

# Flagship Project 5: Model integration and multi-scale modeling in Socio-Ecological Systems (SES): from concepts to evolvable coupling tools

## Initial Objectives:

This Flagship Project had two objectives related to resolving outstanding issues in developing and applying complex models of Socio-ecological Systems (SES):

- The first objective was to integrate models across disciplines by constructing a conceptual framework for interdisciplinary SES models and developing tools for coupling existing models.
- The second objective was to use novel conceptual, mathematical and computational tools to tackle the challenges of multi-scale modelling and study propagation of uncertainty in these models.

**NB: Particularly strong interactions with Flagship Project 1**  
**Post-docs / IR – Marc Stéfanon & Juliette Adrian**

## **BASC Workshops on coupled modeling**

### **April 2013 - Réunion BASC sur la modélisation couplée**

First encounter of modelers in BASC interested in coupled models of socio-ecological systems at i) landscape and ii) regional scales.

### **November 2013 – Atelier “ClimEcol” : Du climat à l'écologie, un dialogue entre communautés**

IPSL, BASC and national attendees. Strong focus on regionalization of climate for impact studies and on land surface-regional climate feedbacks. NB: *Sponsored by GIS “Climat, Env., Société”, but heavy overlap in organizational team and attendance with BASC*

*Stéfanon et al. (2015). "Testing climate models using an impact model: what are the advantages?" Climatic Change **131**: 649-661.*

# A strategy for landscape, regional & global scale coupled models

	<b>Nitroscape</b>	<b>MORCE</b>	<b>LMDz-Orchidee</b>
Climate	Input	WRF	LMDz
Ecosystem	CERES-EGC	Orchidee	Orchidee
Air chemistry	FIDES	CHIMERE	INCA
Land mgmt	FASSET	none	none
Scenarios tested	Land use & N management	Land use & climate change	Many
Coupler	Palm	Oasis	Internal
Components to be added	Land use other than agric / Other mgmt	Urban areas Vegetation diversity (CASTENEA, CERES) Dynamic land use Economy	Dynamic land use Economy

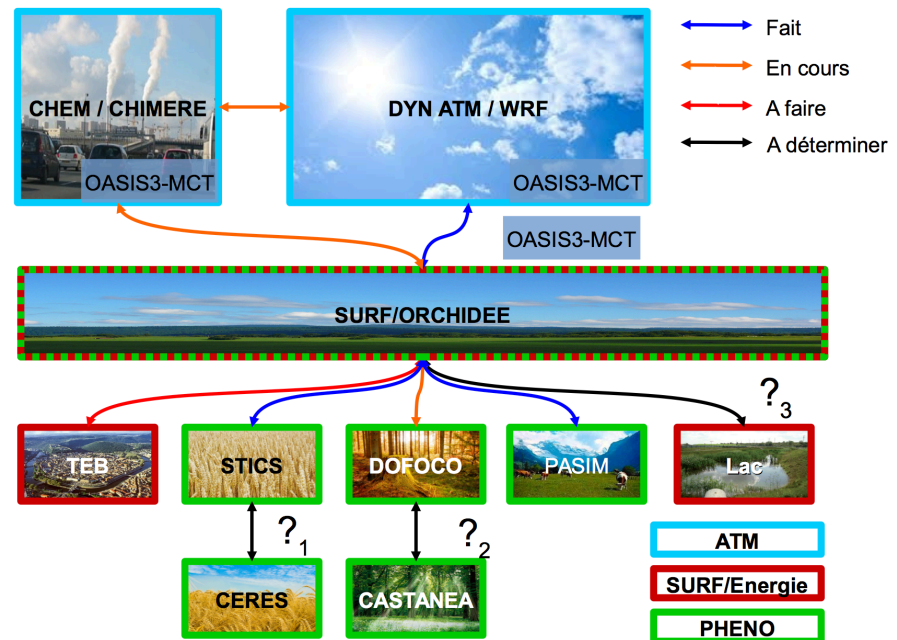
## BASC Workshops on coupled modeling

### Oct 2014 – BASC regional model development workshop

Outlined ambitious strategy for a regional scale Earth System Model based on the Model of Regional Coupled Earth System (MORCE) platform with BASC, IPSL and other partners.

*NB: only a small number of the couplings were achieved*

La plateforme de modélisation des interactions surface-atmosphère-chimie



### Jan 2015 – BASC Land use scenarios, modeling and data workshop

Solidified contacts within BASC and between BASC and CIRED

+ Several subsequent discussions leading up to to BASC STIMUL proposal

# Dynamically coupled regional climate-land system modeling using the MORCE platform

- Continued work with the MORCE Model of Regional Coupled Earth System platform. BASC Postdoc Marc Stéfanon used the MORCE platform to continue to explore land-use impacts on regional climate.

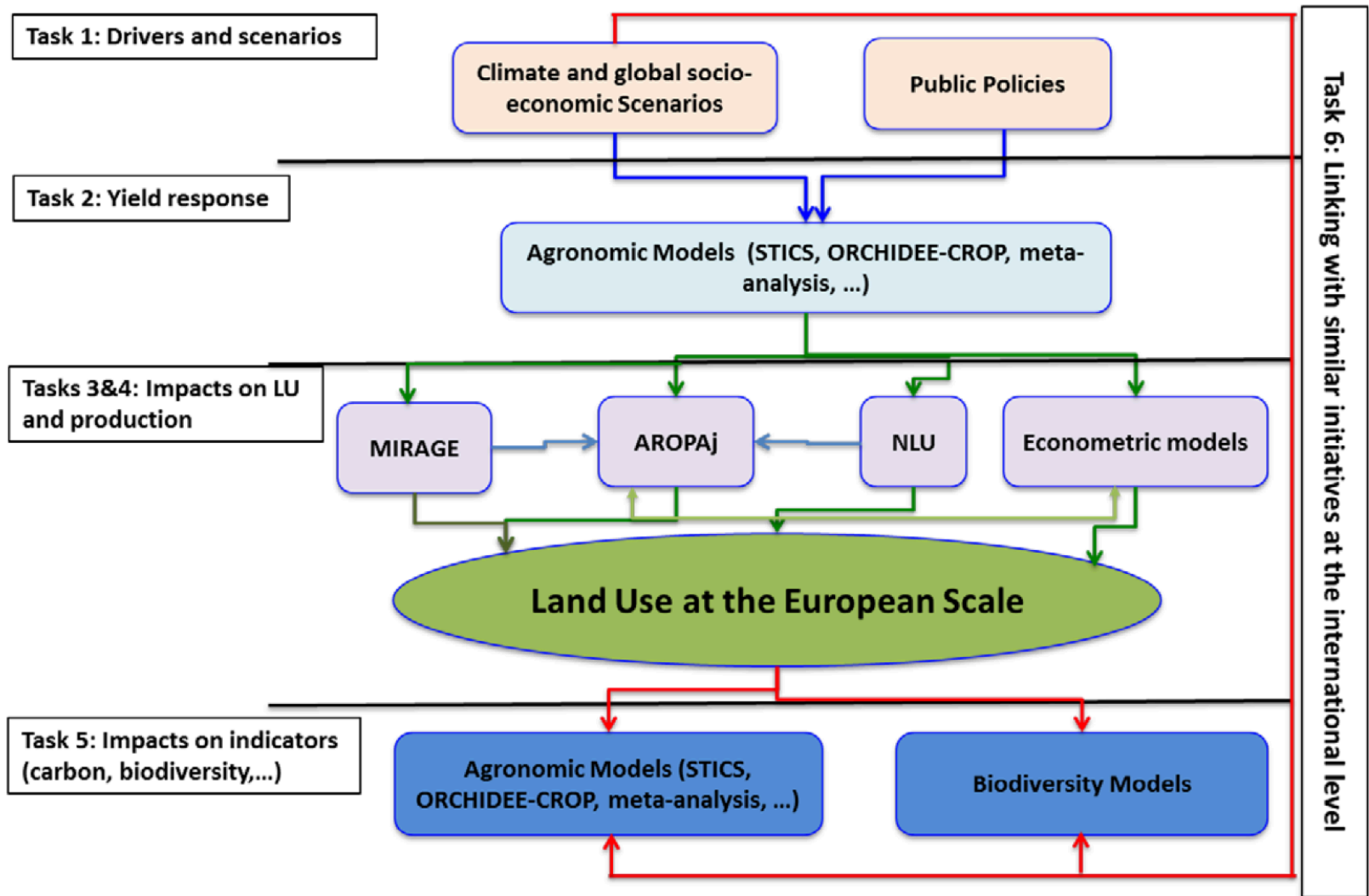
*Lemordant et al. (2016). "Modification of land-atmosphere interactions by CO<sub>2</sub> effects: Implications for summer dryness and heat wave amplitude." Geophysical Research Letters 43: 10240-10248.*

*Stefanon et al. (2014). "Simulating the effect of anthropogenic vegetation land cover on heatwave temperatures over central France." Climate Research 60: 133-146.*

- Attempted to dynamically couple the forest ecosystem model "CASTANEA" with the MORCE platform. Work was initiated to close the energy budget of CASTANEA to make this possible (Postdoc Rainer Krug), but dynamic coupling not achieved.

