

## *Session 3*

# Des outils de modélisation pour les enjeux "Eau et Agriculture" – panorama et verrous

*Cécile Dagès<sup>1</sup>, Bruno Cheviron<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> INRA Montpellier, UMR LISAH*

*<sup>2</sup> Irstea Montpellier, UMR G-Eau*

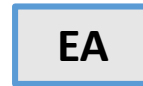


# Objectifs

- Adéquation des outils de modélisation aux enjeux généraux "Eau & Agriculture"
- Panorama mais exhaustivité non recherchée dans un premier temps
- Identification des verrous de modélisation
- Illustration par 3 focus
  - ✓ Projet MIPP : Modélisation Intégrée du devenir des Pesticides à l'échelle du Paysage  
Marc Voltz UMR LISAH Montpellier
  - ✓ Projet SIMCRAU : Modélisation intégrée de l'agro-hydrosystème de la région de la Crau  
André Chanzy UMR EMMAH Avignon
  - ✓ Modélisation multi-agents : principes, apports spécifiques et exemple d'application  
Olivier Barreteau UMR G-EAU Montpellier

# Méthode du recensement des informations

- Documents "cadre"



SSD EA

Schéma Stratégique du Département  
Environnement et Agronomie  
Période 2016-2020



Schéma Stratégique du  
Département

Sciences pour l'Action et le Développement  
2016 - 2020



DOCUMENT DIRECTEUR DU  
DEPARTEMENT EAUX IRSTEA

31/03/2018

- Documents de synthèse et collecte antérieure d'informations auprès des unités
  - ✓ Enquête réseau Eau EA+SAD (2012) + Recensement logiciels IRSTEA (2017)
  - ✓ Outils et modèle Pesticides (Juan et al. 2017), ESCo Impact cumulé des retenues (Carluer et al., 2016), Modélisation-Assimilation CSBIO-INRA (Courault et al., 2018), ...
- ... et échanges informels !

# Des enjeux thématiques aux enjeux de modélisation

- Constats et problématique

- ✓ “ Développement de plusieurs formes d'agricultures en réponse aux problèmes posés, sans être en mesure encore aujourd'hui de les évaluer dans les différentes dimensions attendues”
- ✓ Comment concevoir une gestion durable des ressources en eau dans le paradigme de la multi-fonctionnalité des paysages (agricoles) ?

# Des enjeux thématiques aux enjeux de modélisation

- Constats et problématique

- ✓ “ Développement de plusieurs formes d'agricultures en réponse aux problèmes posés, sans être en mesure encore aujourd'hui de les évaluer dans les différentes dimensions attendues”
- ✓ Comment concevoir une gestion durable des ressources en eau dans le paradigme de la multi-fonctionnalité des paysages (agricoles) ?

- Enjeux thématiques

- ✓ Diagnostic...
- ✓ Fonctionnement...
- ✓ Conception... de paysages agricoles (dimensions humaines, sociales, écologiques)

# Des enjeux thématiques aux enjeux de modélisation

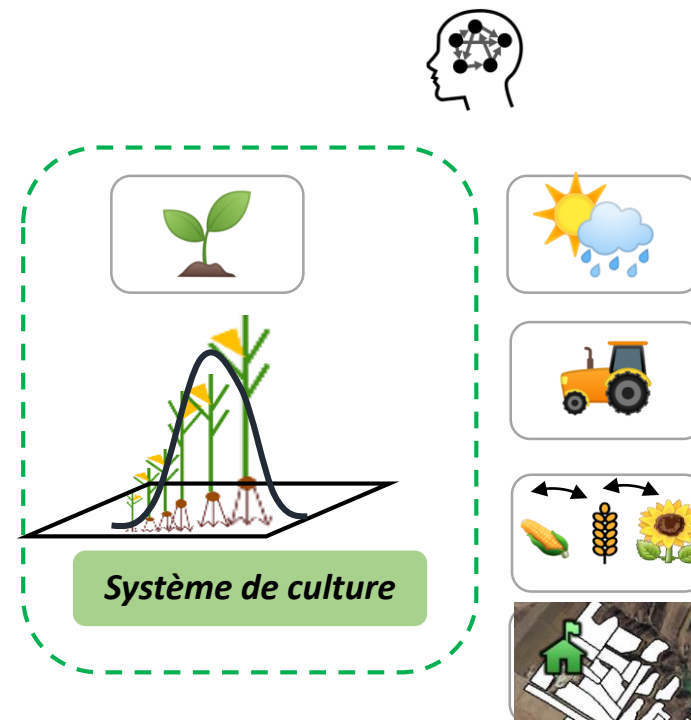
- Constats et problématique
  - ✓ “ Développement de plusieurs formes d'agricultures en réponse aux problèmes posés, sans être en mesure encore aujourd'hui de les évaluer dans les différentes dimensions attendues”
  - ✓ Comment concevoir une gestion durable des ressources en eau dans le paradigme de la multi-fonctionnalité des paysages (agricoles) ?
- Enjeux thématiques
  - ✓ Diagnostic...
  - ✓ Fonctionnement...
  - ✓ Conception... de paysages agricoles (dimensions humaines, sociales, écologiques)
- Attendus
  - ✓ Développement de modèles intégrés des paysages cultivés
  - ✓ Capacité accrue d'analyse des stratégies agricoles et de gestion des ressources
  - ✓ Focus sur l'organisation spatiale des systèmes de culture et des infrastructures

