



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

**PROPOSITION DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE SPATIALE
POUR 2017**

Le dossier doit être téléchargé sur le site de dépôt des propositions au format word.

1. RENSEIGNEMENTS GENERAUX

1.1. INTITULE DE LA PROPOSITION

Irriga-Detection : Détection et caractérisation des cultures irriguées à partir d'une série d'images radar et optique à haute résolution spatiale et temporelle : Application au site expérimental du Berambadi en Inde.

1.2. SCIENTIFIQUE PROPOSANT

Nom : **CORGNE**
Prénom : Samuel
Téléphone : 02 99 14 20 90
e-mail : samuel.corgne@uhb.fr

Nom du Laboratoire : **LETG RENNES COSTEL (UMR 6554 CNRS)**
Adresse : Place du Recteur H. LeMoal, 35043 Rennes Cedex

Organisme de tutelle : CNRS
Organisme gestionnaire : Université Rennes 2

1.3. CO-PROPOSANTS(Ajouter des lignes si nécessaire)

Nom : **MERCIER**
Prénom : Grégoire
Téléphone : 02 29 00 10 59
e-mail : gregoire.mercier@telecom-bretagne.eu

Nom du Laboratoire : Telecom Bretagne
Adresse : Technopôle Brest-Iroise, CS 83818
F-29 238 Brest Cédex

Organisme de tutelle : CNRS
Organisme gestionnaire : Institut Télécom

Nom : **POTTIER**
Prénom : Eric
Téléphone : 02 23 23 57 63
e-mail : eric.pottier@univ-rennes1.fr

Nom du Laboratoire : I.E.T.R
Adresse : Campus de Beaulieu - Bat 11D
263 Avenue General Leclerc
35042 Rennes cedex - France

Organisme de tutelle : CNRS
Organisme gestionnaire : Université Rennes 1

Nom : **MANGIAROTTI**
Prénom : Sylvain
Téléphone : 05 61 55 66 58
e-mail : sylvain.mangiarotti@cesbio.cnrs.fr

Nom du Laboratoire : **CESBIO (CNES/CNRS/UPS/IRD)**,
Adresse : 18, avenue Edouard Belin, 31401 Toulouse Cedex 9, France

Organisme de tutelle : IRD
Organisme gestionnaire : CNES

Nom : **RUIZ**
Prénom : Laurent
Téléphone : 02 98 95 99 64
e-mail : Laurent.Ruiz@rennes.inra.fr

Nom du Laboratoire : UMR INRA/Agrocampus 1069 SAS
Adresse : 4, rue Stang Vihan
29000 Quimper - France

Organisme de tutelle : INRA
Organisme gestionnaire : INRA

Nom : **SEKHAR**
Prénom : Muddu
Téléphone : +91 (80) 22 93 22 45
e-mail : muddu@civil.iisc.ernet.in

Nom du Laboratoire : Interdisciplinary Centre for Water Research
Adresse : Indo-French Cell for Water Sciences
Indian Institute of Science,
Bangalore - 560 012

Organisme de tutelle : Iisc
Organisme gestionnaire : Iisc

Nom : **HUBERT-MOY**
Prénom : Laurence
Téléphone : 02 99 14 18 48
e-mail : Laurence.hubert@uhb.fr

Nom du Laboratoire : **LETG Rennes COSTEL (UMR 6554 CNRS)**
Adresse : Place du Recteur H. LeMoal, 35043 Rennes Cedex

Organisme de tutelle : CNRS
Organisme gestionnaire : Université Rennes 2

Nom : **ALBAN**
Prénom : Thomas
Téléphone : 02 23 22 58 53
e-mail : alban.thomas@univ-rennes2.fr

Nom du Laboratoire : **LETG Rennes COSTEL (UMR 6554 CNRS)**
Adresse : Place du Recteur H. LeMoal, 35043 Rennes Cedex

Organisme de tutelle : CNRS
Organisme gestionnaire : Université Rennes 2

Nom : **DEZERT**
Prénom : Jean
Téléphone : 01 80 38 65 64
e-mail : jdezert@gmail.com

Nom du Laboratoire : DTIM, ONERA
Adresse : Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales, Chemin de la
Hunière, 91761 Palaiseau Cedex, France

Organisme de tutelle : ONERA
Organisme gestionnaire : ONERA

Nom : **BETBEDER**
Prénom : Julie
Téléphone : 02 99 14 18 48
e-mail : betbederjulie@gmail.com

Nom du Laboratoire : **LETG Rennes COSTEL (UMR 6554 CNRS)**
Adresse : Place du Recteur H. LeMoal, 35043 Rennes Cedex

Organisme de tutelle : CNRS
Organisme gestionnaire : Université Rennes 2

2. PROPOSITIONS NOUVELLES

2.1. OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

Ce projet s'inscrit dans le contexte scientifique général de l'étude des changements d'occupation et d'usage des sols par télédétection satellitaire. Au plan national, il s'insère ainsi dans le cadre des activités du Pôle Thématique Surfaces Continentales THEIA et au niveau régional dans le cadre du GIS BRETEL (Bretagne Télédétection) qui est un CES (Centre d'Expertise Scientifique) régional pour THEIA. Sur le plan international, ce projet s'intègre dans le champ disciplinaire du « Land Use Science » (Turner *et al.*, 2007) et focalise plus particulièrement sur deux grands thèmes de recherche : (1) l'observation et le suivi des changements d'occupation et d'usage des sols par télédétection, (2) l'étude de leurs impacts sur l'environnement dans un contexte de changement global (climatique, économique...).

Le projet Irriga-Detection est centré sur l'étude des territoires irrigués, présentant de forts enjeux environnementaux (dégradation de la ressource en eau, érosion des sols...) et sociétales (incertitude économique, spéculation financière...). L'agriculture représente l'activité anthropique la plus utilisatrice d'eau douce, l'agriculture pluviale (« l'eau verte » apportée par la pluie et contenue dans le sol) mobilisant environ 5600 km³ et l'agriculture irriguée (« l'eau bleue », provenant des cours d'eau et nappes souterraines) 2700 km³, soit 70% des eaux captées pour les divers usages (Benoit & Richard, 2012). La gestion de cette ressource représente ainsi un enjeu majeur pour la sécurité alimentaire mondiale dans un contexte de changement global qui pose de nombreux défis : comment assurer la sécurité alimentaire mondiale avec plus de 2 milliards d'habitants prévus en 2050 ? Comment répondre aux besoins en eau des pays émergents en forte croissance économique, industrielle et agricole (Inde, Chine, Brésil...)?