# BASC 2<sup>nd</sup> Phase project

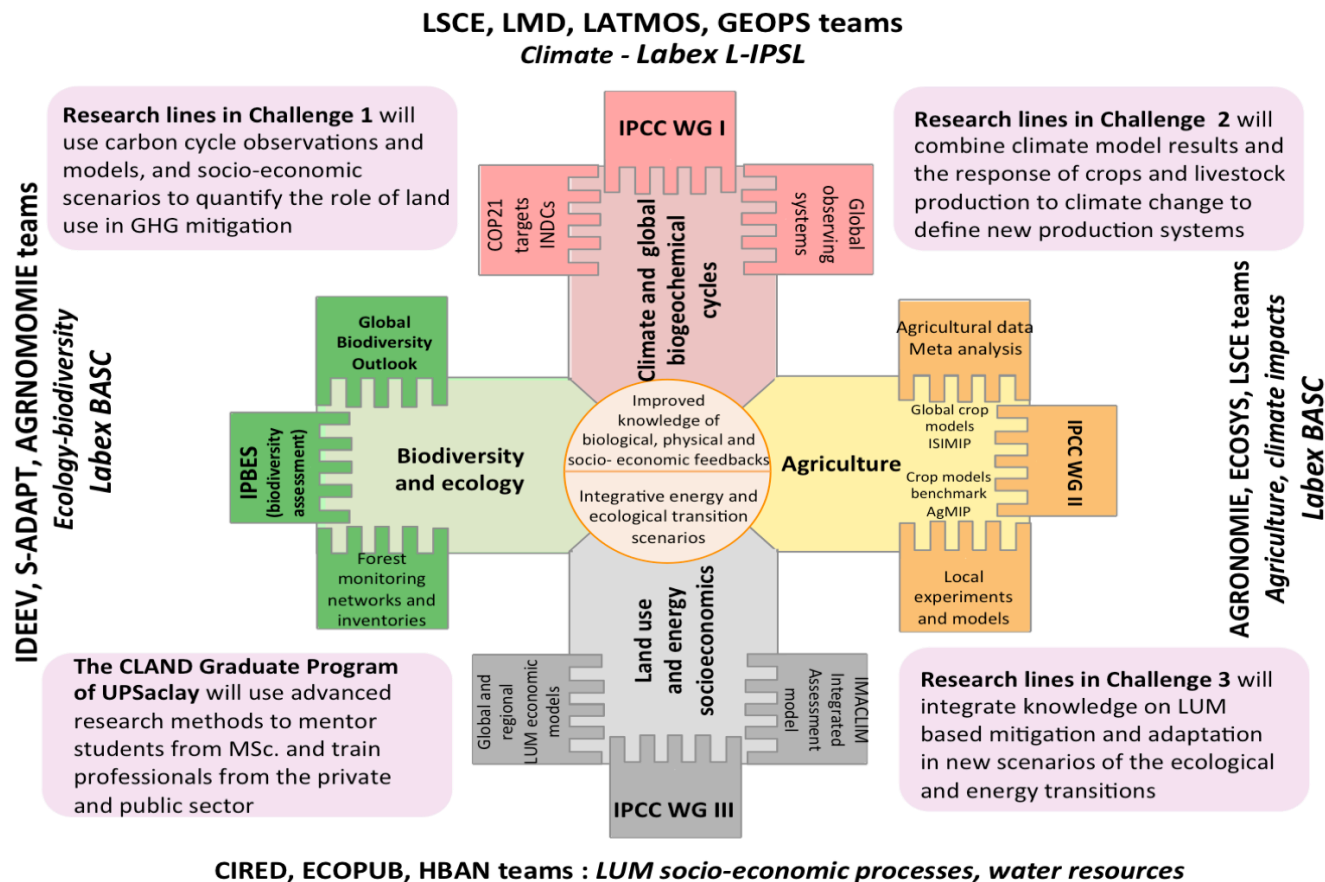
## STIMUL: Scenarios Towards Integrating Multi-scale Land-use tools



# “Institut de Convergence” CLAND

## *Climate change and land-management systems*

*The challenge of CLAND is to integrate research in modelling climate change, food and fibre production, biodiversity dynamics, ecosystem functioning and land-use socio-economics... to provide integrated assessment of a wide range of land-based solutions for managing the ecological and energy transitions of the 21<sup>st</sup> century.*



*Fig. 7: Mobilization of teams and trans-disciplinary science integration in the project*

# Linking Climate & Biodiversity Scenarios & Models

UNESCO – Paris, April 2016

Supported by the CBD, UNESCO & bioDISCOVERY - and in support of IPBES and IPCC

There is a collective, concrete plan for “SSP-Biodiversity” scenarios and models

- *Evaluating biodiversity impacts of the latest SSPs with several new global biodiversity models*
- *Injecting selected biodiversity targets and policies into the SSP scenarios*

*Contributions to thesis of Remy Prudhomme*

## Global scale scenarios & models

Upcoming assessments: IPCC, IPBES, GBO, etc.

Climate: INDC

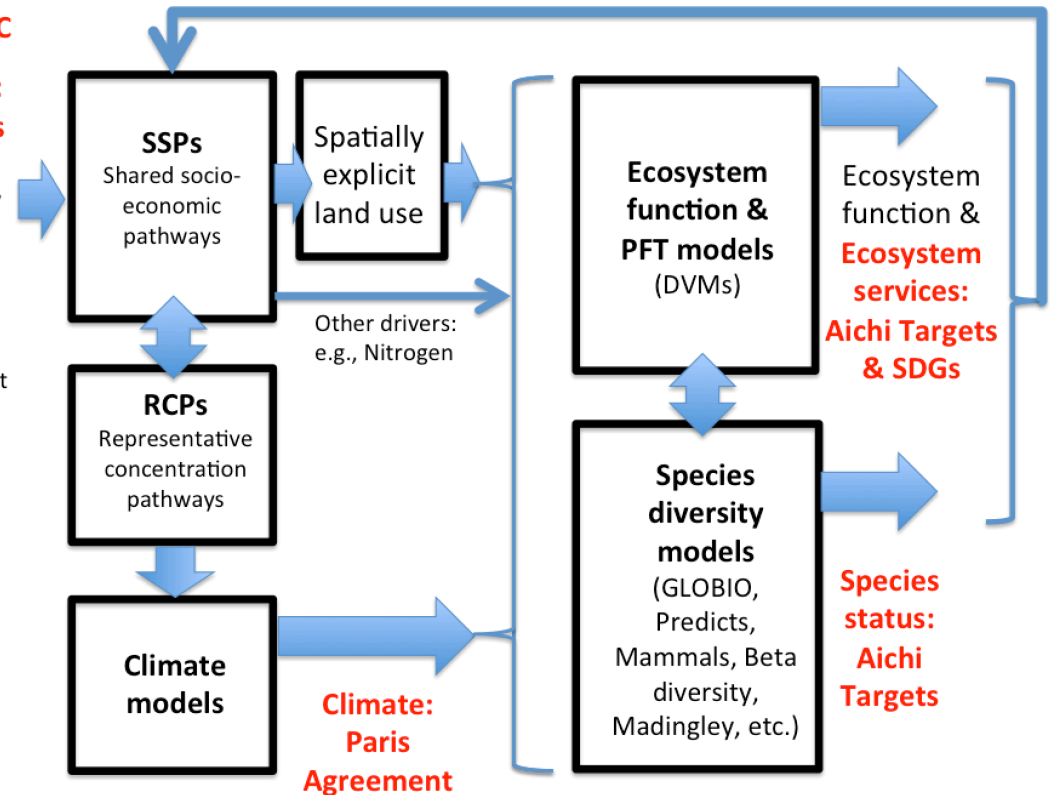
Biodiversity:

