



## Un framework logiciel pour la modélisation spatio-temporelle des paysages: Exemple de la plateforme OpenFLUID

JC. Fabre, M. Rabotin, D. Crevoisier, et al.

*LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol-Agrosystème-Hydrosystème*



This document is licensed  
under Creative Commons license

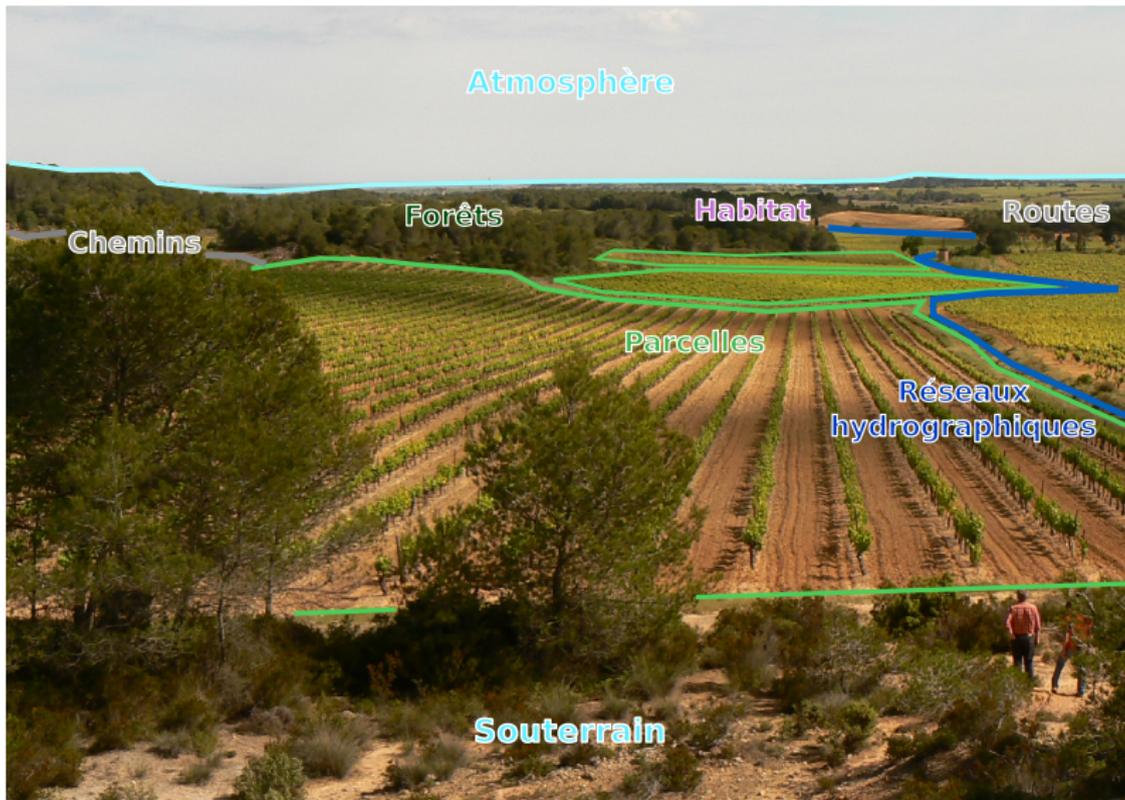
# Plan

- 1 Panorama
- 2 Concepts & Framework OpenFLUID
- 3 Exemples d'applications

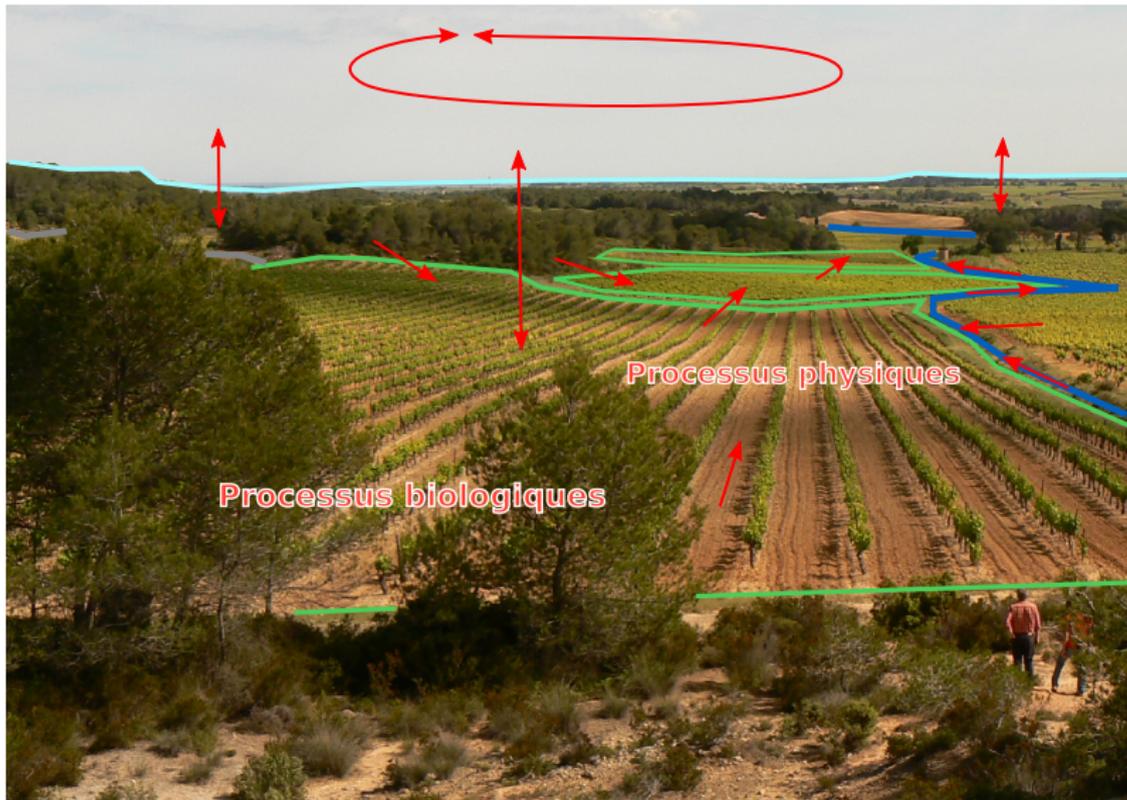
# Panorama



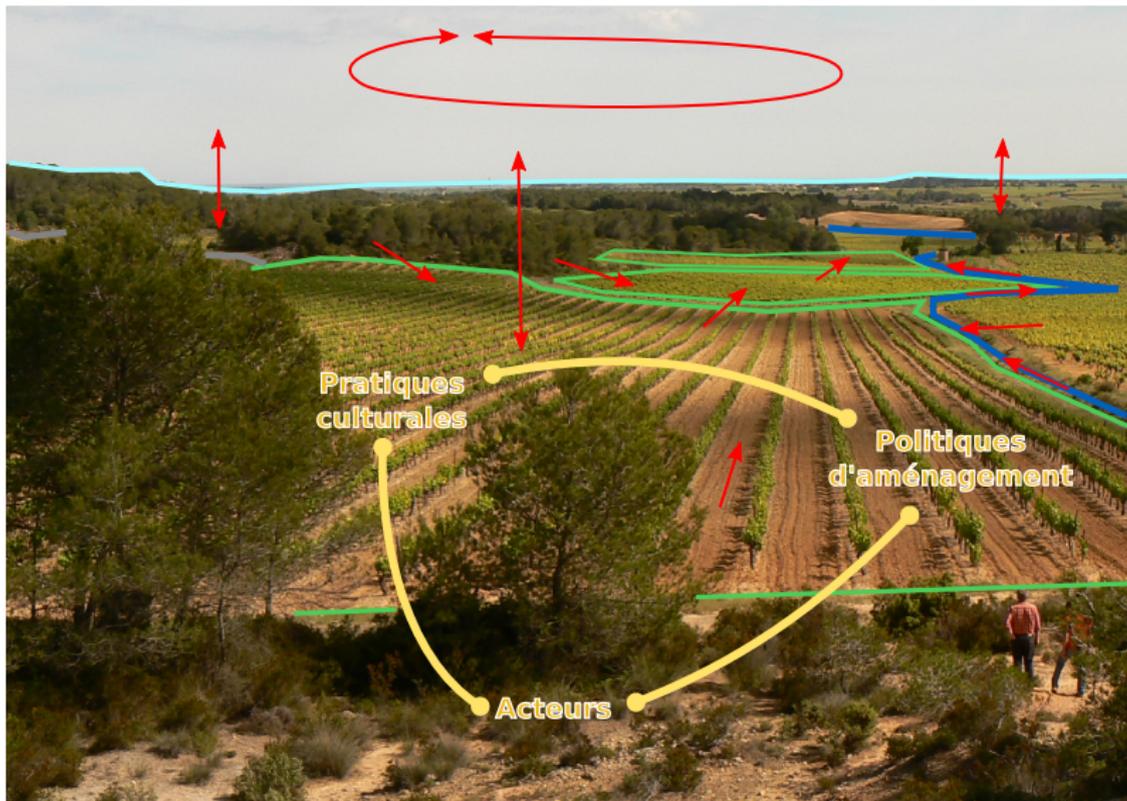
# Le paysage



# Le paysage



# Le paysage



# Etude du paysage

Le paysage est un **système complexe** (agrosystème, agroécosystème), où de nombreux phénomènes **interagissent fortement dans le temps et l'espace**

Cadre d'étude et d'évaluation de nombreux **services écosystémiques** (MEA, 2006)

Etude de l'organisation et du fonctionnement du paysage  
⇒ modélisation de la **structure** et de la **dynamique** du système

Selon les objectifs:

- choix des échelles,
- détermination des éléments pertinents dans le paysage, et relations entre ces éléments,
- identification des processus majeurs à prendre en compte,
- ...