En Inde, ces questions sont particulièrement d'actualité avec une agriculture qui capte 92% de la consommation d'eau du pays dont 39% (~ 250 km³/an) qui provient de l'eau souterraine, la plaçant ainsi en première position des pays parmi lesquels le niveau des nappes souterraines déclinent le plus rapidement (Fishmann *et al.*, 2011). Le site d'étude de ce projet est localisé au sud de l'Inde, en contexte semi-aride, les enjeux environnementaux et sociétaux sont particulièrement forts (disponibilité de la ressource en eau, durabilité économique de l'agriculture irriguée...). Ce projet s'inscrit dans la continuité d'un programme de recherche Franco-Indien (AICHA-CEFIPRA, 2013-2016) qui visait à étudier les modalités d'adaptation de l'agriculture irriguée face au changement climatique sur un bassin versant bassin expérimental du Sud de l'Inde (Etat du Karnataka).

Si la télédétection est l'outil privilégié pour étudier les cultures irriguées (Velpuri *et al.*, 2009), en contexte tropical, leur identification et leur suivi par télédétection demeure un défi scientifique majeur. En effet, la présence d'une couverture nuageuse importante durant la période de mousson limite l'usage des données satellitaires acquises dans le domaine optique et nécessite l'usage d'autres données telles que les images radar. Par ailleurs, en Inde, les paysages agricoles, très fragmentés, sont caractérisés par de petites parcelles agricoles. La variabilité spatiale et temporelle du « Land use » est également extrêmement importante, avec généralement plusieurs cultures annuelles se succédant sur la même parcelle, et des pratiques culturales variées (notamment différents types d'irrigation...), ce qui rend leur suivi complexe.

L'objectif général de ce projet est focalisé sur l'évaluation de séries temporelles d'images optiques et radar à haute résolution spatiale pour identifier et caractériser des cultures irriguées. Plus spécifiquement, il s'agira (1) de détecter les cultures irriguées, (2) de caractériser les types de cultures irriguées (3) de déterminer les successions culturales à une échelle intra-annuelle et à une échelle parcellaire. Pour ce faire, nous utiliserons les données issues des missions Sentinel-1 (S1) et Sentinel-2 (S2) qui offrent l'avantage de combiner une haute résolution spatiale (10-30 mètres) et une fréquence d'acquisition élevée (avec 1 image tous les 12 jours) pour S-1 et 1 image tous les 10 jours pour S-2. Ce jeu de données sera complété par l'usage de séries multi-dates de données à plus haute résolution spatiale de type SPOT 6/7 et/ou Venùs pour le domaine optique et de TerraSar-X, Radarsat-2 et RISAT-2 pour le domaine radar.

D'un point de vue méthodologique, le projet permettra de développer de nouvelles méthodes de fusion d'informations (radar et optique), d'adapter de nouvelles méthodes de classification basées sur la Théorie du Chaos pour identifier différents types de cultures en combinant des séries temporelles de données radar et optiques. Les informations spatialisées (cartographie des types de cultures irriguées, cartographie de leur phénologie..) seront produites à une échelle spatiale (parcelle) et temporelle (intra annuelle) encore inédite sur ces territoires agricoles. Elles seront intégrées dans un SIG et contribueront à alimenter des modèles agro-hydrologiques développés par les partenaires du projet pour une meilleure gestion de la ressource en eau. Ce projet contribuera également à renforcer les collaborations de recherche entre l'Inde (Institut Indien des Sciences de Bangalore, l'Agence Spatiale Indienne ISRO) et la France (IRD, CNRS et CNES).

2.2. SITUATION ACTUELLE DU THEME DE RECHERCHE

2.2.1. CONTEXTE GENERAL

Depuis plusieurs décennies, la télédétection est utilisée pour étudier les territoires irrigués (Lobel et al., 2008 ; Thenkabail *et al.*, 2005, Thenkabail *et al.*, 2009a, Thenkabail et al., 2009b). Elle fournit, à différentes échelles (globale, régionale ou locale), des informations spatialisées sur la localisation des surfaces irriguées utiles pour les gestionnaires et acteurs locaux. Ainsi, les cartes produites à partir des produits spatiaux servent notamment, à évaluer les techniques d'irrigation, estimer les quantités d'eau prélevées, évaluer leur impact sur l'environnement, ou permettre une meilleure gestion de la ressource en eau...Malgré tout, les travaux portant sur la détection et la caractérisation des cultures irriguées par télédétection demeurent assez rares (Ozdogan *et al.*, 2010). Ceci est lié au fait que l'irrigation reste un type d'usage des sols complexe à identifier et a fortiori à caractériser. En effet, la détection des surfaces irriguées requiert une connaissance spécifique des pratiques culturales du territoire étudié, notamment il est nécessaire de savoir où et quand un exploitant agricole va fournir de l'eau à un type de culture. On peut ainsi définir une culture comme étant irriguée quand cette dernière reçoit de l'eau par des voies artificielles durant la période de croissance de la plante (Ozdogan *et al.*, 2010). A ce niveau, on distingue les cultures « d'irrigation complète » quand 60% des besoins en eau de la plante sont pourvus artificiellement et les cultures « d'irrigation partielle » quand seulement 30 à 60% des besoins en eau sont fournis. La ressource en eau apportée par irrigation peut provenir indifféremment des eaux de surface ou des eaux souterraines. D'un point de vue sémantique, les cultures irriguées correspondent ainsi à une sous classe de la classe « culture » qui est elle-même traditionnellement difficile à cartographier sur certains territoires agricoles. Dans certaines régions du monde, les parcelles agricoles et plus particulièrement les cultures irriguées sont en effet caractérisées par de très forts changements spatiotemporels qui rendent leur détection et suivi complexe (Corgne *et al.*, 2014). Si une seule image acquise à un instant précis du stade phénologique des cultures (généralement le maximum de croissance) peut s'avérer utile pour détecter les cultures irriguées, d'une manière générale, quelle que soit l'échelle d'analyse, la détection des cultures irriguées par télédétection privilégie l'exploitation de séries d'images optiques (Thenkabail *et al.*, 2009a, Gumma *et al.*, 2011). A partir de ces séries multi temporelles, des profils d'indice de végétation comme le NDVI sont généralement extraits durant la période culturale et les pics d'indices de végétation sont extraits et classés pour identifier ou non la présence d'une culture irriguée.