Aichi Targets

(e.g., increase protected areas, halt deforestation)

Human well being: SDGs

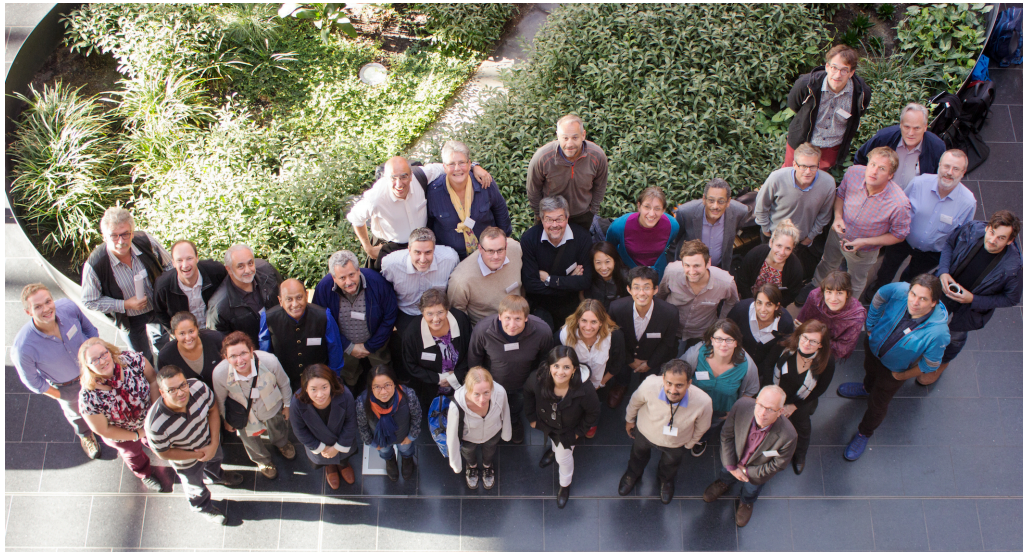
(e.g., healthy diet for all)





# Workshop on the Way Forward for Scenario Development for IPBES

German Center for Integrative Biodiversity Research (iDiv)



## There is a collective plan for “IPBES scenarios & models” development

- Short-term plan (now to end 2017) for new scenarios & modeling relies primarily on the SSPs and selected additions to the SSPs.
- Medium-term plan (now to 2022) includes:
  - Development of new “Nature scenarios” at multiple scales designed with nature and nature’s benefits to people as a principal focus
  - Further development of SSPs to account for biodiversity targets & policies

# COUPLAGE AROPAJ-STICS : METHODE GENERALE

## DONNÉES D'ENTRÉE AROPAJ : (RICA 2009)

- Rendements cultures et élevages
- Coûts et prix



## AROPAJ – MODÈLE D'OFFRE AGRICOLE

Unité spatiale pour les calculs : groupe-type (ferme virtuelle)  
Objectif : maximiser la marge-brute pour chaque groupe-type  
Nouveau bloc ajouté pour l'irrigation



## DONNÉES DE SORTIE AROPAJ :

- Assolement
- Demandes en intrants (eau + engrais)
- Pertes en nitrates
- Marges brutes
- Rendements cultures / productions élevages

## DONNÉES D'ENTRÉE STICS :

- Climats actuel (2009)
- Sol (BDD géographique des sols)
- Pratiques agricoles



## STICS – MODÈLE DE CULTURE

Pour calibration de l'année 2009 : 2400 simulations  
Nombre de cultures simulées : 8



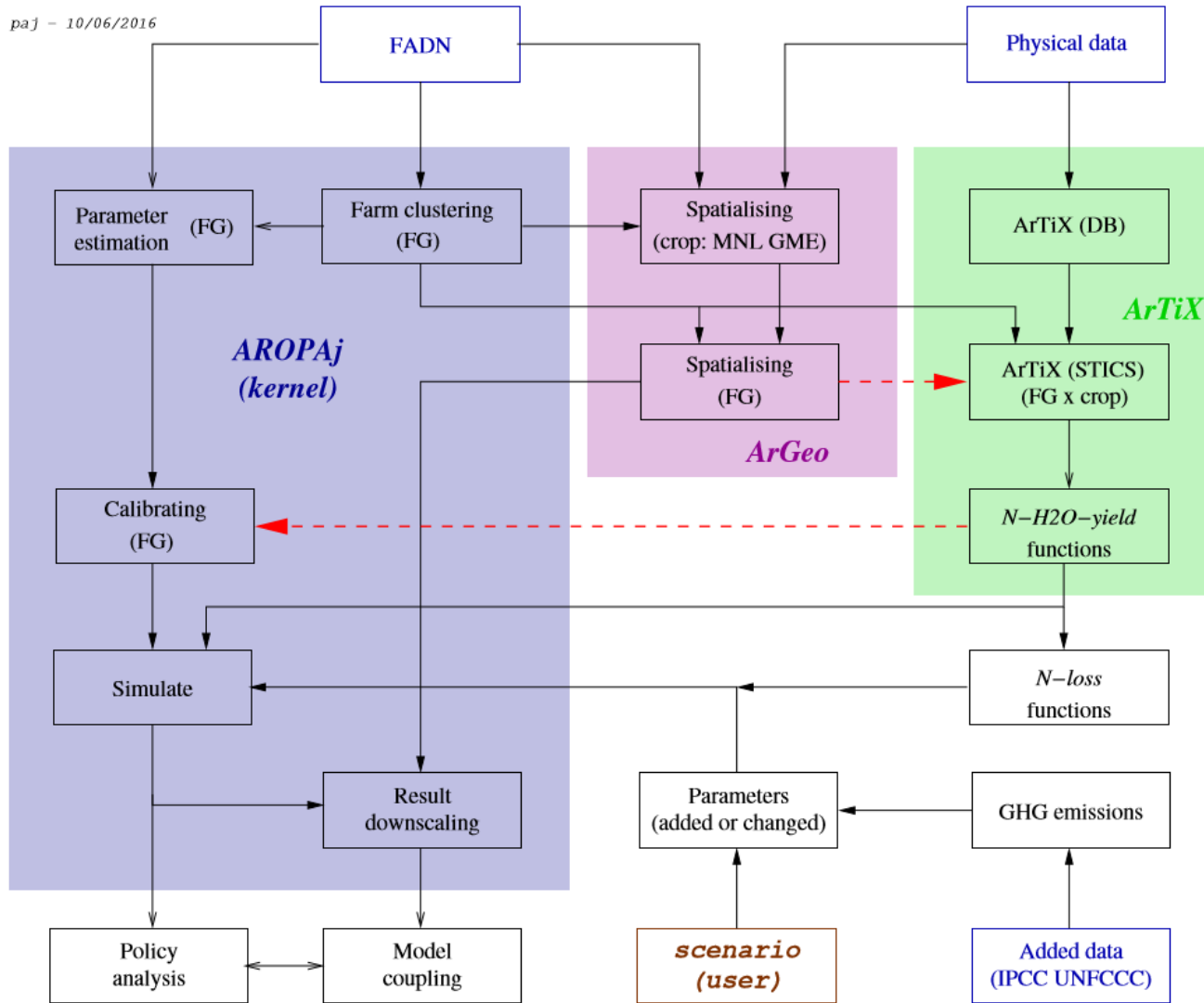
## DONNÉES DE SORTIE STICS :

- Fonctions doses-réponses (inputs vs rendements)



Schéma méthode générale couplage AROPAJ/STICS  
(d'après Jayet et al. 2015)

# COUPLAGE AROPAj-STICS : METHODE GENERALE



# DEFINITION D'UN GROUPE TYPE : UNITE DE CALCUL D'AROPAJ

---

Pour des raisons techniques et propres à la confidentialité des données RICA, un regroupement des exploitations agricoles est nécessaire en unité appelée « groupe type »

## Instauration d'une typologie selon 4 critères :

**1** TYPE D'EXPLOITATION  
(OTEX RICA)

**2** PART SURFACES IRRIGUEES  
(en % de la surface totale)

**3** TAILLE ECONOMIQUE  
(variable discrète de 1 à 9)

**4** ALTITUDE  
(variable discrète de 1 à 3)

# DESAGREGATION DES SORTIES D'AROPAJ A UNE ECHELLE FINE

---

**PB**

En raison des règles de confidentialité du RICA, l'accès à une localisation précise des groupes types (GT) au sein d'une région est impossible  
**OR, information indispensable à la spatialisation des résultats**

