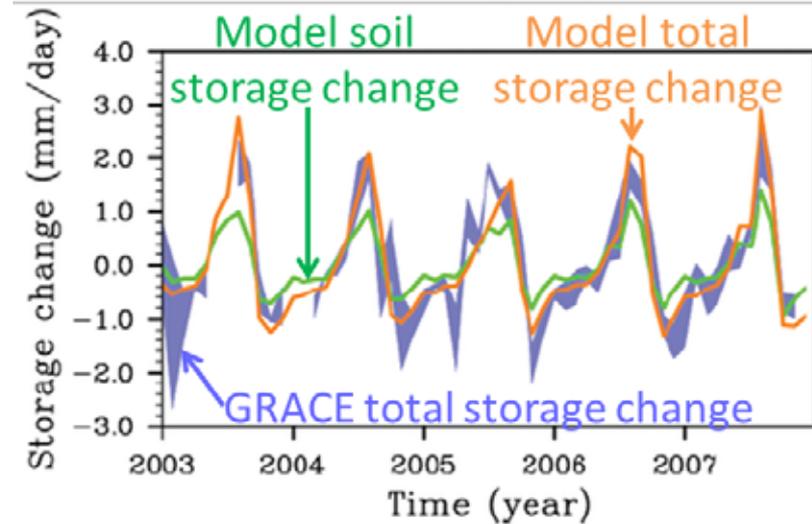


(J Munoz Sabater, 2013, AGU)



Faits marquants : l'hydrologie spatiale

- ◆ **Structuration de la communauté** autour de l'hydrologie spatiale
- ◆ Préparation **SWOT** (NASA/CNES), altimétrie
- ◆ Une quinzaine de labos, avec **vrai couplage** hydrologie – télédétection, et modélisation – observations – assimilation
- ◆ **Phase B**, SDT conjointe franco-américaine
- ◆ **Exemples de travaux**
 - ◆ Validation modélisation hydrologique du bassin du Niger via la télédétection (Pedinotti et al., 2012)
 - ◆ Assimilation données virtuelles SWOT pour corriger modélisation hydrodynamique (Biancamaria et al., 2011)
 - ◆ Modélisation hydrodynamique, modélisation hydrologique du régional au global, assimilation SWOT/SMOS...
 - ◆ Interface nappe-rivière, débit des fleuves (Garonne), estuaires, lacs, zones inondées...



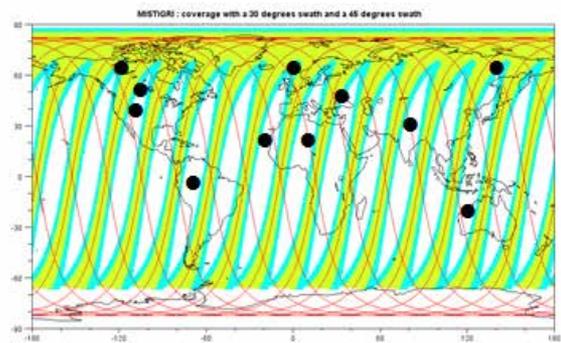
(Pedinotti et al., 2012, HESS)



Faits marquants : de MISTIGRI à THIRSTY

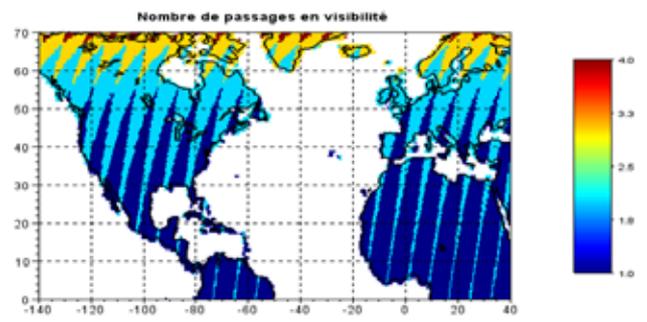
MISTIGRI

- ◆ Mission expérimentale
 - ◆ Bilans énergétique et hydrique de la biosphère continentale
 - ◆ Milieux urbains
 - ◆ Eaux côtières et continentales
- ◆ 50 m, 1-2 j, 3 LWIR, 1 VNIR
- ◆ Couverture limitée