Aux échelles globales et locales, de nombreuses études (Velpuri *et al.*, 2009, Thenkabail et al., 2005; Thenkabail et al., 2009b) ont ainsi exploité des séries d'images de type NOAA AVHRR ou MODIS pour détecter avec des taux de précision hétérogènes selon les territoires étudiés, les cultures irriguées. Ces études reposent donc sur des classifications de profils temporels d'indice de végétation ou de variables biophysiques (LAI :Leaf Area Index, Fapar : Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation ...) durant la période de croissance des cultures. Leur caractérisation, c'est-à-dire, la discrimination des types de cultures irriguées reste néanmoins difficile avec ce type d'images et nécessite l'usage de données de télédétection combinant une haute résolution spatiale et une forte répétitivité au niveau des acquisitions d'images. A l'échelle locale, Zheng et al. (2015) ont ainsi pu, sur un territoire de grande cultures (Arizona ; Etats-Unis), détecter et caractériser les types de cultures irriguées à l'aide d'une série d'images Landsat à haute fréquence temporelle. Comme pour les images à moyenne résolution spatiale, la qualité de la série temporelle et de l'échantillonnage terrain apparaissent fondamentaux pour obtenir des résultats satisfaisants.

Plusieurs verrous scientifiques peuvent ainsi être identifiés :

- La détection et la caractérisation des cultures reposent majoritairement sur l'exploitation de séries temporelles d'images optiques acquises durant la période végétative, ce qui présente une contrainte forte pour les territoires couverts par une forte nébulosité ;
- Les capteurs à haute résolution temporelle de type MODIS ou SPOT-Végétation offrent des taux de détection intéressants aux échelles globales et régionales mais ne permettent pas d'identifier les types de culture irriguées à une échelle parcellaire;
- Les algorithmes de classification appliqués aux images à haute résolution spatiale et temporelle (HRST) sont généralement issus de méthodes développées pour les données à moyenne résolution spatiale. Ils nécessitent ainsi de nouveaux développements pour être adaptés aux données HRST ;
- Les territoires d'agriculture irriguée en Asie, qui sont caractérisés par des petites parcelles agricoles, de forts changements spatio-temporels et une forte nébulosité, restent encore peu étudiés à des échelles locales car ces études nécessitent l'usage de séries de données radar et optiques à HRST qui ne sont accessibles que depuis peu (Sentinel-1 depuis 2014 et Sentinel 2 depuis 2015; future mission Venµs...)

2.2.2. APPLICATION A L'AGRICULTURE IRRIGUEE EN INDE

Le site d'étude est localisé dans le sud de l'Inde (Etat du Karnataka), sur le bassin versant expérimental du Berambadi (87 km²) étudié dans le cadre du programme AICHA-CEFIPRA (Ruiz *et al.*, 2015) (Figure 1).

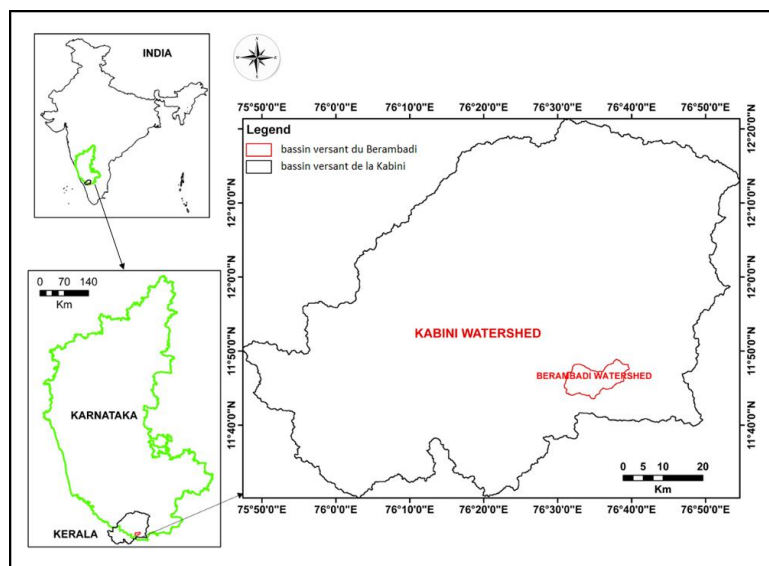


Figure 1 – Localisation du site d'étude en Inde

Le projet AICHA (2013 – 2016), porté par le centre Indo-français pour la promotion de la recherche avancée (CEFIPRA/IFCPAR), était un projet associant plusieurs centres de recherche français et indiens tels l'Institut National des Recherches Agronomiques (INRA), le laboratoire LETG-Rennes-COSTEL (CNRS), l'Institut des Sciences de Bangalore (IISc), l'Organisation des Recherches Spatiales Indiennes (ISRO) et l'IRD (LMI CEFIRSE : Cellule franco-indienne de recherche en science de l'eau).

Son objectif était de développer, dans le contexte du changement climatique et de la multiplication des systèmes d'irrigations dont les cultures deviennent de plus en plus dépendantes, des méthodes fiables d'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures actuels et de scénarios alternatifs. Le projet proposait une approche pluridisciplinaire impliquant des études hydrologiques, agronomiques, socio-économiques afin de comprendre l'impact du changement climatique sur les systèmes culturaux et les ressources en eau dans le contexte d'une utilisation des eaux souterraines pour l'irrigation des cultures et des conséquences qu'entraînent l'utilisation des sols sur les ressources en eau. **Le bassin versant étudié, le Berambadi, représente un cas représentatif de l'agriculture irriguée en Inde avec une surexploitation de la ressource en eau entraînant une baisse continue du niveau de la nappe phréatique et une dégradation importante de la qualité de l'eau (pollution par les nitrates et pesticides).**

La détection et la caractérisation de l'usage des sols et des cultures irriguées à échelle fine apparaît ainsi comme un prérequis majeur pour une modélisation intégrée du bassin versant. Par télédétection il représente néanmoins un challenge scientifique majeur, car il est caractérisé par un micro parcellaire important (superficie moyenne des parcelles inférieure à 0.5 ha), une forte nébulosité durant la mousson du Sud-Ouest (mai à septembre) et du Nord-Est (octobre à janvier), plusieurs cycles culturaux à l'échelle intra-annuelle (deux à trois cultures différentes par an) et de nombreux modes de gestion agricoles (différents types d'irrigation, etc.). Dans le cadre du programme AICHA, le LETG Rennes COSTEL a ainsi cartographier entre 1990 et 2015 l'évolution des cultures irriguées durant la saison sèche (été) sur le bassin versant expérimental (Berambadi) grâce à une série multi temporelle optique de type Landsat. Ces travaux ont ainsi pu permettre de spatialiser et quantifier la progression des cultures irriguées et les mettre en relation avec la baisse du niveau des nappes d'eau souterraines.