**OBJ**

A partir des caractéristiques des GT

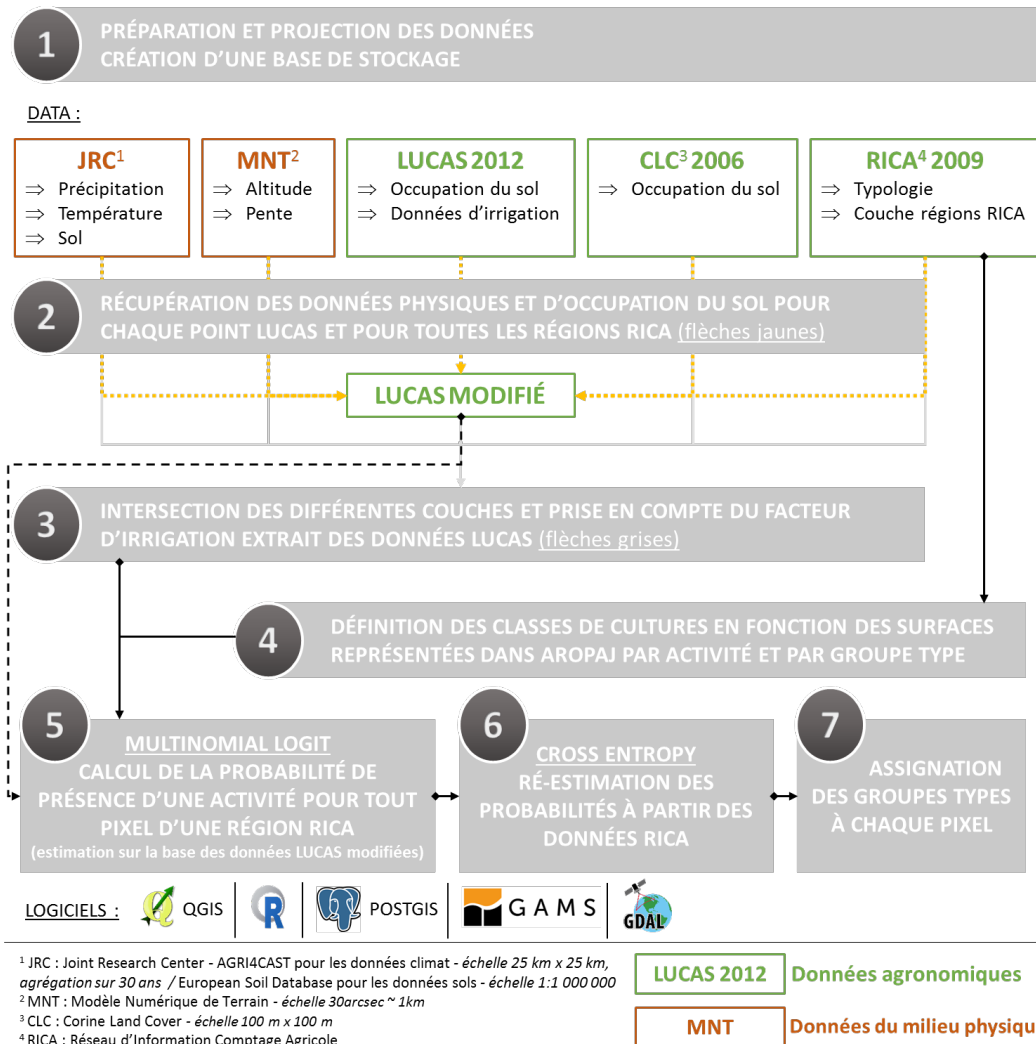
⇒ **Obtention d'une localisation probabiliste**

⇒ **Estimation de la contribution de chaque GT à l'activité agricole à l'échelle du pixel**

*(Lungarska et al. 2016, Cantelaube et al. 2012, Chakir et al. 2009)*

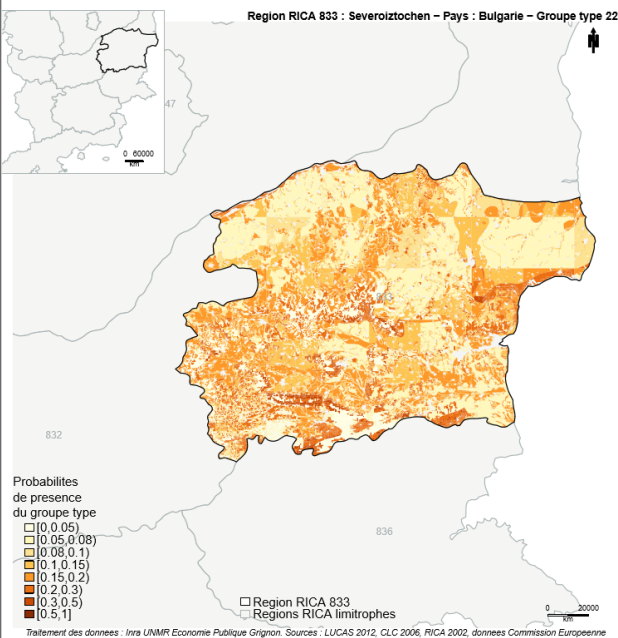
# DESAGREGATION DES SORTIES D'AROPAJ A UNE ECHELLE FINE