# Modélisation du fonctionnement du paysage

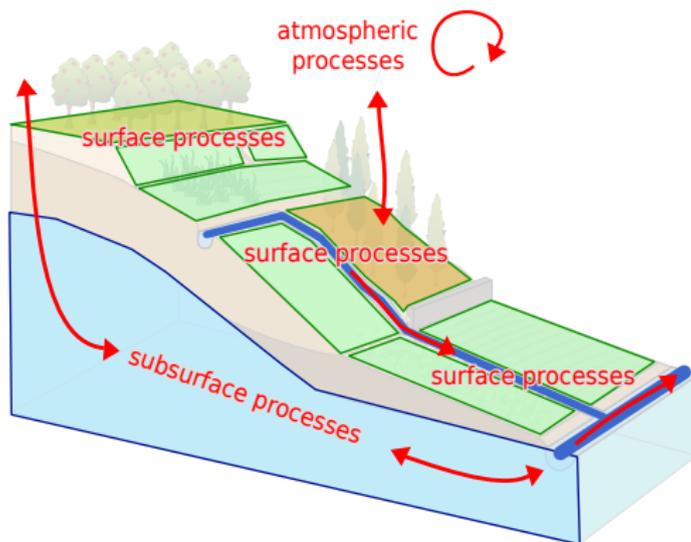
## Représentation numérique du paysage

représenter les structures, leurs  
propriétés, leurs relations/connexions

+

## Modélisation des processus spatiaux/locaux en interactions

coupler les processus pour une  
modélisation intégrée



# Représentation numérique du paysage

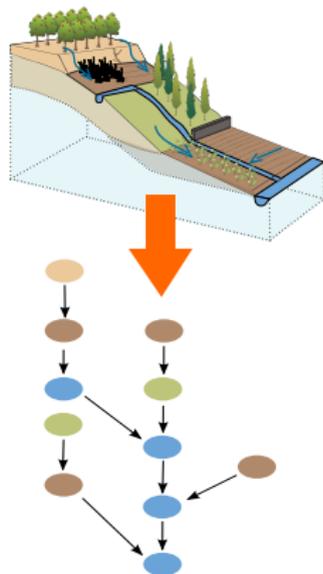
Une approche générique par graphe?

Abstraction sous la forme d'un **graphe**  
d'**unités spatiales connectées**

- représenter les **éléments du paysage** (parcelles, fossés, routes, nappes, ...)
- intégrer les **propriétés réelles** de ces éléments
- représenter les **relations** entre ces éléments

Ce graphe d'espace peut être construit à partir

- du croisement de couches d'information spatiales (géométrie, relief, propriétés pertinentes, ...)
- des contraintes liées aux modèles qui vont être appliqués.



# Concepts & Framework OpenFLUID

# What is OpenFLUID?

Plateforme logicielle pour la modélisation et la simulation du **fonctionnement spatio-temporel des paysages**, principalement focalisée sur les flux

- Intégration de représentations numériques de l'espace
- Branchement de modèles, couplage automatique

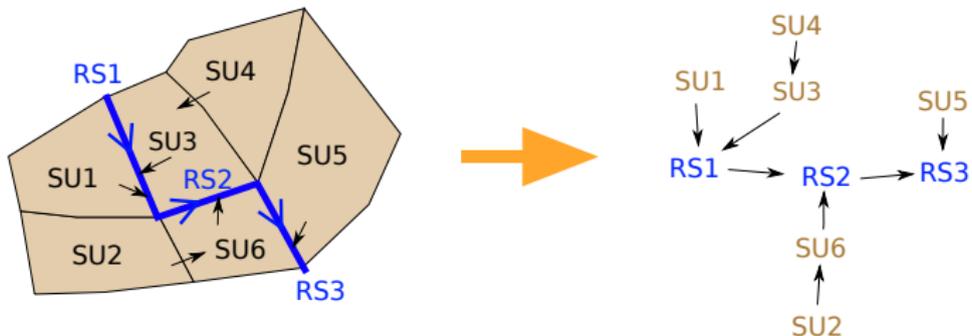
Construction de modèles couplés **en fonction des objectifs de modélisation**, à partir de modèles disponibles

**Socle collaboratif** pour le développement, capitalisation, réutilisation de modèles dans des groupes de travail

# Représentation de l'espace sous OpenFLUID

L'espace est représenté par OpenFLUID sous la forme d'un **graphe orienté**

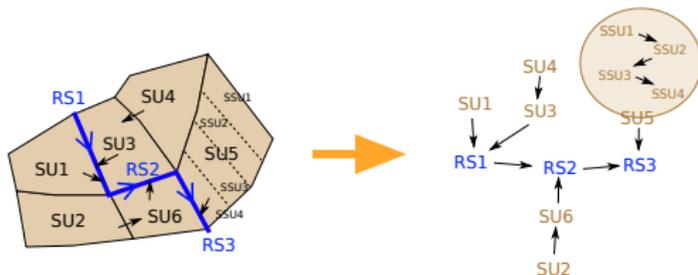
- Les noeuds sont les **unités spatiales** composant l'espace, rangés par **classes d'unités spatiales**
- Les arcs orientés sont les **relations** entre les unités spatiales
- Chaque noeud porte des **attributs propres** à l'unité spatiale qu'il représente



Nombreux **algorithmes** disponibles sur les graphes  
(calculs de connexité, parcours, parallélisation, ...)