Suite à ce projet, un nouveau projet dénommé ATCHA (Accompagner l'adaptation de l'agriculture irriguée au changement climatique) a été déposé par l'INRA en avril 2016 à l'ANR dans la catégorie R&D (Orientation 2 : Gestion durable des ressources naturelles). L'objectif du projet ATCHA vise à aller plus loin qu'AICHA en combinant notamment un modèle intégré et une approche participative pour accompagner les agriculteurs dans l'adaptation de leurs systèmes dans un réseau de bassins versants expérimentaux dans l'Etat du Karnataka. Grâce à une approche inter-disciplinaire, impliquant hydrologues, géochimistes, pédologues, agronomes, géographes, économistes et sociologues et avec la

participation de partenaires indiens, scientifiques et acteurs du développement agricole, il vise à démontrer la pertinence des modèles intégrés pour partager les connaissances entre chercheurs et acteurs et pour co-construire et évaluer des scénarios de développement durable.

C'est donc dans un contexte international (Franco-Indien) et interdisciplinaire déjà bien établi que s'inscrit Irriga-Detection. Il vise, sur un bassin versant expérimental, à extraire des informations spatialisées originales sur les cultures irriguées à une échelle encore inédite, la parcelle agricole, échelle d'analyse requise pour une meilleure compréhension des dynamiques spatiales et temporelles de ces territoires. Cette information spatialisée offrira un niveau de précision sémantique et spatiale de haut niveau pour leur assimilation dans un modèle intégré visant à proposer des scénarios de développement durable sur ces territoires à fort enjeu environnemental, économique et sociétal.

2.2.3. PERSPECTIVES DE RECHERCHE ET RESULTATS ATTENDUS

Pour identifier et caractériser les cultures irriguées par télédétection en Inde, Irriga-Detection explorera de nouvelles perspectives de recherche :

- **La synergie Radar/Optique HRST** pour la détection des cultures irriguées. L'acquisition de données radar permettra d'obtenir une information complémentaire à l'optique sur l'humidité des sols par exemple, et permettra l'acquisition de données durant les périodes de mousson. Cette synergie radar/optique n'a pas ou peu été étudiée sur la thématique des cultures irriguées, les données comme Sentinel-1 et 2 seront ainsi évaluées.
- **Le développement d'algorithme de classification** dédiée aux séries temporelles à haute résolution spatiale et multi sources. Actuellement, la plupart des algorithmes utilisés reposent sur les classifications de profils temporels issus des capteurs optiques à moyenne résolution spatiale de type MODIS. Nous développerons ici des méthodologies adaptés à la HRS et aux données multi-capteurs.

Les résultats attendus sont donc de plusieurs ordres :

- Développement d'algorithmes de fusion d'informations adaptés aux images Radar/Optique à HRST visant à optimiser la détection des cultures irriguées.
- Développement d'algorithmes de classification dédiés aux grandes séries d'images à Haute résolution spatiale
- Cartographie à l'échelle parcellaire des cultures irriguées ou non présentes sur le bassin versant ; de leurs principaux stades phénologiques et de leurs principaux modes de gestion
- Transfert des algorithmes développés vers des logiciels libres de type OTB (CNES) ou SNAP (ESA) ; intégration des couches dans le Géoportail INDIGEO

La connaissance spatio-temporelle des dynamiques d'occupation des sols (identification des cultures, détermination des cultures irriguées et spatialisation des rotations culturales) représente la donnée de base pour une modélisation intégrée du territoire. Ces données spatialisées pourront ainsi ensuite être assimilées dans des modèles intégrés couplant des modèles de type hydrologique (AMBHAS), agronomique (STICS) développés par les partenaires du projet (IRD et INRA).

2.3. DESCRIPTION DETAILLEE DE LA PROPOSITION

Dans cette proposition, la méthodologie envisagée repose sur l'exploitation de données radar (Sentinel-1, TerraSAR-X, Radarsat-2) et optiques (Sentinel-2, Venùs, SPOT6/7) acquises à une haute fréquence temporelle (2 à 4 images par mois en fonction de la saison) sur un bassin versant expérimental où de nombreuses campagnes terrain seront effectuées. Nous nous focaliserons ici sur l'année 2017, avec des acquisitions réalisées au cours des trois saisons culturales se succédant sur le bassin versant du Berambadi :

- La saison d'été comprise entre février et mai, caractérisée par une saison sèche et très chaude au cours de laquelle seules sont présentes quelques cultures irriguées;
- La saison de la mousson du sud-ouest (ou Kharif) de juin à septembre, période durant laquelle les précipitations sont les plus abondantes et les cultures irriguées et pluviales diversifiées ;
- La saison de la mousson du nord-est (ou Rabi) d'octobre à fin janvier pendant laquelle les précipitations sont moins importantes et très variables ce qui entraîne souvent une irrigation d'appoint.

Ce projet est composé de 4 tâches :

- **Tâche 0 : Gestion du projet**
 - Réunions, rapports...
- **Tâche 1 : Analyse des séries d'images radar et optiques**
 - Acquisition des données, mise à jour du parcellaire agricole, campagnes terrain pour la calibration et la validation du traitement des images de télédétection, prétraitement des images, extraction des variables à partir des séries d'images radar et optiques, analyse des variables et mise en relation de ces dernières avec des paramètres cultureux (exemple LAI, biomasse).
- **Tâche 2 : Classification multi temporelle et multi sources**
 - Développement de nouvelles méthodes de fusion d'informations (radar et optique) basées sur les récents travaux de Dezert-Smarandache (2015) afin d'optimiser la détection des cultures irriguées.
 - Adaptation de nouvelles méthodes de classification basées sur la Théorie du Chaos pour l'identification des différents types de culture présents sur le bassin versant.
 - L'assimilation de données de télédétection dans des modèles hydrologiques et agronomiques pour l'étude de la qualité de l'eau et l'estimation des rendements.
- **Tâche 3 : Production et valorisation des résultats**
 - Cartographie des cultures irriguées à une échelle parcellaire et à une échelle intra annuelle
 - Intégration des données dans un Géoportail (Indigéo)
 - Mise à disposition des outils algorithmiques développés dans des logiciels développés par le CNES et l'ESA (OTB et SNAP)

2.3.1. TACHE 0 : GESTION DE PROJET

Responsable : Samuel Corgne

Cette tâche vise à s'assurer, via la constitution d'un groupe de direction composé des responsables de chaque tâche, du bon déroulement du projet et de la production des rapports. Deux rencontres seront organisées la première année entre tous les participants pour détailler les objectifs et le fonctionnement de chaque tâche. Par la suite, une réunion par an est prévue pour faire le point sur les différents travaux réalisés dans chaque tâche. Par ailleurs, un site web sera créé avec une interface externe visant à illustrer et diffuser les résultats de ce programme tandis qu'une partie interne sera réservée à la communication et à l'échange de données pour les différents membres du projet. Ce groupe sera également consulté en cas d'éventuels conflits. Cependant, la plupart des membres de ce consortium se connaissent et ont déjà travaillé ensemble, ce qui devrait assurer un déroulement sans difficultés de ce projet.