THIRSTY (CNES-NASA)

- ◆ Mission expér. / opération.
 - ◆ MISTIGRI
 - ◆ Terre solide
 - ◆ Incendies
- ◆ 60-80 m, £3 j, 7 LWIR, 1 MWIR, 1 VNIR
- ◆ Couverture globale



- ◆ Consolidation des spécifications de mission (2009-2014)
 - ◆ Revisite
 - ◆ NeDT
 - ◆ Bandes spectrales
 - ◆ Anisotropie directionnelle
 - ◆ Orbite
 - ◆ Heure de passage
 - ◆ Algorithmes ETR
- ◆ 18 articles
Lagouarde et al, 2013, IJRS
- ◆ ~ 15 labos



Faits marquants : le pôle THEIA

◆ Naissance fin 2012 du pôle thématique Surfaces Continentales THEIA

- ◆ Structure nationale, scientifique et technique
- ◆ 9 organismes : CEA, CIRAD, CNES, CNRS, IGN, INRA, IRD, IRSTEA, Météo-France

◆ Fournir des données spatiales, des produits, des outils, des méthodes répondant aux besoins de la communauté scientifique nationale

- ◆ Qualité contrôlée, couverture de larges territoires et de longues périodes
- ◆ Complémentaire des services Copernicus
- ◆ Promotion des produits au niveau européen
- ◆ Plateforme de concertation pour l'élaboration de stratégies nationales (Pléiades, Spot 6/7, Archives Spot, Sentinelles, SWOT...)

◆ Organisation

- ◆ Une organisation programmatique, scientifique et technique
- ◆ Un Comité directeur, un CSU, un Bureau exécutif
- ◆ Un Centre de Gestion et de Traitement des Données (CGTD) distribué
- ◆ Un réseau de Centres d'Expertise Scientifique (CES)
- ◆ Un portail d'accès aux produits et services (<http://www.theia-land.fr/>)



Faits marquants : autres

◆ La dynamique des surfaces

- ◆ Préparation forte autour avènement PLEIADES – Sent2 – Venus (10 labos)
- ◆ Mise en place chaîne correction atmosphérique pour utilisation Sent2
- ◆ Succès de l'expérience pilote SPOT4 TAKE5

◆ Des thématiques qui s'installent

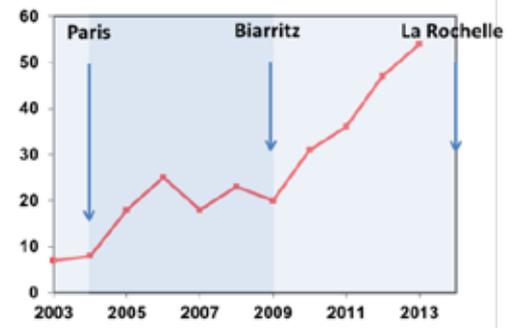
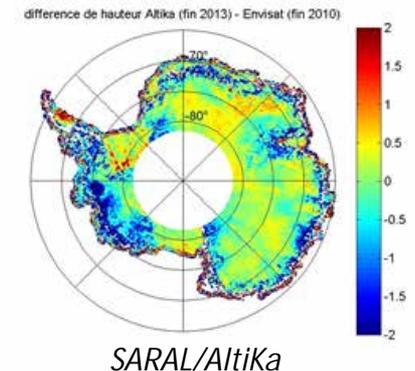
- ◆ Glace et neige, littoral, santé

◆ Des concepts de mission qui progressent

- ◆ Fluorescence (présélection FLEX, ESA 2013)
- ◆ Lidar végétation (communauté active, études prospectives)
- ◆ Hyperspectral (phase A interrompue, communauté structurée, réponses coordonnées)