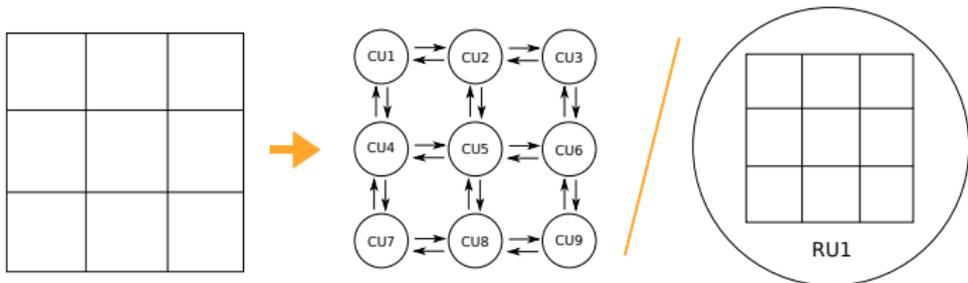
# Représentation de l'espace sous OpenFLUID

Un noeud peut contenir un graphe pour des approches **multi-échelles**



Pour une modélisation orientée **raster**, différentes approches sont possibles:

- 1 unité spatiale par cellule du raster
- 1 unité spatiale portant une **matrice correspondant au raster**



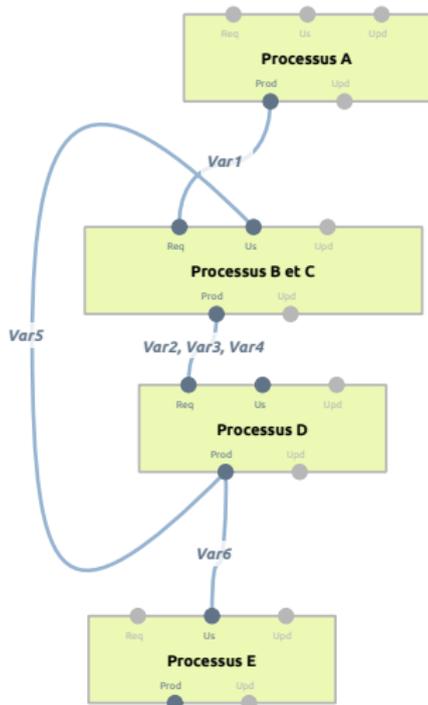
# Représentation de la dynamique sous OpenFLUID

La dynamique est représentée par des **simulateurs** (modèles sous forme de plugins)

- **échanges de variables** dans l'**espace** et dans le **temps** sur le graphe d'unités spatiales
- chaque simulateur peut avoir son propre pas de temps

**Couplage automatique** des simulateurs en fonction de leurs **signatures**

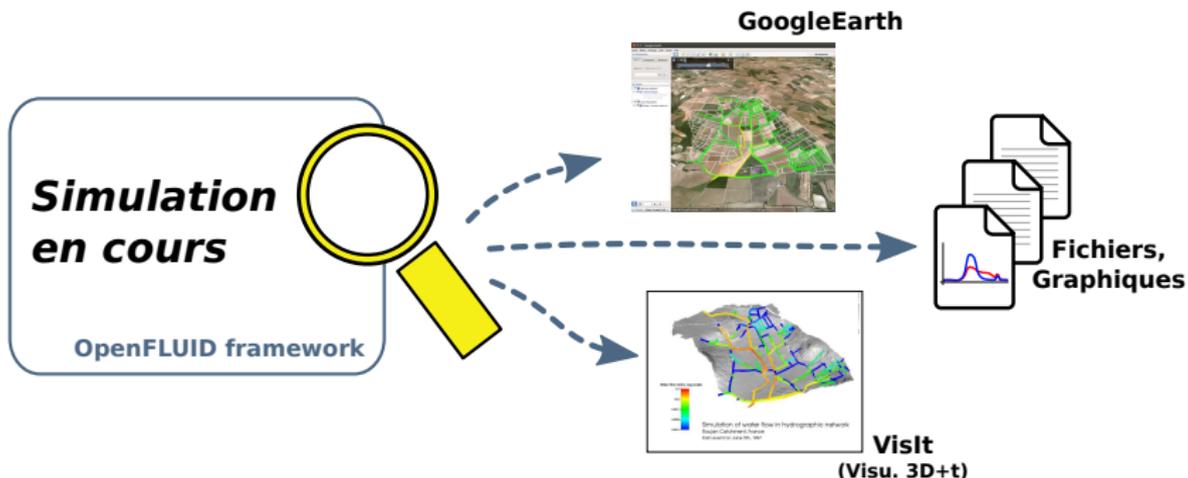
Possibilité de **parallélisation automatique des calculs**, basée sur la structure du graphe d'espace



# Observation des simulations OpenFLUID

Les données de simulation peuvent être observées tout au long des simulations via des **observateurs** (plugins)

- export de données, contrôles, ...
- une simulation peut comporter de 0 à n observateurs qui composent le **monitoring** de simulation





# Utilisation avec les applications standard OpenFLUID

Utilisation en **ligne de commande**  
(console, cluster de calcul,  
scripting, ...)

```
Fabrejc@lisah-crampling: ~
* Building spatial domain... [OK]
* Building model... [OK]
* Building monitoring... [OK]
* Initializing parameters... [OK]
* Preparing data... [OK]
* Checking consistency... [OK]

Spatial domain, 13 units :
- unitsA, 8 units
- unitsB, 5 units

Simulation from 2001-01-01 00:03:00 to 2001-01-15 00:01:02
Default Delta is 3597 seconds

Size of buffers for variables is set to 22 (using dataset run configuration)

**** Running simulation ****

Initialize... [OK]

Progress      Real time      Status
-----
0.29%         2001-01-01 01:02:57 [OK]
0.58%         2001-01-01 02:02:54 [OK]
0.87%         2001-01-01 03:02:51 [OK]
1.16%         2001-01-01 04:02:48 [OK]
1.45%         2001-01-01 05:02:45 [OK]
1.74%         2001-01-01 06:02:42 [OK]
2.03%         2001-01-01 07:02:39 [OK]
```

Utilisation en **interface graphique**  
(OpenFLUID-Builder)

- **Extensible** par ajout de plugins  
Builder-extensions: visualisation,  
paramétrage, import de données,  
...