2.3.2. TACHE : 1 ANALYSE DES SERIES D'IMAGES RADAR ET OPTIQUE

Responsables : E. Pottier ; Betbeder J.

Participants : S. Corgne, L. Ruiz, S. Muddu, G. Mercier, L. Hubert-Moy

L'acquisition des images à haute résolution spatiale et temporelle se fera sur l'année 2017 uniquement. Si les données Sentinel-1 et 2 sont privilégiées (gratuites), nous utiliserons également des séries multi-dates images payantes ayant une plus haute résolution spatiale : images radar TerraSAR-X et Radarsat-2 (acquises avec VIGISAT par le GIS BRETEL et images optiques Venùs et/ou SPOT6/7. La période d'acquisition couvrira les 3 saisons culturelles de 2017, c'est-à-dire l'été (février – mai), le Kharif (juin – septembre) et le Rabi (Octobre – Janvier). En cumulant l'ensemble de ces acquisitions, nous espérons obtenir de 2 à 4 images optiques et radar par mois sur l'ensemble de l'année.

Associées à ces acquisitions, des campagnes terrain seront menées mensuellement par les partenaires de l'Institut des Sciences de Bangalore (IISc) et de l'IRD sur le site expérimental du Berambadi. Différents types d'information seront collectées (occupation des sols, type de culture, humidité des sols, mesures de LAI, hauteur des cultures...) sur 100 parcelles suivies mensuellement dans le cadre du programme AICHA-CEFIPRA depuis 2011, et sur une centaine d'autres parcelles nouvellement enquêtées.

Toutes les images radar et optiques seront prétraitées géométriquement et radiométriquement . .

A partir des images optiques, nous extrairons les variables biophysiques (LAI : Leaf Area Index ; Fapar : Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation...) en inversant le modèle de réflectance PROSAIL (Jacquemoud et Baret, 1990, Lecerf *et al.*, 2008). Celles-ci seront calibrées et validées à partir de mesures terrain effectuées sur les parcelles expérimentales.

A partir des images radar, nous extrairons les coefficients de rétrodiffusion, ainsi que des paramètres polarimétriques issus de différentes décompositions (Cloude-Pottier, Yamagushi, Freeman-Durden...) pour les images acquises en pleine polarimétrie issues de Radasat-2 (Cloude et Pottier, 1996., Corgne *et al.*, 2014.). Un autre aspect visera à évaluer le mode « Compact Polarimetry » présent sur le satellite Indien RISAT-2 et qui a encore été très peu évalué sur des problématiques agricoles.

L'ensemble de ces paramètres radar et optiques seront ensuite restitués à l'échelle de la parcelle agricole en utilisant le parcellaire existant sur l'espace d'étude et remis à jour à l'aide d'images optiques THRS (SPOT6/7 fusionnées) acquises en 2017. Une analyse descriptive des profils temporels radar et optiques en relation avec les données terrain sera ensuite effectuée. Puis, des analyses statistiques seront menées afin d'étudier les relations entre les variables biophysiques dérivées des images optiques, les coefficients et paramètres dérivés des images radar d'une part, et les paramètres culturaux et les paramètres de surfaces (humidité) observés/mesurés sur le terrain d'autre part (Wang *et al.* 2016).

Afin d'identifier les variables les plus discriminantes, nous utiliserons des approches statistiques de type MMI (Modèles Multi-Inférences).

2.3.3. TACHE 2 : CLASSIFICATION MULTITEMPORELLE ET MULTICAPTEURS

Responsables : G. Mercier, S. Mangiarotti

Participants : J. Dezert, J. Betbeder, S. Corgne, L. Hubert-Moy,

Trois aspects seront étudiés :

(1) La fusion d'information pour la détection des cultures irriguées

Les règles de fusion d'information ont pour objectif général d'améliorer la connaissance d'un objet ou d'un phénomène observé en combinant différentes sources d'information qui peuvent être des images satellitaires, des données issues de campagne terrain, des expertises, des données statistiques... (Bloch, 1996). Le développement de modèles de fusion d'informations intégrant les notions d'incertitude et d'imprécision représente encore aujourd'hui une problématique de recherche en plein essor tant d'un point de vue théorique, que méthodologique et applicatif. Ainsi, si dans un premier temps, la fusion s'est développée dans le domaine militaire (Appriou, 1991), les règles de fusion sont depuis une dizaine d'années largement utilisées et appliquées dans des disciplines telles que les sciences environnementales, sciences sociales...(Simone *et al.*, 2002; Tacnet *et al.*, 2009; Zhang, 2010; Peijun *et al.*, 2013). Trois niveaux de fusion peuvent être définis (figure 2) :

- La fusion de données ou fusion de bas niveau qui correspond à la fusion d'informations provenant directement de capteurs satellitaires par exemple (c'est-à-dire fusion d'images multi spectrales avec la bande panchromatique).
- La fusion d'indicateurs ou fusion de moyen niveau qui peut correspondre à la combinaison de paramètres de texture, d'un indice de végétation, de variables biophysiques, paramètres polarimétriques... provenant d'une ou plusieurs images satellitaires.
- La fusion de décisions ou fusion de haut niveau qui correspond à la fusion d'informations de bas et moyen niveau avec des décisions.