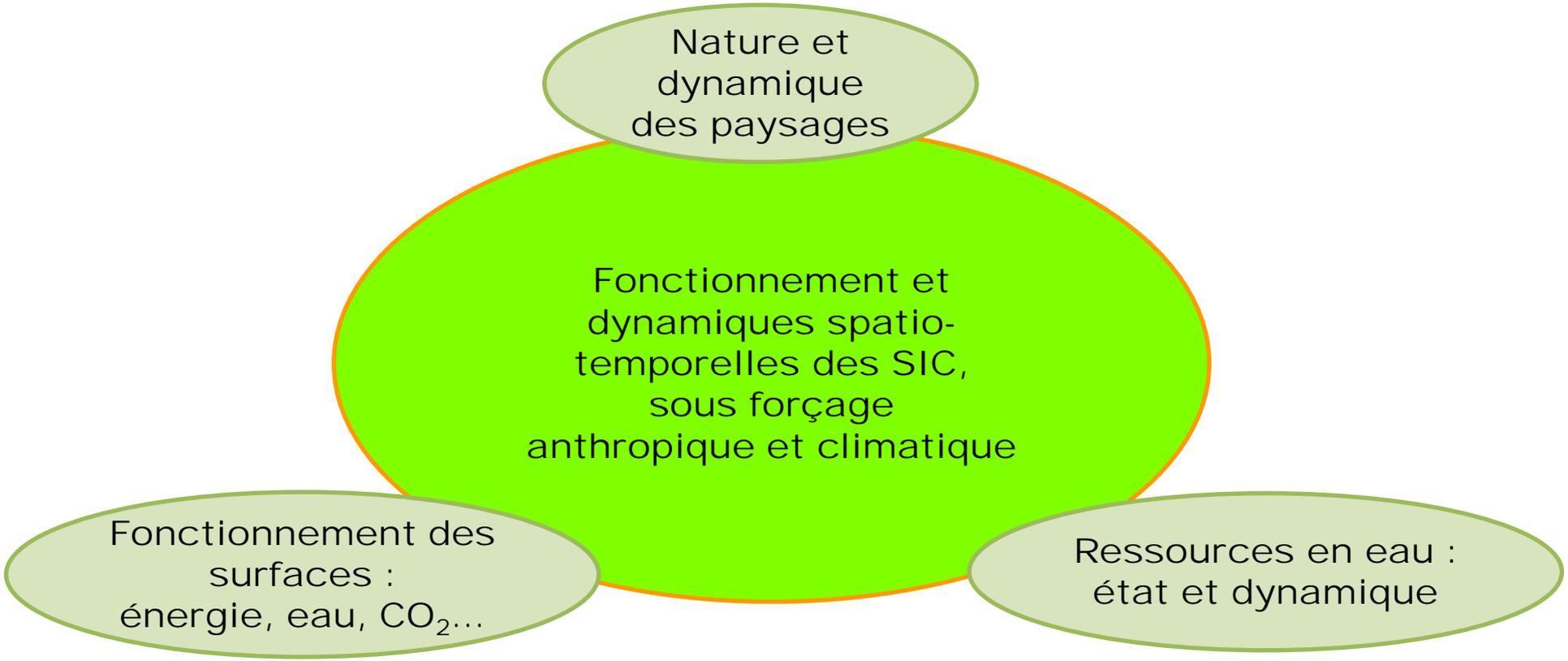
◆ Une augmentation spectaculaire des propositions TOSCA/SC

- ◆ Tendence à évoluer vers de gros projets structurés (SMOS, BIOMASS, SWOT, prépa S2, MISTIGRI...)