The screenshot shows the OpenFLUID-Builder interface. On the left, a sidebar displays project details for 'TP\_M2\_MHVIDAS'. The main window shows a 3D visualization of a terrain model with a green surface and a blue river network. Below the visualization, there is a table of attributes for the terrain units.

ATTRIBUTES (Units)	Mc	Ks	area	Setback	FlowDist	runnning	slope	Shaded	Shaded	Shaded
227-01	2.88-05	1.49E-01	1.3	20	0.05	0.2333	0.3	0.2	0.00	
228-01	3.78-06	3024.90	1.5	75	0.05	0.016	0.3	0.2	0.00	
229-01	9.12-06	7233.93	1.5	113.9	0.05	0.02197	0.3	0.2	0.00	
230-01	1.90-06	4064.71	1.5	40	0.05	0.020	0.3	0.2	0.00	
231-01	2.49-06	1657.4	1.5	16	0.05	0.01221	0.3	0.2	0.00	
232-01	1.83-06	4697.22	1.3	13.408	0.05	0.1904	0.3	0.2	0.00	
233-01	1.87-05	6833.1	1.3	6.7	0.05	0.23891	0.3	0.2	0.00	

## Utilisation en environnement externe

Package **ROpenFLUID**: utilisation d'OpenFLUID depuis l'environnement GNU R

- Paramétrage, exécution de simulations, exploitation des résultats

⇒ Profiter des fonctionnalités d'**exploration de simulations** sous R

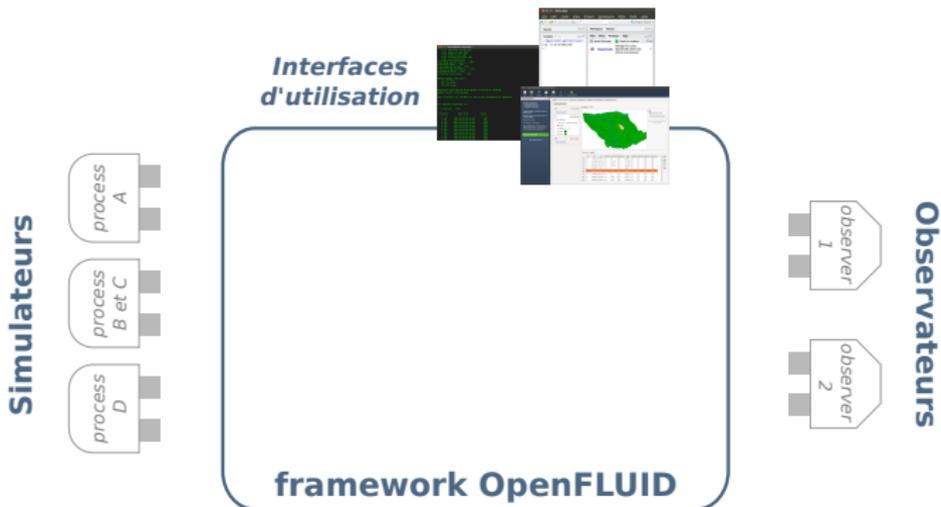
### Lancement d'une simulation sous R

```
library('ROpenFLUID')  
ofsim = OpenFLUID.loadDataset('/path/to/dataset')  
OpenFLUID.runSimulation(ofsim)  
data = OpenFLUID.loadResult(ofsim,'SU',15,'water.surf.Q.downstream')
```

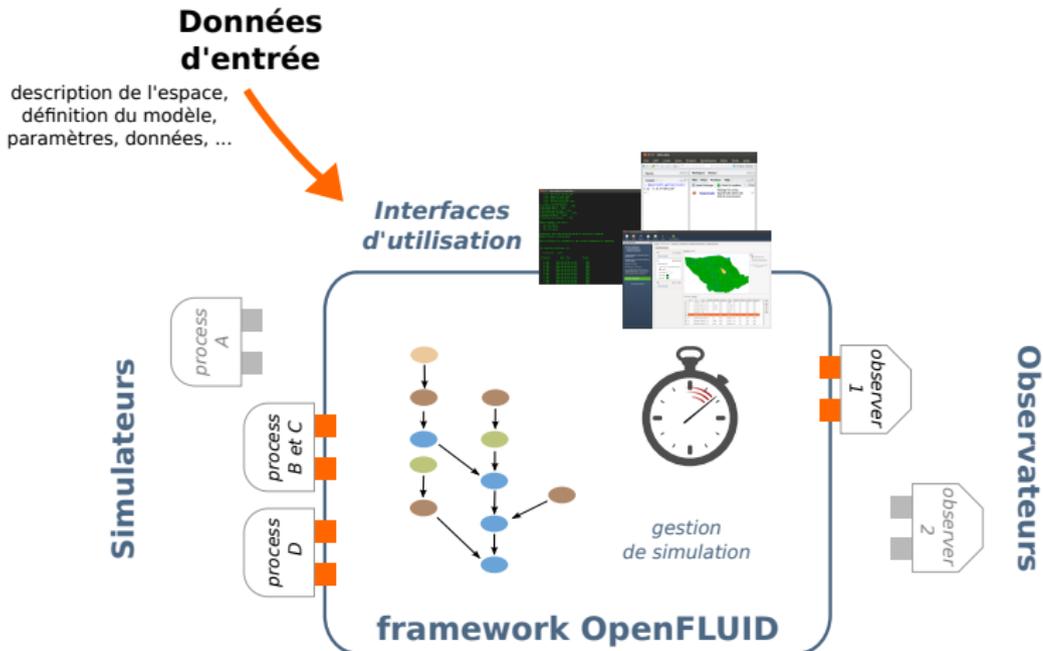
Module **PyOpenFLUID** (en cours de validation): Utilisation d'OpenFLUID depuis le langage Python (scripting, web, maths appli, ...)