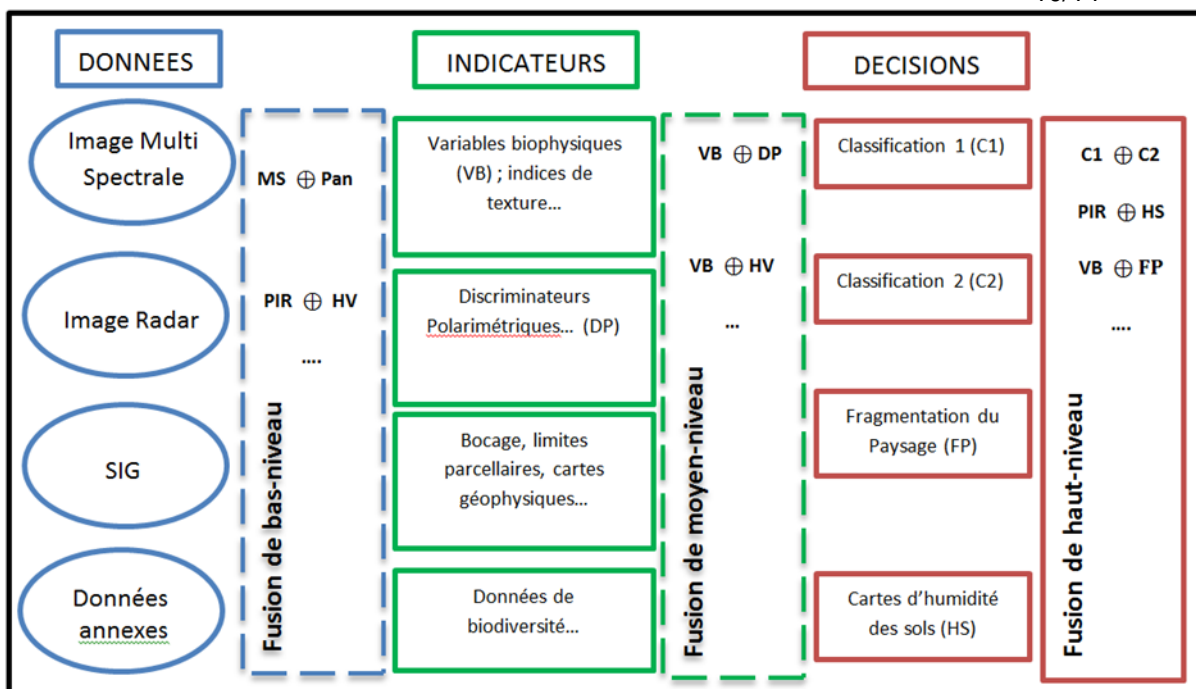


Figure 2 - Représentation des différents niveaux de fusion d'information appliquée à l'étude des changements d'occupation et d'usage des sols

L'ensemble de ces niveaux de fusion seront évalués pour identifier deux types d'usages : « parcelle non irriguée » et « parcelle irriguée ». Pour cela, nous adapterons deux modèles de fusion de données ayant déjà montré leur intérêt pour améliorer les niveaux de détection de cible ou de classes d'occupation des sols (Liu *et al.*, 2014, Corgne *et al.*, 2004). Il s'agit de i) la Théorie de Dempster Shafer (DST) qui offre un cadre de discernement permettant d'intégrer l'incertitude liée aux données et/ou à la classe étudiée dans son processus de modélisation ; ii) les règles PCR (Proportional Conflict Redistribution rules) de Dezert-Smarandache permettant une meilleure gestion des conflits entre les sources lorsque celles-ci sont contradictoires (Smarandache et Dezert, 2015). Il est intéressant de noter que cette règle de fusion n'a jamais été développée dans le domaine de l'imagerie radar/optique.

(2) La classification de séries temporelles avec la théorie du Chaos pour la discrimination des cultures

Une nouvelle approche de classification utilisant la théorie du Chaos (Mangiarotti *et al.*, 2014) sera adaptée à l'identification des types de cultures irriguées. Son intérêt pour les classifications appliquées à l'agriculture réside dans sa capacité à modéliser un ensemble global de solutions pour identifier une signature temporelle caractéristique d'une culture ou d'une pratique culturelle spécifique. L'approche a pu être testée avec succès pour modéliser les cycles de la végétation en région semi-aride au Mali (Mangiarotti *et al.*, 2012). Les tests préliminaires effectués sur le Berambadi (figure 3), basés sur l'exploitation d'images optiques uniquement offrent des perspectives intéressantes (Mangiarotti *et al.*, 2016). Cette approche méthodologique sera évaluée afin d'identifier les cultures à partir des séries temporelles des variables définies à l'issue de la tâche 1. L'adaptation de la méthodologie basée sur la théorie du chaos sera effectuée en se basant sur les observations effectuées sur le terrain sur les 200 parcelles « témoins » enquêtées sur le bassin versant. .

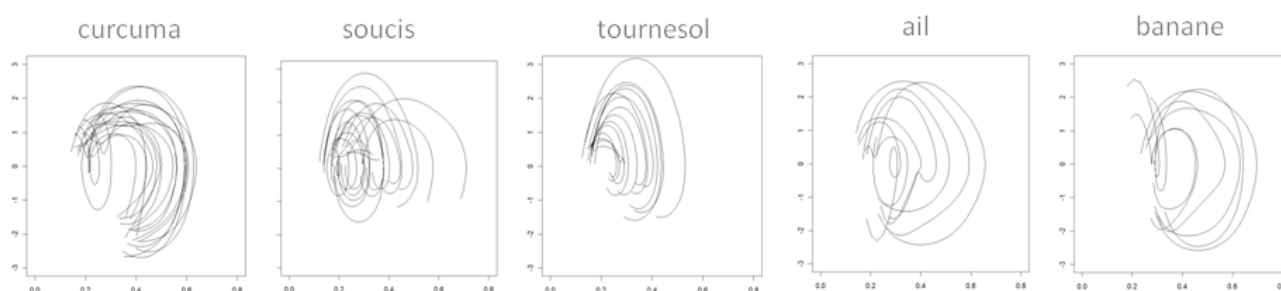


Figure 3– Portraits de phases (y , dy/dt) obtenus à partir des séries originales interpolées, pour cinq types de couverts agricoles en Inde du Sud (Mangiarotti, 2016).

(3) L'assimilation de données de télédétection pour l'estimation des rendements et l'étude de la qualité de l'eau

Le croisement de la cartographie des cultures irriguées issue de la fusion des images radar et optiques avec la cartographie des cultures issue de la théorie du Chaos permettra d'identifier les types de cultures irriguées pour chaque période culturale (saison). Nous pourrions ainsi déterminer à l'échelle parcellaire, les rotations culturales et les pratiques d'irrigation.

Ces informations dérivées de données de télédétection seront assimilées dans un modèle hydrologique (AMBHAS) afin d'analyser l'impact de l'irrigation sur la qualité de l'eau et sur le niveau de la nappe phréatique du bassin versant (Riotte *et al.*, 2014). Par ailleurs, dans un objectif d'estimation des rendements des cultures, les paramètres culturaux dérivés des séries temporelles optiques et radar seront assimilés dans le modèle agronomique STICS (Sreelash *et al.*, 2013). Cette partie sera réalisée en partenariat avec les laboratoires impliqués dans le programme AICHA.

2.3.4. TACHE 3 : PRODUCTION ET VALORISATION DES RESULTATS

Responsables : S. Corgne, A. Thomas

Participants : Tous

Tous les résultats seront intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG) afin de fournir des données spatialisées en mode vecteur et raster qui seront facilement exploitables par l'ensemble des partenaires du projet. Par la suite, l'ensemble des données produites seront stockées sur l'Infrastructure de Données Géographiques (IDG) INDIGEO, plateforme développée par le LETG. Constituée d'un catalogue de métadonnées et d'un serveur de données géospatialisées adossé à un visualiseur cartographique, INDIGEO offre une grande souplesse d'échange, de modification et de valorisation des résultats produits. Les résultats attendus incluent donc (1) la carte des cultures sur l'ensemble du bassin versant durant les 3 saisons culturales permettant de spatialiser à l'échelle parcellaire les rotations culturales intra-annuelles sur tout le bassin versant, (2) la carte des types de cultures irriguées et (3) la carte des dynamiques des principaux stades phénologiques des cultures irriguées.