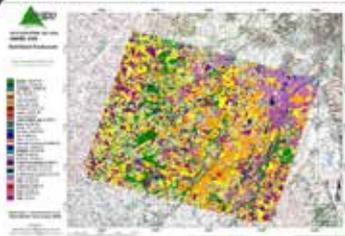




De grandes questions scientifiques



Nature et dynamique des paysages : la science



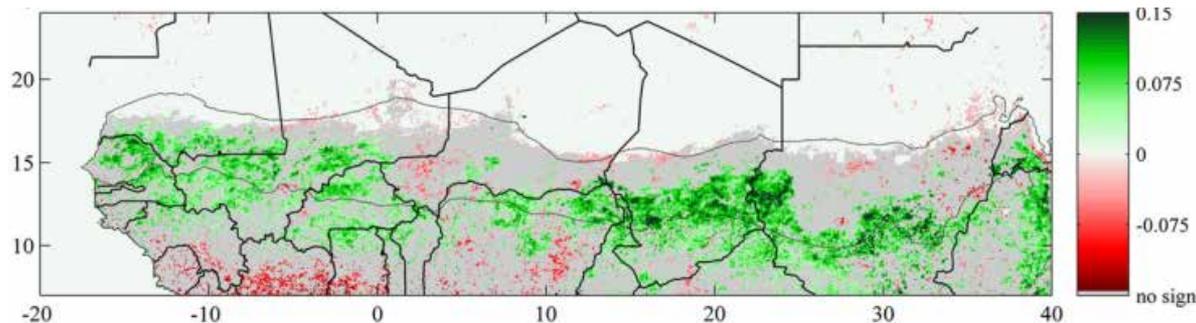
Identification des surfaces

- ◆ Cartographie 2D (occup. sols)
- ◆ Description 3D (forêt, urbain...)

Nature et dynamique des paysages

Etat des surfaces

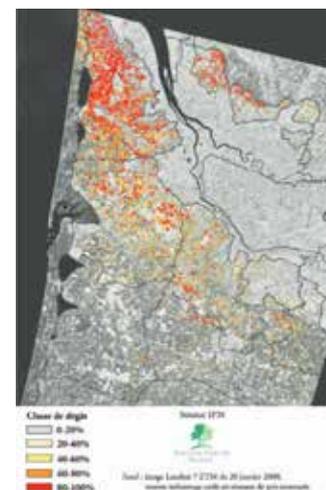
- ◆ Stress hydrique et risques de feux
- ◆ Etat sanitaire de la végétation
- ◆ Facteurs épidémiologiques
- ◆ Production agricole
- ◆ Qualité des eaux (estuariens, littoral...)



Verdissement du Sahel sur 30 ans, 1981 - 2011 (Dardel et al., 2014, RSE)
Séminaire de Prospective Scientifique – La Rochelle – 17-20 mars 2014

Dynamique des surfaces

- ◆ Changements lents (verdissement du Sahel...)
- ◆ Déforestation, urbanisation, changements d'utilisation des terres...
- ◆ Phénologie (évolution de la biodiversité, prévision des récoltes...)
- ◆ Variations brutales (crises, événements extrêmes...)





Nature et dynamique des paysages : les besoins

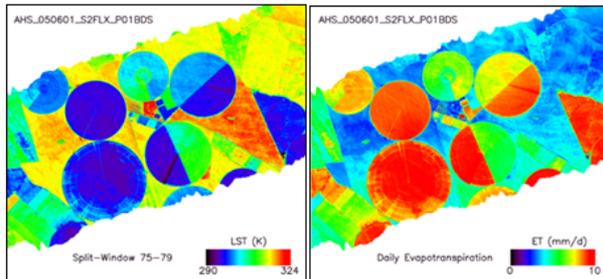
- ◆ **Un contexte plutôt favorable pour les observation à fine échelle**
 - ◆ Une continuité assurée : FORMOSAT, ORFEO/PLEIADES, SENT 2, VENUS...
 - ◆ Une gamme étendue d'échelles spatiales (THR – global)
 - ◆ Un travail amont important pour les missions à venir
- ◆ **Mais un manque d'observations à haute répétitivité**
 - ◆ Phénomènes transitoires, évènements extrêmes, stress, gestion...
 - ◆ **OCAPI** (couleur de l'eau) : à considérer si centré Europe
 - ◆ **CERES** (constellation post-Sentinel, optique – radar, agriculture – environnement)
- ◆ **Et un manque de connaissance sur la structure 3D des surfaces**
 - ◆ Urbain, couverts forestiers...
 - ◆ **LIDAR** : richesse d'informations altimétriques, suite BIOMASS
 - ◆ Une communauté scientifique active
 - ◆ Plusieurs missions proposées à l'AI 2013