## METHODE DE CALCUL DES PROBABILITES DE PRESENCE DES GT

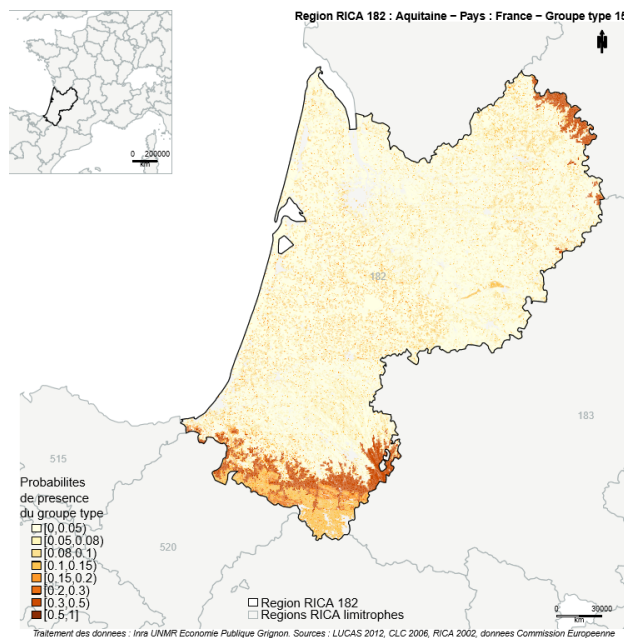


# DESAGREGATION DES SORTIES D'AROPAJ A UNE ECHELLE FINE

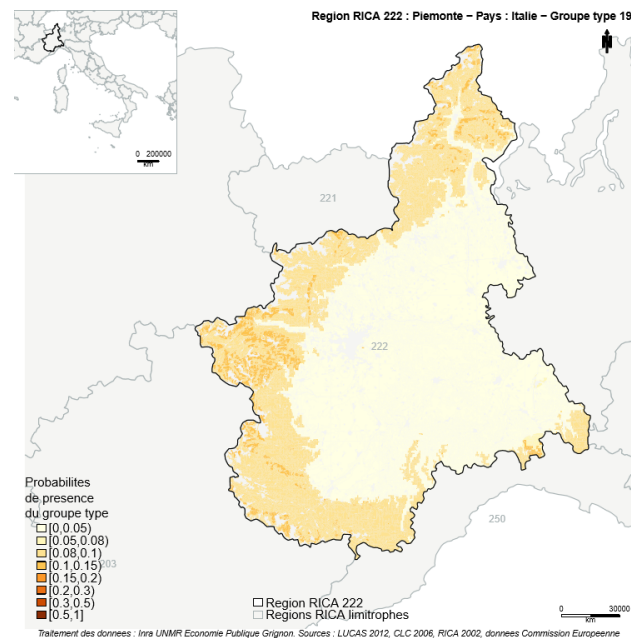
## EXEMPLE ILLUSTRATIF : CARTES DE LOCALISATION PROBABILISTE DES GT



*Région RICA 833 : Severoiztochen  
Pays : Bulgarie  
Groupe type 22*



*Région RICA 182 : Aquitaine  
Pays : France  
Groupe type 15*

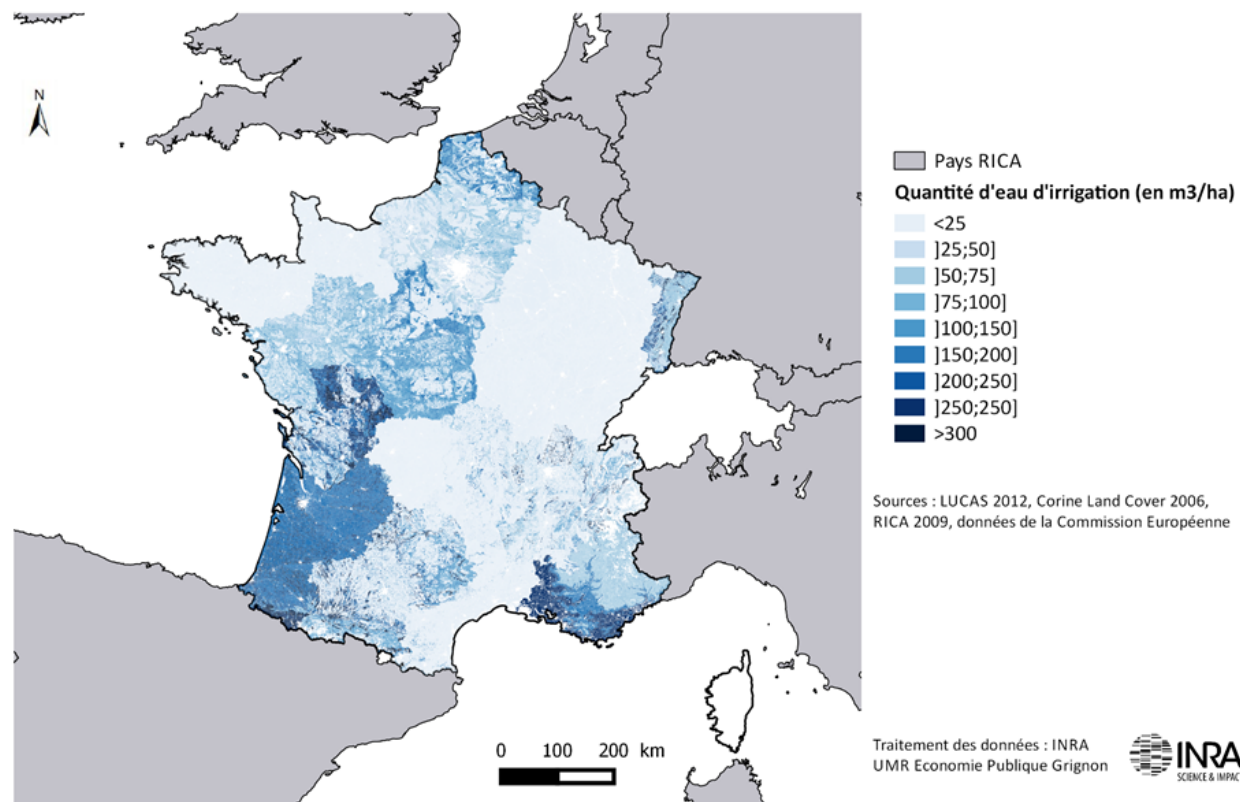


*Région RICA 222 : Piemonte  
Pays : Italie  
Groupe type 19*

# EXEMPLE ILLUSTRATIF : FOCUS « DEMANDE D'IRRIGATION »

Les différents résultats du modèle d'offre sont pondérés par les probabilités obtenues lors de l'étape précédente.

DEMANDE EN EAU POUR L'ANNEE 2009

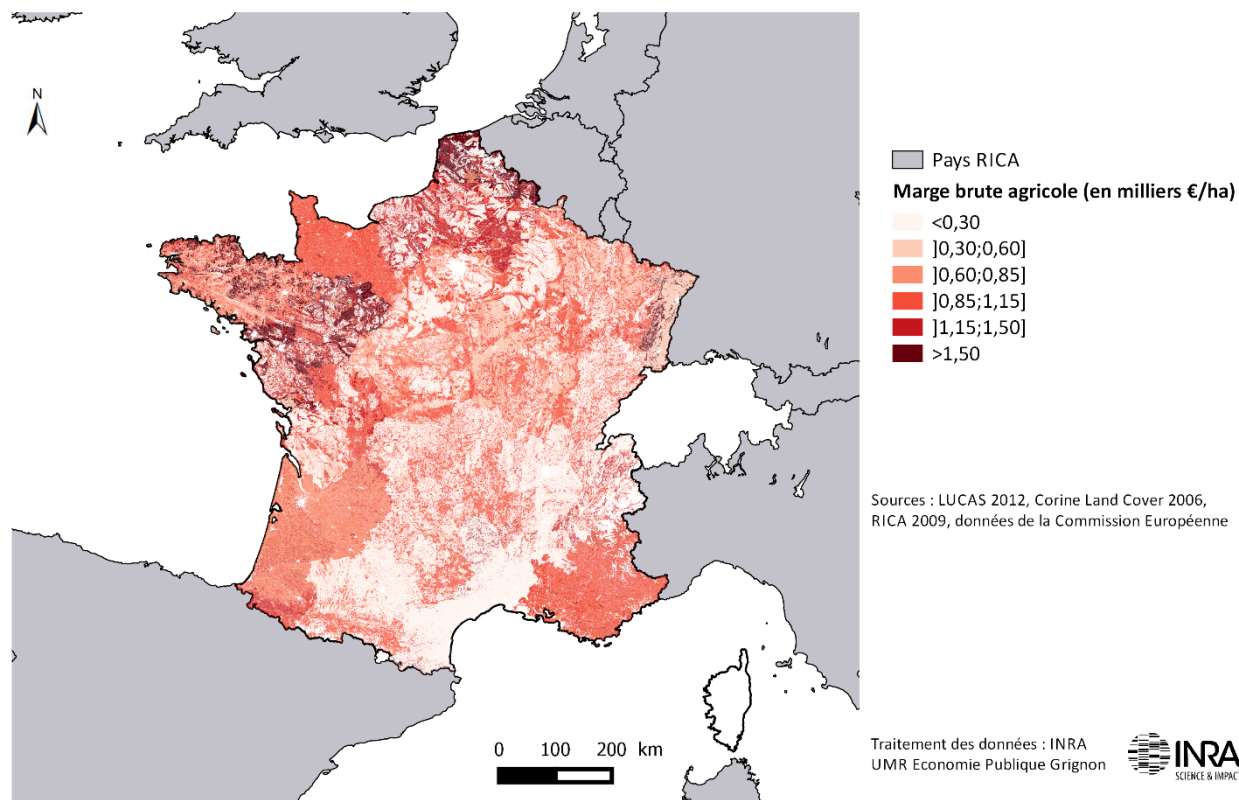




# EXEMPLE ILLUSTRATIF : FOCUS « MARGE BRUTE AGRICOLE »

Les différents résultats du modèle d'offre sont pondérés par les probabilités obtenues lors de l'étape précédente.

MARGE BRUTE AGRICOLE POUR L'ANNEE 2009



# ANNEXE : INTEGRATION « EAU » - FONCTION DOSE-REPONSE

Equation de la fonction de Mitscherlich-Baule :

Rendement potentiel

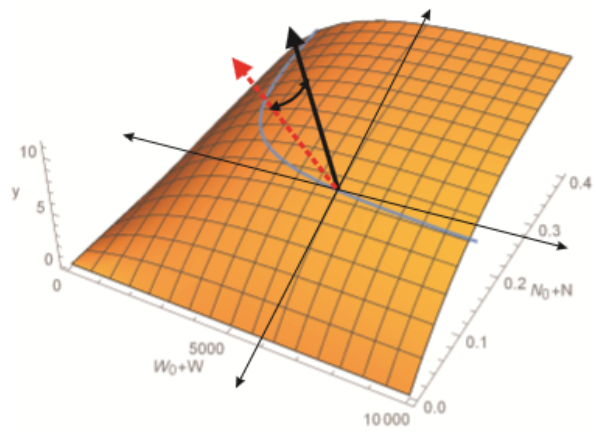
Rôle de l'intrant « eau »

Rôle de l'intrant « azote »