Ces couches d'information viendront alimenter les débats et discussions avec le Centre d'Expertise Scientifique sur l'occupation des sols (CES OSO) initié par le CNES. Le transfert de connaissances se fera également par le biais d'intégration des algorithmes produits (fusion, classification...) au sein des logiciels de traitement d'image développés par le CNES (OTB) et SNAP (ESA).

Par ailleurs, l'équipe d'Irriga-Detection intervenant dans différentes formations (Master, Ecoles d'Ingénieur...), nous aurons à cœur de promouvoir nos travaux et les avancées méthodologiques réalisés dans le cadre de ce projet. Des interventions, sous forme de séminaires ou autres, sont ainsi prévues dans nos formations respectives afin de sensibiliser les étudiants aux approches spatiales et pluridisciplinaires développées dans ce projet.

Enfin, plusieurs publications seront soumises dans des revues internationales de rang A (RSE, IEEE TGRS) et les travaux effectués seront présentés dans un colloque international (IGARSS 2017).

2.4. RESSOURCES ET CALENDRIER PREVISIONNEL DE LA PROPOSITION

Le projet proposé nécessite une équipe de recherche reconnue en télédétection et un partenariat scientifique international entre la France et l'Inde. Pour ce faire, nous développerons la collaboration de recherche, initiée dans le cadre du programme AICHA (2013-2016) entre le LETG Rennes COSTEL et le LMI CEFIRSE (Cellule franco-indienne de recherche en science de l'eau) basé à l'Institut des Sciences de Bangalore.

Ce projet, structuré sur trois années (2017-2019) (figure 2).

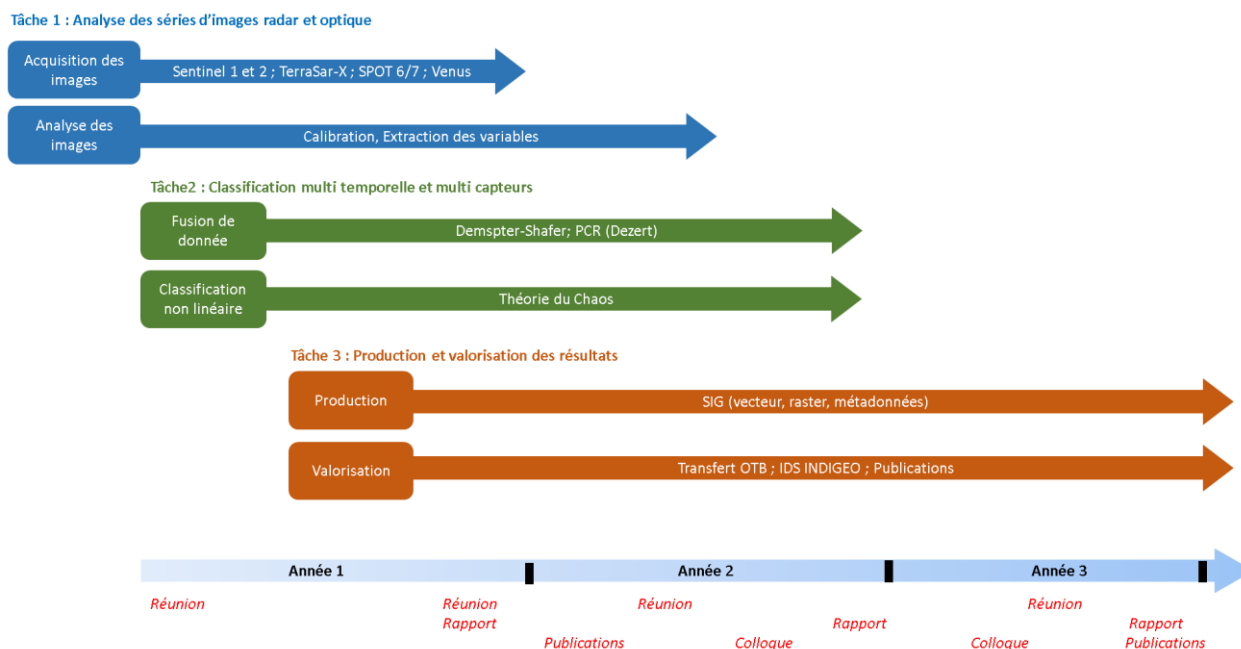


Figure 4 – Calendrier de travail de 2017 à 2019

- **Tâche 1** : l'acquisition de la série d'images radar et optiques est prévue pour 2017 seulement mais à une haute répétitivité temporelle sur les 3 saisons culturales. Conjointement les analyses de la série de données est prévue jusqu'à la fin de 1^{er} semestre 2018.
- **Tâche 2** : les premiers tests de fusion de données et de discrimination des cultures par approche globale se feront après la fin de « l'été indien », c'est-à-dire juin 2017. Les méthodes seront améliorées et affinées avec des résultats finalisés pour le 1^{er} semestre 2019
- **Tâche 3** : la production des résultats débutera dès la fin du 1^{er} semestre 2017 (parcellaire agricole mis à jour notamment, variables radar et optique...) avec une livraison finale de l'ensemble des données géographiques au sein d'INDIGEO pour la fin de l'année 2019

Au début de chaque année, des réunions impliquant tous les partenaires du projet seront organisées (2 pour la première année) et un rapport d'activité sera produit chaque fin d'année. Les travaux de valorisation scientifique sont prévus pour les années 2 et 3 du projet.

Pour mener à bien le projet Irriga-Detection, nous prévoyons l'embauche d'un Ingénieur Recherche spécialisé en télédétection et SIG sur les 2 premières années du projet (2017 et 2018). Il sera chargé d'acquérir les séries d'images radar et optiques sur l'année 2017, effectuer les différents prétraitements et traitements des images, l'extraction des variables biophysiques et des coefficients et paramètres radar, mais également des analyses multi temporelles des profils. Il participera au développement et à l'adaptation des méthodes de fusion et de classification de données. En parallèle, il mettra en forme les données produites au sein d'un SIG et alimentera la plateforme Indigéo avec notamment la production de fiches métadonnées aux normes INSPIRE afin de permettre une valorisation fluide des résultats. Il sera pour cela intégré au LETG Rennes COSTEL où les compétences sur ces domaines sont reconnues.