Fonctionnement des surfaces : la science

◆ Le déterminisme des flux de surface

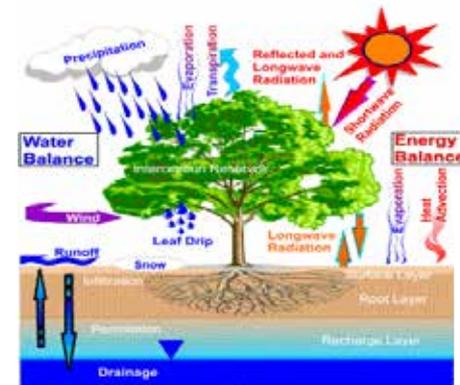
- ◆ Flux C : photosynthèse – respiration
- ◆ Flux de GES et réchauffement de l'atmosphère
- ◆ Flux d'eau : évaporation
- ◆ Bilan d'énergie – bilan hydrique



Température de surface et évaporation (Sobrino et al., 2008)

Fonctionnement des surfaces :
énergie, eau, CO₂...

- ◆ Besoin en modèles de fonctionnement (LSM) des SC à toutes les échelles
 - ◆ Simulations climatiques
 - ◆ Prévision météorologique
 - ◆ Prévision des rendements
 - ◆ Impact de l'agriculture (sols, nappes...)
 - ◆ Ressources en eau
 - ◆ Microclimats et biodiversité
 - ◆ Milieu urbain
 - ◆ Littoral et processus côtiers



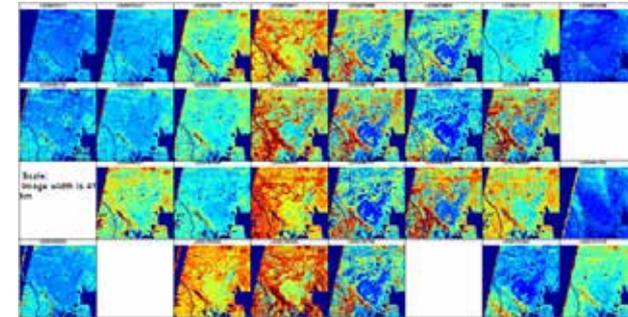


Fonctionnement des surfaces : les besoins

- ◆ **Echelles fines et forte revisite : une nécessité**
 - ◆ Pour l'étude des processus
 - ◆ Déterminisme des flux de masse et d'énergie
 - ◆ Lien avec l'état de la végétation, les régulations biologiques
 - ◆ Couplage des cycles (eau, carbone, azote...)
 - ◆ Pour l'étude de l'impact des changements globaux aux niveaux les plus élémentaires

- ◆ **Un besoin à peu près satisfait dans l'optique, mais pas dans le thermique**
 - ◆ Température de surface : une variable clé du bilan d'énergie, estimation de l'évaporation...
 - ◆ Dilemme résolution spatiale – revisite
 - ◆ Forte RV – faible RS : AVHRR, METEOSAT, MODIS... (km²)
 - ◆ Forte RS – faible RV : Landsat, ASTER... (2 semaines)

- ◆ **La mission THIRSTY**
 - ◆ Un long historique (IRSUTE, SEXTET, perspectives 2004 et 2009)
 - ◆ Un concept de mission qui a mûri (évolution de MISTIGRI vers une couverture globale)
 - ◆ De nombreux domaines (végétation, agriculture, ville, milieux aquatiques, incendies...)
 - ◆ Une priorité renouvelée