Plusieurs millions de simulations STICS

$W$  : eau ajoutée ( $m^3$ )       $W_0$  : eau initiale / précipitation ( $m^3$ )       $\sigma$  : efficacité ( $m^{-3}$ )  
 $N$  : azote ajouté (T)       $N_0$  : azote initial / sol (T)       $\tau$  : efficacité ( $T^{-1}$ )  
 $Y$  : rendement (T)       $Y_{max}$  : potentiel agronomique (T)       $Y, Y_{max}, W, N$  : quantités par ha

$$y(W,N) = (1 - e^{-\sigma(W_0+W)}) (1 - e^{-\tau(N_0+N)}) \phi$$



## Estimation des paramètres à partir d'une régression sur résultats issus de STICS

Réponse du rendement aux intrants eau et azote :

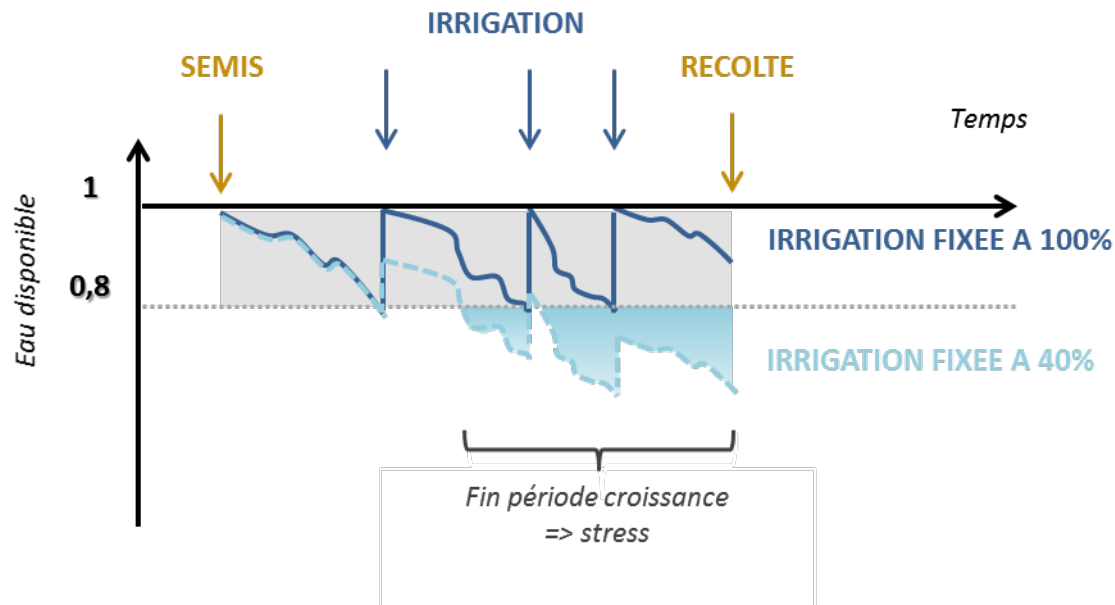
représentation graphique du vecteur de prix et du vecteur «gradient» perpendiculaire au plan tangent à la surface de production, pour un niveau de rendement observé

Courbe rouge : isoquante  
 1 point sur la figure = 1 simulation STICS

(d'après Pierre Humblot 2016)

# ANNEXE : INTEGRATION « EAU » - FOCUS STICS

## OBTENTION DES RENDEMENTS POUR DIFFERENTES APPLICATIONS D'EAU D'IRRIGATION



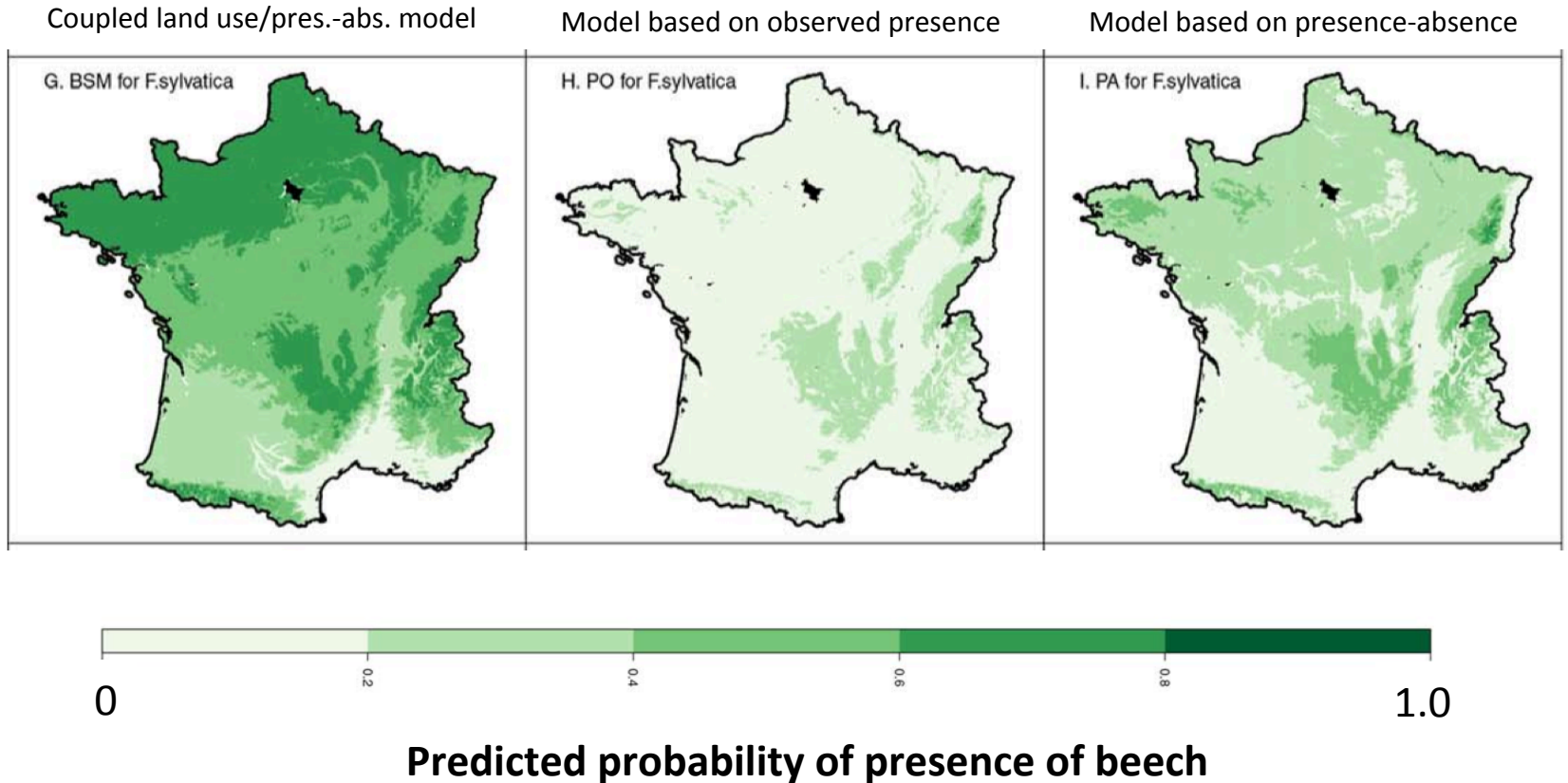
Méthodologie utilisée pour simuler l'impact des différents montants totaux d'irrigation sur les rendements  
(d'après Pierre Humblot, 2016)

### METHODOLOGIE:

- 1<sup>ère</sup> simulation : quantités d'eau et dates d'applications fixées par STICS
- Autres simulations : mêmes dates mais quantité décroissante d'eau d'irrigation

# Linking economics, land use and tree distribution models

Ay et al. (2017). "The economics of land use reveals a selection bias in tree species distribution models." *Global Ecology and Biogeography* 26:65-77