Développement d'**applications spécifiques**, embarquant le moteur de simulation OpenFLUID

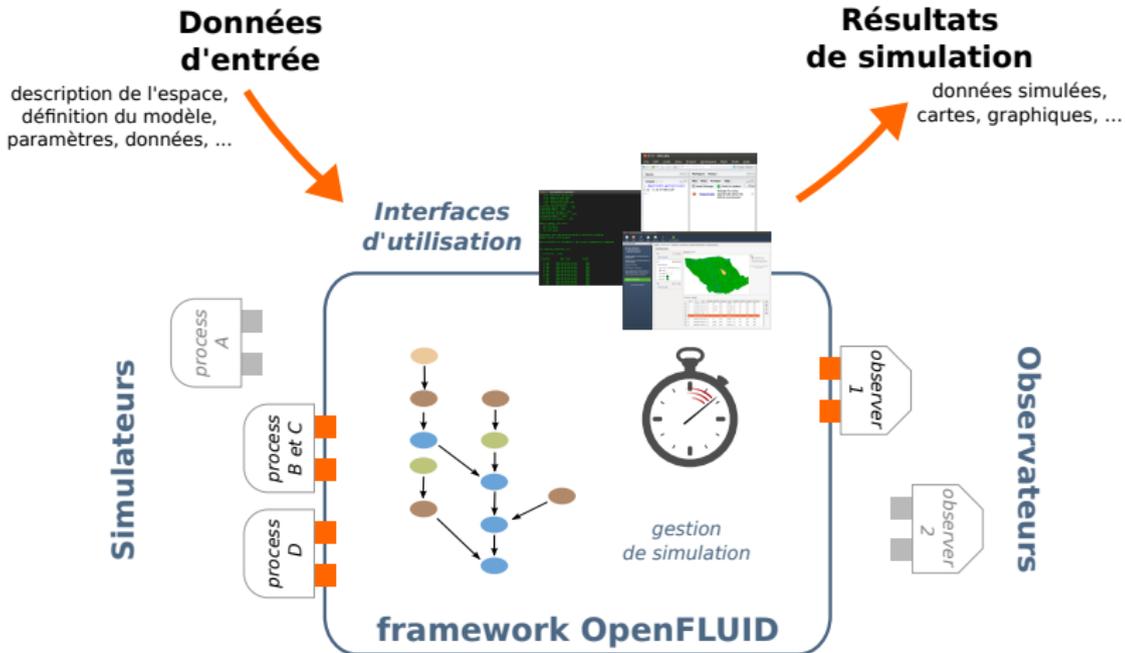
# Démarche générale de simulation



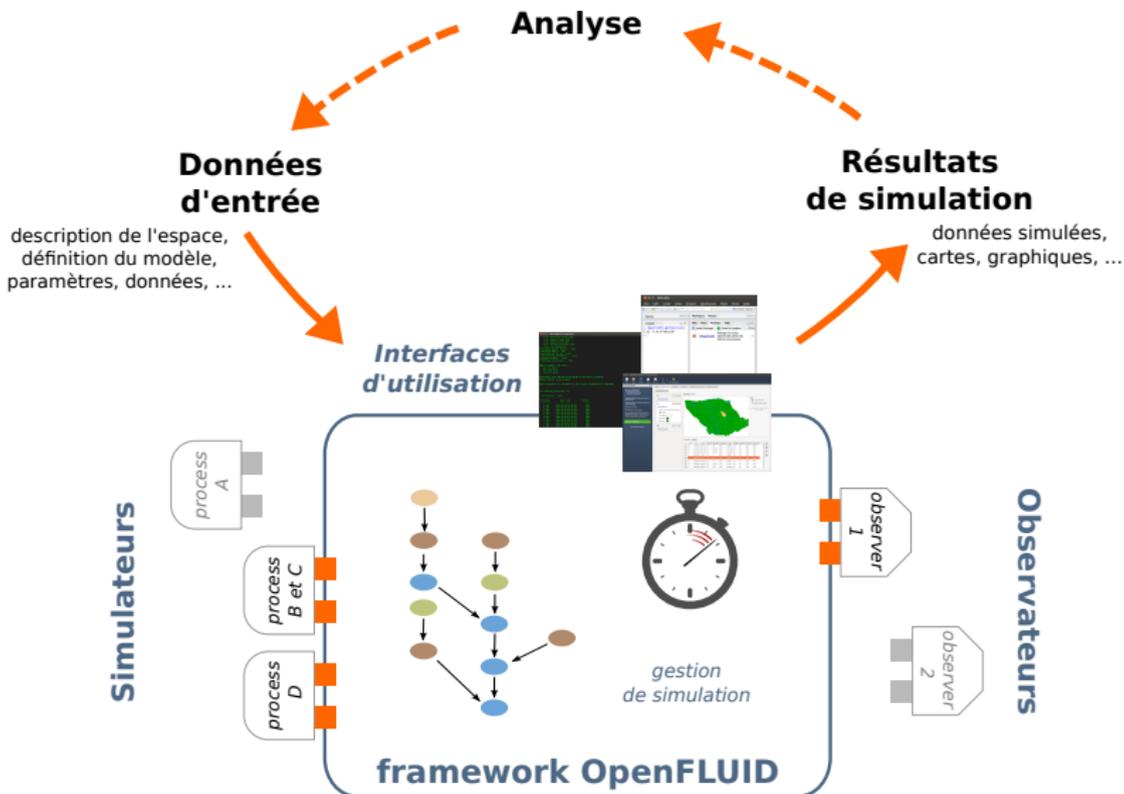
# Démarche générale de simulation



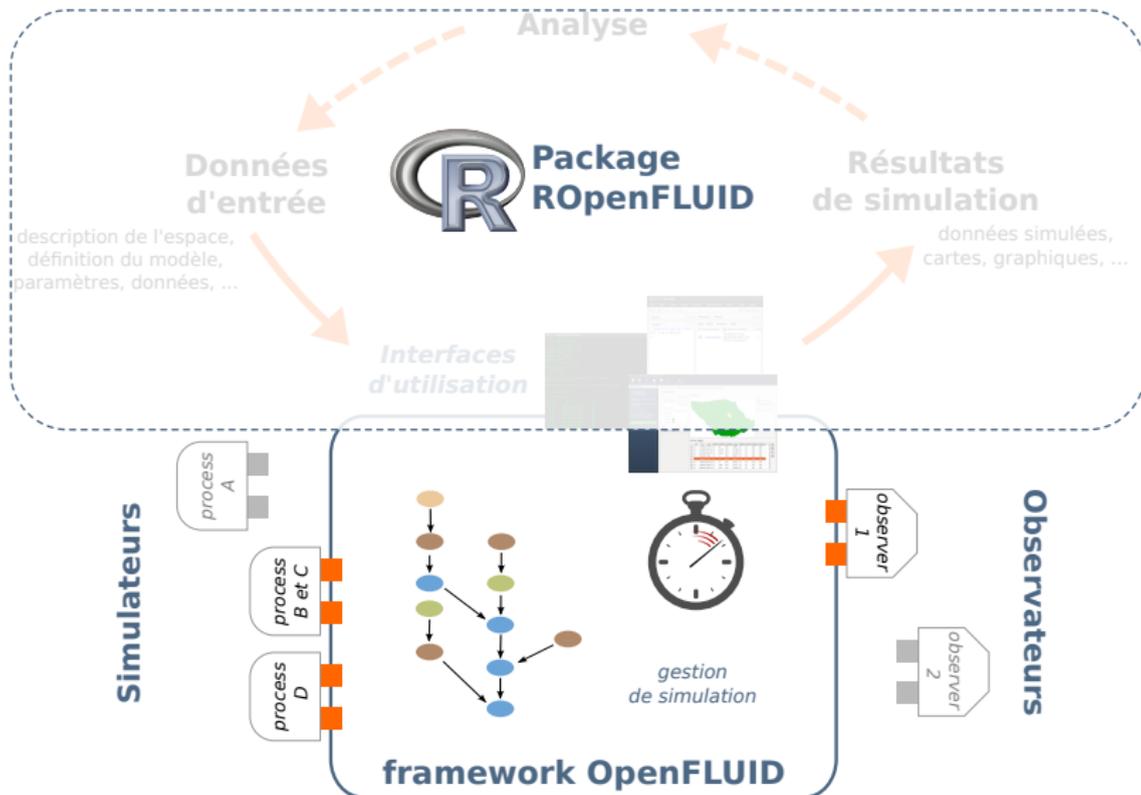
# Démarche générale de simulation



# Démarche générale de simulation



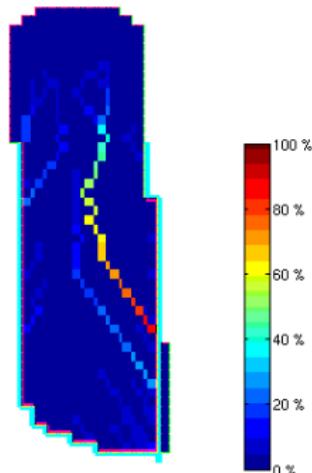
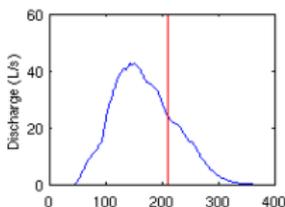
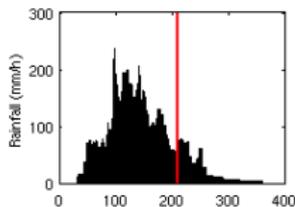
# Démarche générale de simulation