Ressources en eau : la science

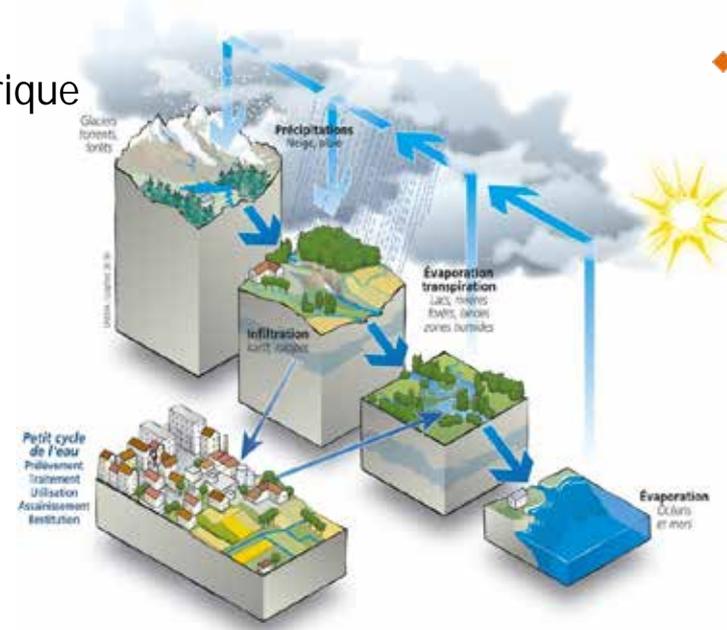


◆ Energétique des surfaces

- ◆ Bilan d'énergie – bilan hydrique
- ◆ Contrainte des modèles

◆ Territoires

- ◆ Gestion des bassins versants (extension des eaux, débits, niveau des nappes, retenues...)
- ◆ Agriculture (gestion raisonnée, optimisation irrigation)
- ◆ Qualité de l'eau
- ◆ Zones humides



◆ Océan

- ◆ Contribution des SC au niveau des océans
- ◆ Impact des eaux douces sur la circulation thermohaline et les écosystèmes marins
- ◆ Estuaires et littoral

◆ Climat

- ◆ Rôle des surfaces dans le cycle global de l'eau (alimentation du système atmosphérique, précipitations, rôle sur le bilan d'énergie) et les changements planétaires
- ◆ Enjeux climatiques, prévision météorologique