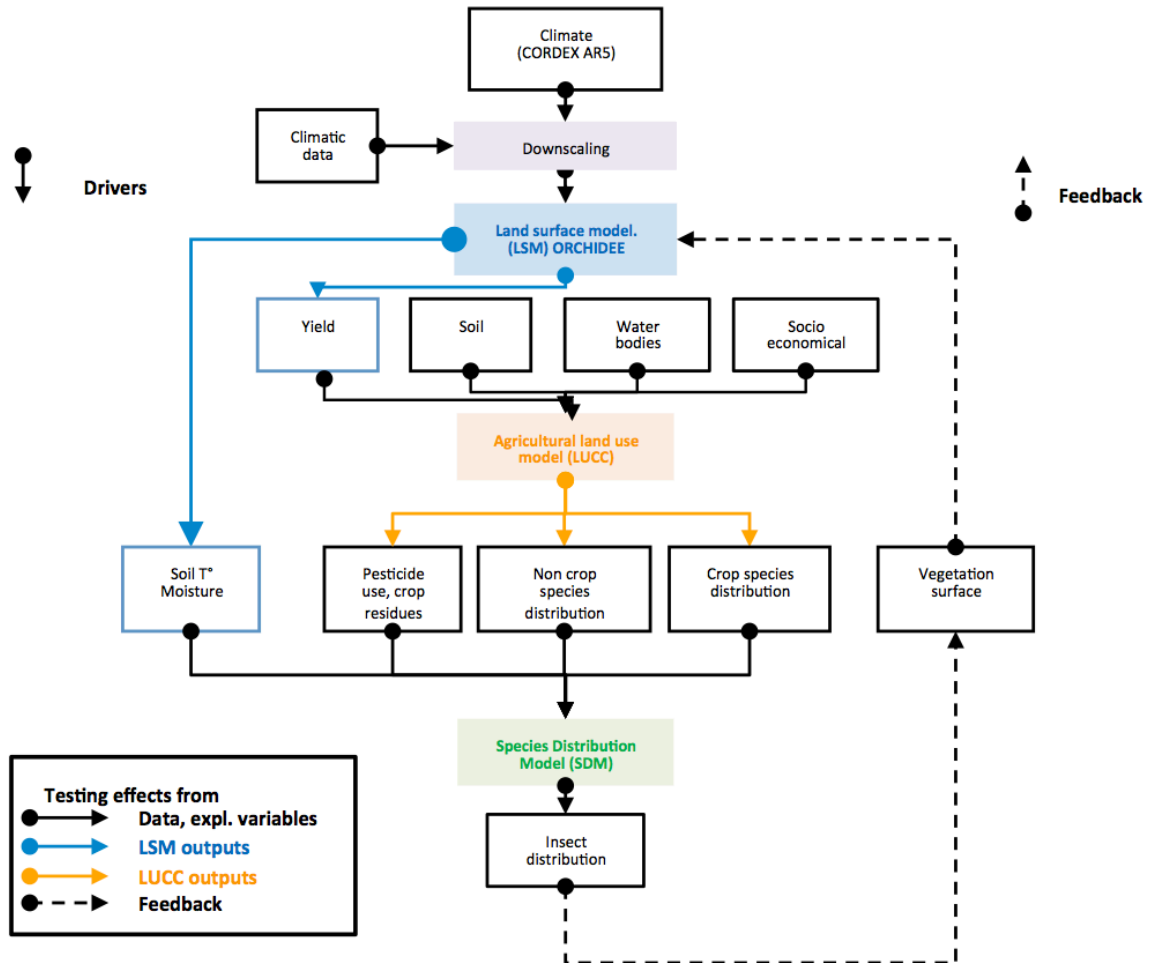


# Novel methods for modeling of complex socio-ecological systems

- Hierarchical approaches to modeling insect species distributions in complex landscapes:

InSPRED /  
Flagship Project 2 /  
Idex thesis stipend

S. Dupas et al.



**Figure 1 : Model diagram**

The model will have three hierarchical modules: (i) a land vegetation model (LVM), (ii) a land use model (LUCC) using LVM outputs and other GIS data as independent variables, (iii) a niche model (SDM) using LUCC and LVM outputs and other GIS data as independent variable

# BASC – On-line catalog of scenario and modeling tools



## Présentation

## Recherche

Axes de recherche

Projets phares Phase 2013-2016

Projets phares Phase 2016-2019

Innovation en partenariat

Projets émergents

Réseaux

Thèses

## Modèles

- > AROPAJ
- > AZODYN
- > BILHYNA
- > CASTANEA
- > CauxOpération
- > CERES-EGC
- > CHIMERE
- > CONTINUUM Sol-plante-atmosphère
- > DEXIPM
- > Empreinte biodiversité produit
- > FIDES
- > GENESYS
- > MAPOD
- > MASC
- > MODDAS/SMOP
- > Modèles dynamiques d'agroécosystèmes
- > MORCE
- > NewDistrict
- > NitroScape
- > ORCHIDEE
- > PERSYST
- > Phenology



[Accueil BASC](#) • [Recherche](#) • [Modèles](#)

## Modèles

Différents modèles numériques sont développés ou utilisés par les équipes de BASC.

Vous en trouverez ci-dessous une liste non exhaustive et pourrez accéder à plus d'informations en cliquant sur le nom du modèle.

Actualités et événements

Appels d'offres


Offres d'emplois, thèses et stages

Services

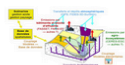
Dynamique et fonctionnement de la végétation et des surfaces continentales	Dynamique des populations et des communautés	Modèles intégrés	Chimie - pollution de l'eau et de l'atmosphère	Aide à la décision : risques naturels / écologie / économie
<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; AZODYN</li> <li>&gt; BILHYNA</li> <li>&gt; CASTANEA</li> <li>&gt; CERES-EGC</li> <li>&gt; CONTINUUM Sol-plante-atmosphère</li> <li>&gt; ORCHIDEE</li> <li>&gt; RGLD (Rapeseed GreenLab Discrete)</li> <li>&gt; SEPTO3D</li> <li>&gt; STICS</li> <li>&gt; Série de modèles dynamiques d'agroécosystèmes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; GENESYS</li> <li>&gt; MAPOD</li> <li>&gt; Phenology</li> <li>&gt; SDM-CONNECTIVITY</li> <li>&gt; SIPPOM-WOSR</li> <li>&gt; TyPol</li> <li>&gt; WORMDYN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; MORCE</li> <li>&gt; NitroScape</li> <li>&gt; WRF</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; CHIMERE</li> <li>&gt; FIDES</li> <li>&gt; MODDAS/SMOP</li> <li>&gt; SurfAtm</li> <li>&gt; VoltAir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; AROPAJ</li> <li>&gt; Caux'Operation</li> <li>&gt; DEXIPM</li> <li>&gt; Empreinte biodiversité produit</li> <li>&gt; MASC</li> <li>&gt; NewDistrict</li> <li>&gt; PERSYST</li> <li>&gt; Ruis'Eau</li> <li>&gt; STREAM</li> </ul>

# BASC – On-line catalog of scenario and modeling tools



 [Accueil BASC](#) • [Recherche](#) • [Modèles](#) • [NitroScape](#)

## NitroScape



*Cliquer  
sur  
l'image  
pour  
agrandir*

NitroScape est un modèle intégré ayant pour objectif de simuler les transferts, transformations, pertes et bilans d'azote réactif ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) à l'échelle du paysage (territoire de quelques  $\text{km}^2$  à dizaines de  $\text{km}^2$ ). Il couple des modèles décrivant les processus de transferts et transformations d'azote dans quatre compartiments du paysage : exploitations agricoles, agro-écosystèmes, atmosphère et hydrosphère. NitroScape est couplé à une base de données spatialisée. Il vise à être utilisé en recherche et en partenariat avec le développement agricole pour évaluer l'impact de scénarios agro-environnementaux et proposer des stratégies d'atténuation des émissions d'azote réactif et de gaz à effet de serre et/ou d'adaptation des systèmes de production.

**Mots clés :** *cascade de l'azote, flux d'azote réactif, paysage, modèle couplé*

[Téléchargez la fiche synthétique du modèle NitroScape](#)

# BASC – On-line catalog of scenario and modeling tools

## Modèle NitroScape Fiche de présentation

### NitroScape en quelques mots

NitroScape est un modèle intégré ayant pour objectif de simuler les transferts, transformations, pertes et bilans d'azote réactif ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) à l'échelle du paysage (territoire de quelques  $\text{km}^2$  à dizaines de  $\text{km}^2$ ). Il couple des modèles décrivant les processus de transferts et transformations d'azote dans quatre compartiments du paysage : exploitations agricoles, agro-écosystèmes, atmosphère et hydrosphère. NitroScape est couplé à une base de données spatialisée. Il vise à être utilisé en recherche et en partenariat avec le développement agricole pour évaluer l'impact de scénarios agro-environnementaux et proposer des stratégies d'atténuation des émissions d'azote réactif et de gaz à effet de serre et/ou d'adaptation des systèmes de production.