# Hydrologie de surface intra-parcellaire

Parcelle AW6 - Roujan (X. Louchart)



## Parcelle

- 1200  $m^2$ , 1070 unités spatiales
- 4 simulateurs

## Simulation des chemins de l'eau en intra-parcellaire

- sur 1 heure
- pas de temps : 10 s

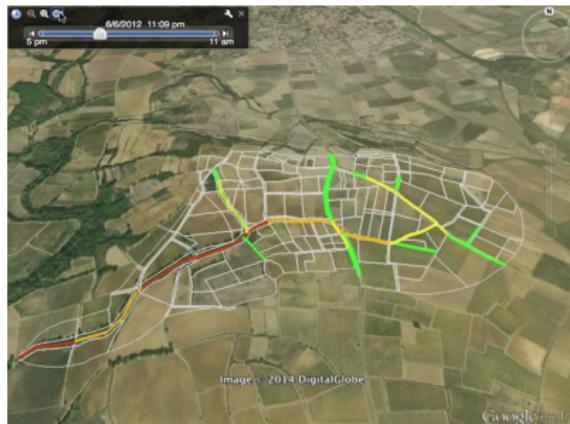
# Diagnostic pollution sur aire de captage

Puissalicon (*Projet Phyt'Eau, collab. LISAH - BE Envilys - Groupe Eurofins*)

Simulation du **devenir et du transfert de produits phytosanitaires**,  
intégrant **pratiques agricoles et processus hydrologiques**



Teneur en herbicides dans le sol sur 1 an

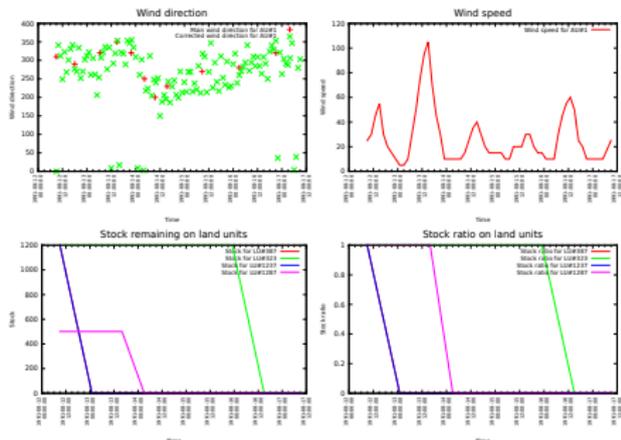
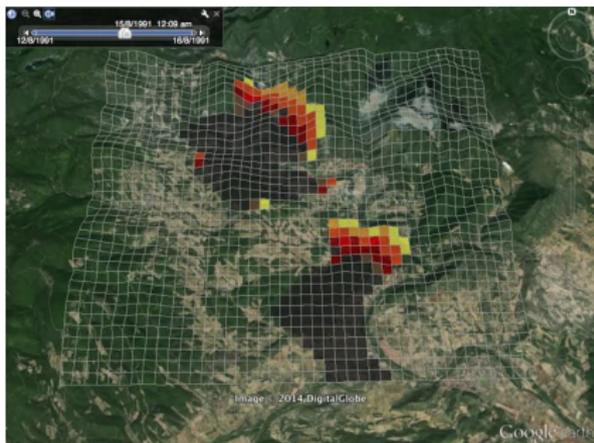


Transfert d'herbicides dans le réseau hydrographique durant 1 événement de crue

82ha, 279 parcelles, 112 tronçons de réseau, 11 simulateurs couplés

# Propagation d'incendie

Haute vallée de l'Orb - (Exemple 'proof of concept')



Modèle simplifié de propagation d'incendie

Simulation sur grille (1516 unités spatiales, ~9500ha),  
Couplage de 2 simulateurs

Recalcul en cours de simulation du graphe de connexions spatiales en fonction  
des directions de vent

# Perspectives

## Collaborations métier:

- Echanges avec d'autres plateformes de modélisation (Sol Virtuel, RECORD, ...)  
⇒ CATI IUMA, continuité du projet CPM
- Réseau MEXICO (package MTK)

## Fonctionnalités logicielles:

- Itérations entre modèles
- Qualification des connexions spatiales
- Approches orientées raster

<http://www.openfluid-project.org/>



# Références



J.C. Fabre, X. Louchart, R. Moussa, C. Dagès, F. Colin, M. Rabotin, D. Raclot, P. Lagacherie, and Voltz M.

**OpenFLUID: a software environment for modelling fluxes in landscapes.**

In *LANDMOD2010*, INRA, CIRAD, page 13pp, Montpellier, France, 2010. Quae.



J.-C. Fabre, M. Rabotin, D. Crevoisier, A. Libres, C. Dagès, R. Moussa, Ph. Lagacherie, D. Raclot, and M. Voltz.

**OpenFLUID: an open-source software environment for modelling fluxes in landscapes.**

In *Vol. 15, EGU2013-8821-1, EGU General Assembly 2013*, Vienna (Austria), 7-12 avril 2013.



M. Rabotin, J.-C. Fabre, A. Libres, P. Lagacherie, D. Crevoisier, and R. Moussa.

**Using graph approach for managing connectivity in integrative landscape modelling.**

In *Vol. 15, EGU2013-8851, EGU General Assembly 2013*, Vienne (Autriche), 7-12 avril 2013.