Ressources en eau : état et dynamique

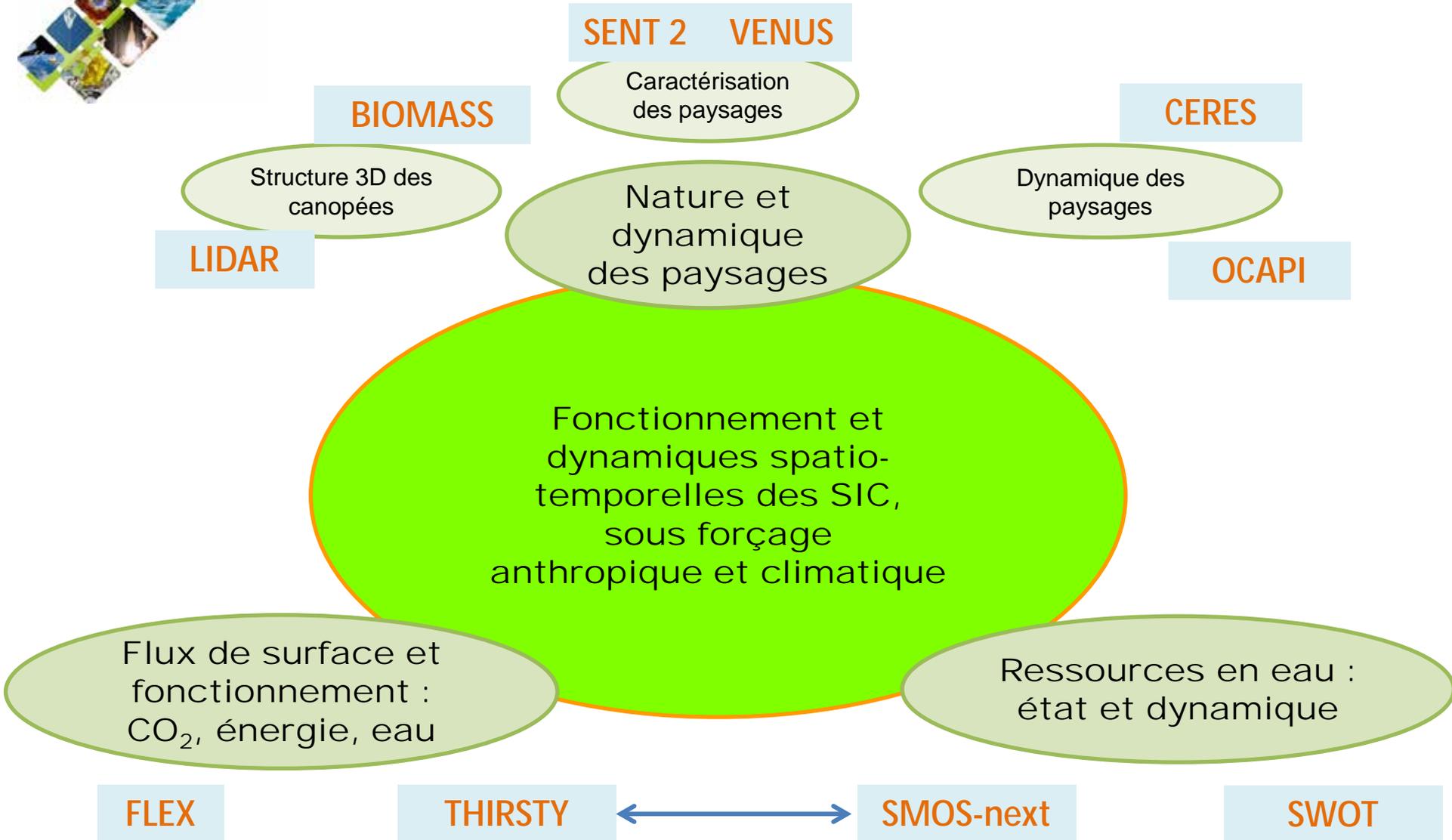


Ressources en eau : les besoins

- ◆ **Un enjeu fondamental**
 - ◆ Hydrologie : une clé de l'environnement
- ◆ **Des outils d'étude à grande échelle**
 - ◆ GRACE (stocks d'eau sur de grandes étendues)
 - ◆ SMOS (résolution de ~ 40 km)
 - ◆ Des besoins à échelle plus fine pour l'hydrologie, la gestion (humidité, débits, flux...)
- ◆ **Suivi de la dynamique des eaux continentales**
 - ◆ Intérêt prouvé de l'altimétrie pour les niveaux d'eau
 - ◆ **SWOT** : des caractéristiques pertinentes (résolution)
 - ◆ Une nécessité de coupler observation et modélisation
 - ◆ Une communauté qui s'y emploie activement
- ◆ **Humidité superficielle des sols : faire mieux que SMOS**
 - ◆ Objectif de **SMOS-next** : résolution kilométrique
 - ◆ Compatible avec la modélisation (hydrologie, fonctionnement) et le suivi des ressources
 - ◆ Une mission proposée à l'AI 2013