2.5. PUBLICATIONS

- Appriou A. 1991. Probabilités et incertitudes en fusion de données multisenseurs. *Revue Scientifique et Technique de la Défense*, 11–27.
- Benoit G. et Richard Y., 2012. L'eau et la sécurité alimentaire face au changement global : quels défis, quelles solutions ? Contribution au débat international. CGAAER, 75 p.
- Betbeder J., Rapinel S., Corpetti T., Pottier E., Corgne S., Hubert-Moy L., 2014, Multitemporal classification of TerraSAR-X data for wetland vegetation mapping, *Journal of Applied Remote Sensing* article (JARS-14007P), Vol.8, (1):083648, DOI: 10.1117/1.JRS.8.083648
- Bloch I., 1996. Information Combination Operators for Data Fusion: A Comparative Review with Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 26, 52–67.
- Cloude S.R. & Pottier E. 1996. A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 34, 498–518.
- Corgne, L. Hubert-Moy, G. Mercier and J. Dezert. 2004. Application of DSMT for land cover change prediction. In SMARANDACHE F., DEZERT J.: *Advances and Applications of DSMT for information Fusion. From Evidence to Plausible and Paradoxical Reasoning for Land Cover Change Prediction*, American Research Press, Rehoboth, pp.371-382,
- Corgne S., Dallon D., Mercier G. 2014. Land use and land cover monitoring with multi temporal and multi polarization Radarsat data; Application to an intensive agricultural area (France), *Geosc. Remote Sensing Symp.*, 4239-4232.
- Fishman R. M., Siegfried T., Raj P., Modi V., Lall U. 2011. Over-extraction from shallow bedrock versus deep alluvial aquifers: Reliability versus sustainability considerations for India's groundwater irrigation. *Water Resources Research*, Vol., 47, Issue 6, 15 p. DOI : 10.1029/2011WR0106
- Gumma, M.K., Thenkabail, P.S., Nelson, A., 2011. Mapping irrigated area using MODIS 250 meter time-series data: A study on Krishna river basin (India). *Water* 3, 113-131.
- Jacquemoud S. et Baret F., 1990. PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Remote Sensing of Environment*, 34:75-91, 1990.
- Lecerf R., Hubert-Moy L., Baret F., Abdel-Latif B., Corpetti T. et Nicolas H., 2008. Estimating Biophysical Variables at 250m with reconstructed EOS/MODIS time series to monitor fragment landscapes. In *IEEE Int. Geoscience and Remote Sensing Symp, IGARSS '08, Volume 2, Pages 954-957, Boston, USA, July 2008*
- Liu Z, Pan Q., Dezert J., Mercier G., Credal, 2014. Classification rule for uncertain data based on belief functions, *Pattern Recognition*, vol 47(7), pp 2532—2541.
- Lobel, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P., Naylor, R.L., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319, 607-610.
- Mangiarotti S., Mazzega P., Mougin E. & Hiernaux P., 2012. Predictability of vegetation cycles over the semi-arid region of Gourma (Mali) from forecasts of AVHRR-NDVI signals. *Remote Sensing of Environment*, doi: 10.1016/j.rse.2012.03.011, 123, 246–257.
- Mangiarotti S., Sharma A.K., Sekhar M., Corgne S., Ruiz L., Hubert-Moy L. & Kerr Y. 2016. La modélisation du chaos appliquée à la classification des couverts agricoles (bassin versant de Berambadi, Inde du Sud), 19e Rencontre du Non Linéaire, 19, Paris, 73-78.
- Ozdogan M., Yang Y., Allez G., Cervantes C., 2010. Remote Sensing of Irrigated Agriculture: Opportunities and Challenges, *Remote Sensing*, 2, 2274-2304; doi: 10.3390/rs2092274
- Peijun D., Sicong L., Junshi X., & Yindi Z., 2013. Data fusion techniques for change detection from multi-temporal remote sensing images. *Information Fusion*, 14, 19–27.
- Riotte, Ruiz, Audry, Sekhar, Mohan Kumar, et al., 2014. Impact of vegetation and decennial rainfall fluctuations on the weathering fluxes exported from a dry tropical forest (Mule Hole). *Proc. Earth Planet. Sci.* 10, 34-37.
- Ruiz L., Sekhar M., Thomas A., Badiger S., Bergez J.E., Buis S., Corgne S., Riotte J., Raynal H., Bandhyopadhyaya S. & Gascuel C., 2015. Adaptation of Irrigated agriculture to climate CHAnge: trans-disciplinary modelling of a watershed in South India. *Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future. Proc. Intern. Ass. Hydrol. Sci.*, 366, 137-138.
- Simone G., Farina A., Morabito F., Serpico S.B., & Bruzzone L., 2002. Image fusion techniques for remote sensing applications. *Information Fusion*, 3, 3–15.
- Smarandache F. et Dezert J. 2015. *Advances and Applications of DSMT for Information Fusion*, American Research Press, 506 p.

- Sreelash, Sekhar, Ruiz, Buis, Bandyopadhyay, 2013. Improved modeling of groundwater recharge in agricultural watersheds using a combination of crop model and remote sensing. *J. Indian Institute of Science*, 93, 189-207.
- Tacnet J.M., Batton-Hubert M., & Dezert J., 2009. Information fusion for natural hazards in mountains. *Advances and Applications of DSMT for information Fusion* pp. 565–660. ARP, American Research Press, USA.
- Thenkabail, P.S., Schull, M., Turrall, H., 2005. Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 95, 317–341.
- Thenkabail, P.S., Dheeravath, V., Biradar, C.M., Gangalakunta, O.P., Noojipady, P., Gurappa, C., Velpuri, M., Gumma, M., Li, Y., 2009a. Irrigated area maps and statistics of India using remote sensing and national statistics. *Remote Sensing* 1, 50–67.
- Thenkabail, P.S., Biradar, C., Noojipady, P., Dheeravath, V., Li, Y., Velpuri, M., Gumma, M.K., Reddy, G., Turrall, H., Cai, X., Vithanage, J., Schull, M., Dutta, R., 2009b. Global irrigated area map (GIAM) for the end of the last millennium derived from remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 30, 3679-3733.
- Turner B.L., Lambin E., & Reenberg A. 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *The National Academy of Sciences of the USA*, 104, 38.
- Velpuri, N.M., Thenkabail, P.S., Gumma, M.K., Biradar, C.B., Noojipady, P., Dheeravath, V., Yuanjie, L., 2009. Influence of resolution in irrigated area mapping and area estimations. *Photogramm. Eng. Remote Sensing* 75, 1383–1395.
- Wang H., Magagi R., Goita K., Jagdhuber T., Hajnsek I., 2016. Evaluation of Simplified Polarimetric Decomposition for Soil Moisture Retrieval over Vegetated Agricultural Fields. *Remote Sens.*, 8, 142; doi:10.3390/rs8020142
- Zheng, B., Myint, S.W., Thenkabail, P.S., Aggarwal, R.M., 2015. A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 34, 103-112.