**Mots clés :** cascade de l'azote, flux d'azote réactif, paysage, modèle couplé

**Laboratoires de développement :** Le développement du modèle NitroScape est coordonné par l'UMR EGC (UMR 1091, Environnement et Grandes Cultures, INRA/AgroParisTech). NitroScape est développé en collaboration avec les partenaires des projets NitroEurope (FP6, 2006-2011, [www.nitroeuropa.eu](http://www.nitroeuropa.eu)), ECLAIRE (FP7, 2011-2015, [www.eclairer-fp7.eu](http://www.eclairer-fp7.eu)) et ESCAPADE (ANR Agrobiosphère, 2013-2017, [www.n-escapade.fr](http://www.n-escapade.fr)) impliqués dans la modélisation des flux d'azote aux échelles locales et de la parcelle, de l'exploitation agricole et du paysage (EGC, SAS, Rennes ; AU, Danemark ; RIVM/ECN, Pays-Bas ; UPM, Espagne).

**Contacts :** Jean-Louis Drouet (Jean-Louis.Drouet@grignon.inra.fr)

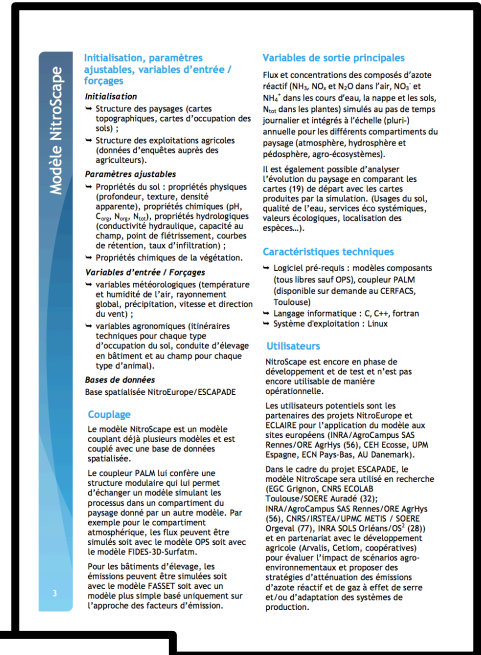
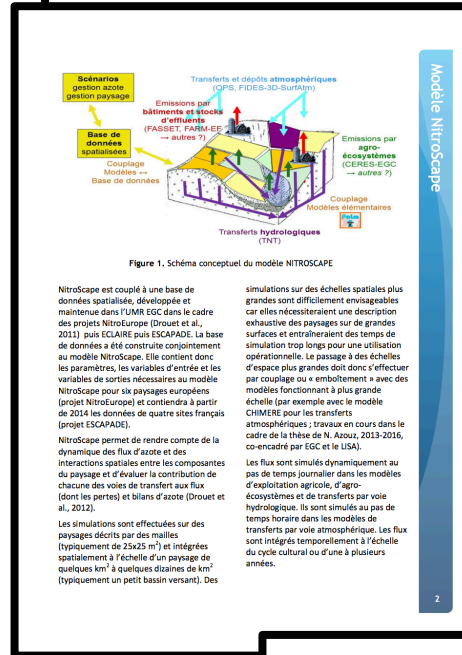
### Description détaillée

Le modèle NitroScape (Figure 1, Duret et al., 2011) couple différents modèles décrivant les processus de transferts et de transformations d'azote réactif ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) dans quatre grands compartiments des paysages (territoires de quelques  $\text{km}^2$  à dizaines de  $\text{km}^2$ ) dont les structures et hétérogénéités spatiales sont explicitement décrites :

- gestion de l'azote au sein des exploitations agricoles, notamment pour les activités d'élevage par le modèle FASSET développé à l'Université d'Aarhus, Danemark (Bernsten et al., 2003),
- transformations et transferts d'azote par voie bio-physico-chimique dans les agro-écosystèmes par le modèle CERES-EGC développé dans l'UMR EGC (Gabrielle et al., 2006),

- transferts d'azote entre agro-écosystèmes par voie atmosphérique soit par le modèle OPS développé à l'Institut national de la santé publique et de l'environnement, RIVM, Pays-Bas (van Jaarsveld et al., 2004), soit par le modèle couplé FIDES-3D-Surfatm développé dans l'UMR EGC (Loubet et al., 2001 ; Personne et al., 2009),
- transferts d'azote entre agro-écosystèmes par voie hydrologique par le modèle TNT développé dans l'UMR INRA/Agrocampus SAS à Rennes (Beaujouan et al., 2002).

Le couplage des modèles dans NitroScape a été réalisé à l'aide du coupleur PALM (Centre européen de recherche et de formation avancée en calcul scientifique, CERFACS, Toulouse ; Buis et al., 2006).



### Publications - Références

- Sur le modèle NitroScape et la base de données spatialisée associée**
- Duret S., Drouet J.L., Durand P., Hutchings N.J., Theobald M.R., Salmon-Monville J., Dragons U., Maury O., Sutton M.A., Cellier P., 2011. NitroScape: a model to integrate nitrogen transfers and transformations in rural landscapes. Environmental Pollution, 159, 3162-3170.
- Duret J.L., Maury O., Delgado T., Dragons U., Theobald M.R., Durand P., Sutton M.A., Cellier P., 2011. An integrated database for European agricultural landscapes. Proceedings of the Conference "Nitrogen and Global Change. Key findings, future challenges", 11-14/04/2011, Edinburgh, UK.
- Drouet J.L., Duret S., Durand P., Cellier P., 2012. Modelling the contribution of short-range atmospheric and hydrological transfers to nitrogen fluxes, budgets and indirect emissions in rural landscapes. Biogeochemistry, 9, 1647-1660.
- Drouet J.L., Cellier P., 2013. NitroScape: modéliser la cascade de l'azote à l'échelle du paysage agricole. Dossier - Modélisation - de l'Internet INRA.
- Sur les modèles couplés intégrés au modèle NitroScape**
- Beaujouan V., Durand P., Ruiz L., Auroseau P., Cottéret G., 2002. A hydrological model dedicated to topography-based simulation of nitrogen transfer and transformation: rationale and application to the geomorphology-diffusion relationship. Hydrological Processes, 16, 493-507, 2002.
- Bernsten J., Petersen B.A., Jacobsen B.H., Green J.E., Hutchings N.J., 2003. Evaluating nitrogen taxation scenarios using the dynamic whole farm simulation model FASSET. Agricultural Systems, 76, 817-839.
- Buis S., Piacentini A., Decle D., 2006. PALM: a computational framework for assembling high-performance computing applications. Concurrency and Computation-Practice and Experience, 18, 231-245.
- Gabrielle B., Laville P., Duval D., Nicoullaud B., Geron J.C., and Hénaux C., 2006. Process-based modeling of nitrous oxide emissions from wheat-cropped soils at the subregional scale. Global Biogeochemical Cycles, 20, G04016.
- Loubet B., Miffort C., Sutton M.A., Cellier P., 2001. Investigation of the interaction between surface and soil atmospheric transfers to nitrogen fluxes, budgets and indirect emissions using a simplified dispersion-exchange model. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 106, 24163-24169.
- Personne E., Loubet B., Herrmann B., Mattsson M., Schjoerring J.K., Nemitz E., Sutton M.A., Cellier P., 2009. SURFATM-NH3: a model combining the surface energy balance and bidirectional exchanges of ammonia applied at the field scale. Biogeochemistry, 8, 1373-1388.
- van Jaarsveld J.A., 2004. The Operational Priority Substances model. Description and validation of OPS Part 4.1. RIVM report 2004/0021. RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

### Modèle NitroScape



## Summary

- A wide range of BASC activities have greatly increased the knowledge of models and model coupling in a wide variety of disciplines for researchers in BASC and the IPSL. However, progress in developing coupled models of socio-ecological systems has been slower than hoped.
- **At landscape scales**, several BASC teams are developing and using coupled models of socio-ecological systems, some of this is with funding support from BASC e.g., (InSpred although not FP5), or outside of BASC funded projects (e.g., NitroScape).
- **At continental scales**, activities in BASC's first phase have made substantial contributions to coupled Earth System modeling efforts within BASC (e.g., STIMUL, AROPAj-STICS), and in collaboration between BASC and IPSL, in particular in CLAND. Considerable work remains, however, to make these projects operational.
- **At regional scales**, efforts to create a regional earth system model have not. Serious consideration should be given to how to move this forward, given the importance of models at this scale for questions addressed in BASC at the “territorial” level.
- Interactions with international programs have helped raise the profile of work done by BASC laboratories and reinforced international co-operation.