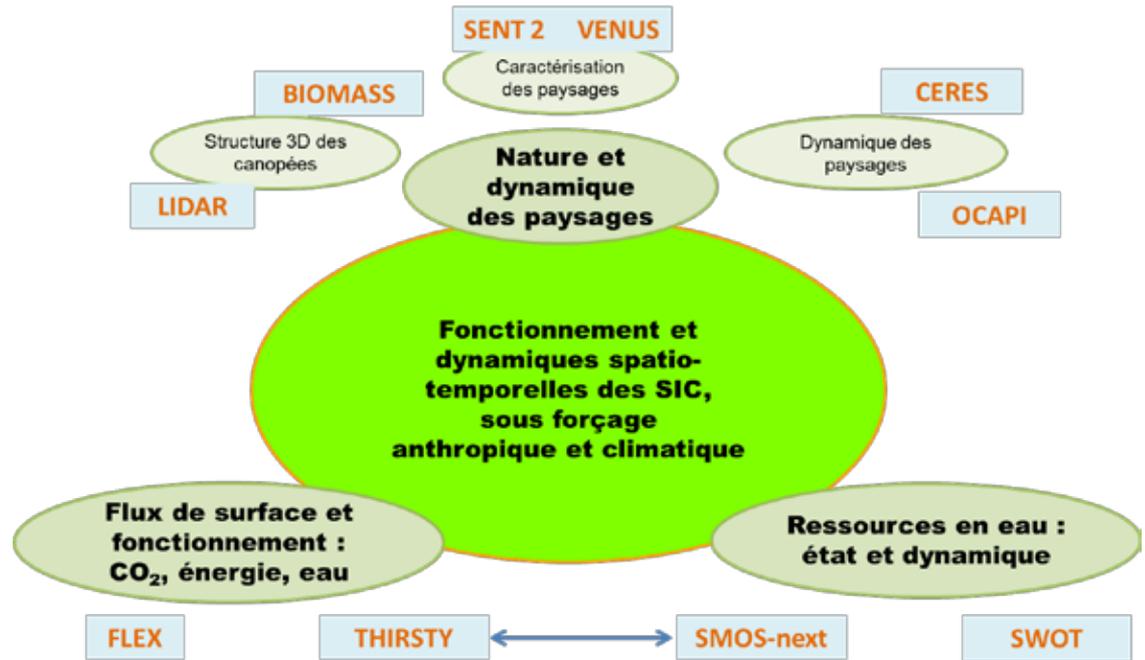
Des missions spatiales de grand intérêt





Priorités et recommandations

- ◆ ~ 2020 : **THIRSTY**
- ◆ 2020-2025
 - ◆ **SMOS-next**
 - ◆ **LIDAR végétation**
- ◆ **Accompagnement**
 - ◆ **FLEX**
 - ◆ **BIOMASS – SWOT**
 - ◆ **SENT 2 – VENUS**
- ◆ **Dynamique des surfaces**
 - ◆ Intérêt pour **OCAPI** si centré Europe
 - ◆ **CERES** 2025-2030 à étudier
- ◆ **Hyperspectral** : des besoins à consolider





Merci

- ◆ Agnès BEGUE *CIRAD, Tetis, Montpellier*
- ◆ Yves BRUNET *INRA, ISPA, Bordeaux* Président
- ◆ Selma CHERCHALI *CNES, DSP, Toulouse* Thématicienne CNES
- ◆ Agnès DUCARNE *CNRS, Sisyphe, Paris*
- ◆ Eric DUFRENE *CNRS, ESE, Orsay*
- ◆ Laurent FERRO-FAMIL *U. Rennes 1, IETR, Rennes*
- ◆ Yann KERR *CNES, Cesbio, Toulouse*
- ◆ Nadège MARTINY *U. Bourgogne, CRC, Dijon*
- ◆ Françoise NERRY *CNRS, Icube, Strasbourg*
- ◆ Ghislain PICARD *U. J. Fourier, LGGE, Grenoble*
- ◆ Jean-Louis ROUJEAN *CNRS, CNRM, Toulouse*
- ◆ Cécile VIGNOLLES *CNES, DSP, Toulouse*
- ◆ Nicolas VIOVY *CEA, LSCE, Saclay*
- ◆ Jean-Pierre WIGNERON *INRA, ISPA, Bordeaux*