# Des enjeux thématiques aux enjeux de modélisation

- Constats et problématique
  - ✓ “ Développement de plusieurs formes d'agricultures en réponse aux problèmes posés, sans être en mesure encore aujourd'hui de les évaluer dans les différentes dimensions attendues”
  - ✓ Comment concevoir une gestion durable des ressources en eau dans le paradigme de la multi-fonctionnalité des paysages (agricoles) ?
- Enjeux thématiques
  - ✓ Diagnostic...
  - ✓ Fonctionnement...
  - ✓ Conception... de paysages agricoles (dimensions humaines, sociales, écologiques)
- Attendus
  - ✓ Développement de modèles intégrés des paysages cultivés
  - ✓ Capacité accrue d'analyse des stratégies agricoles et de gestion des ressources
  - ✓ Focus sur l'organisation spatiale des systèmes de culture et des infrastructures
- Enjeux de modélisation
  - ✓ Spatialisation avec modélisation multi-objets et intégration thématique
  - ✓ Couplage de processus lents/rapides, biotique/abiotique, ...
  - ✓ Implication de la modélisation dans la co-construction de scénarios (démonstrateur-support, évaluation, contrôle et optimisation)

# Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

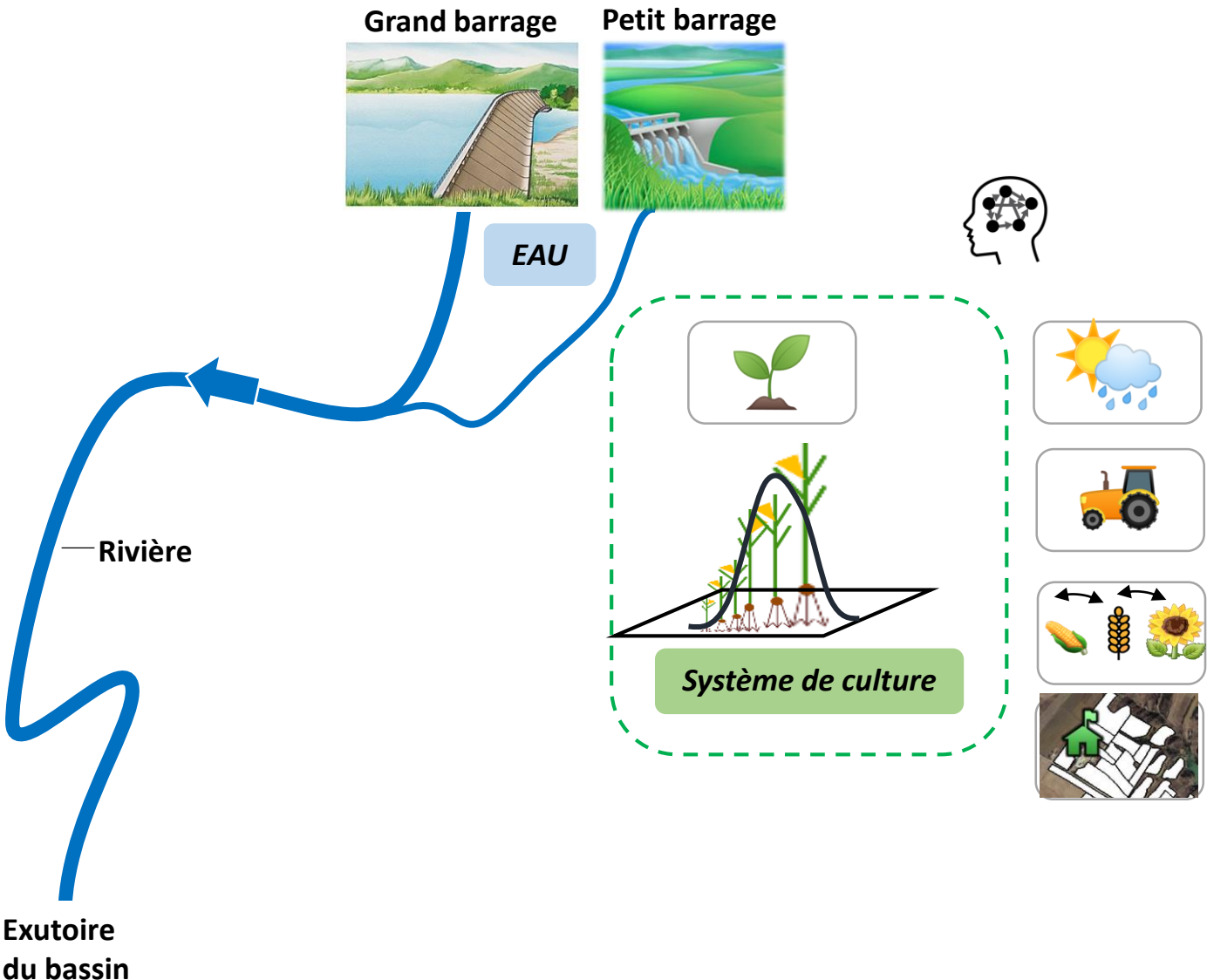
- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia





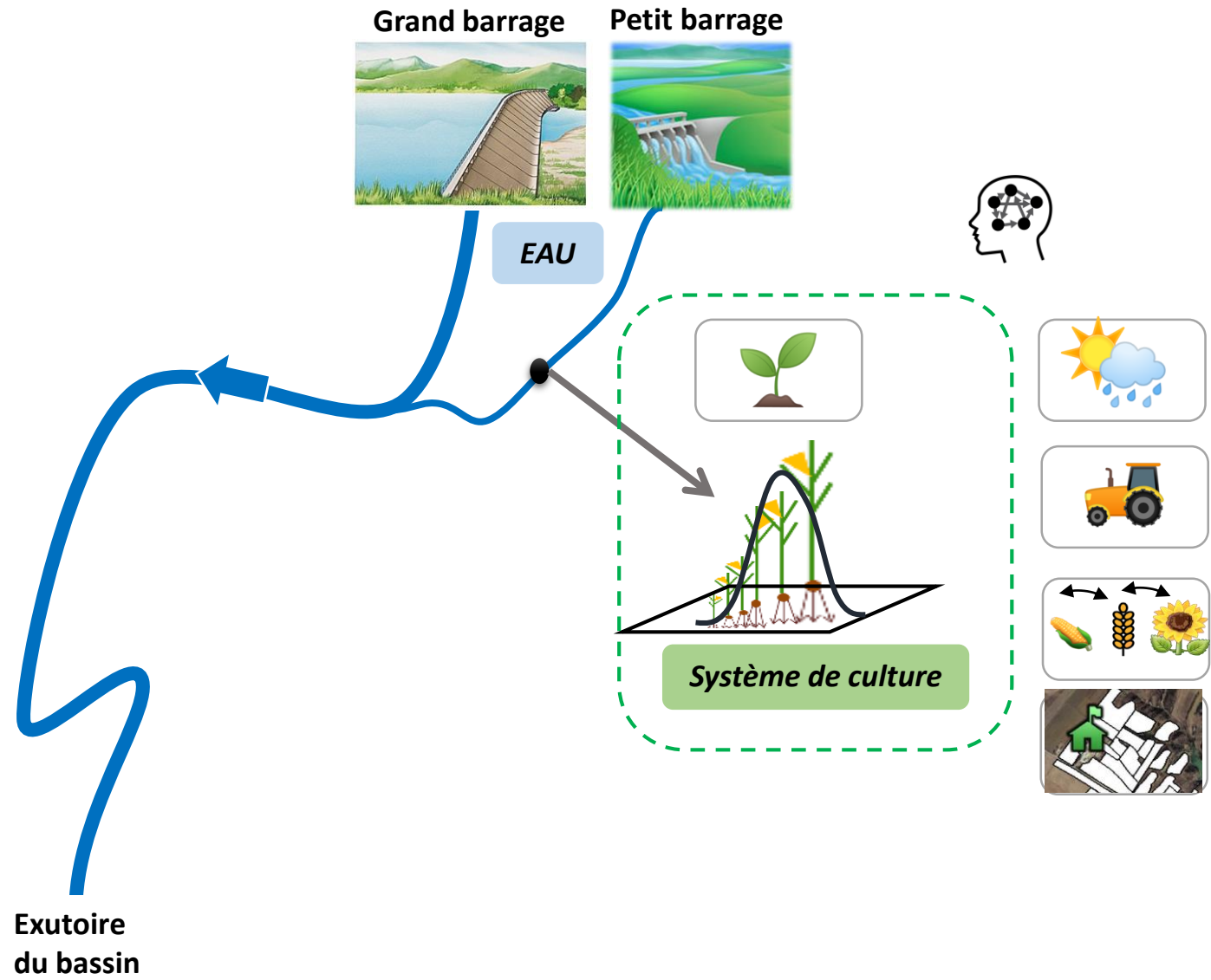
# Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia



# Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

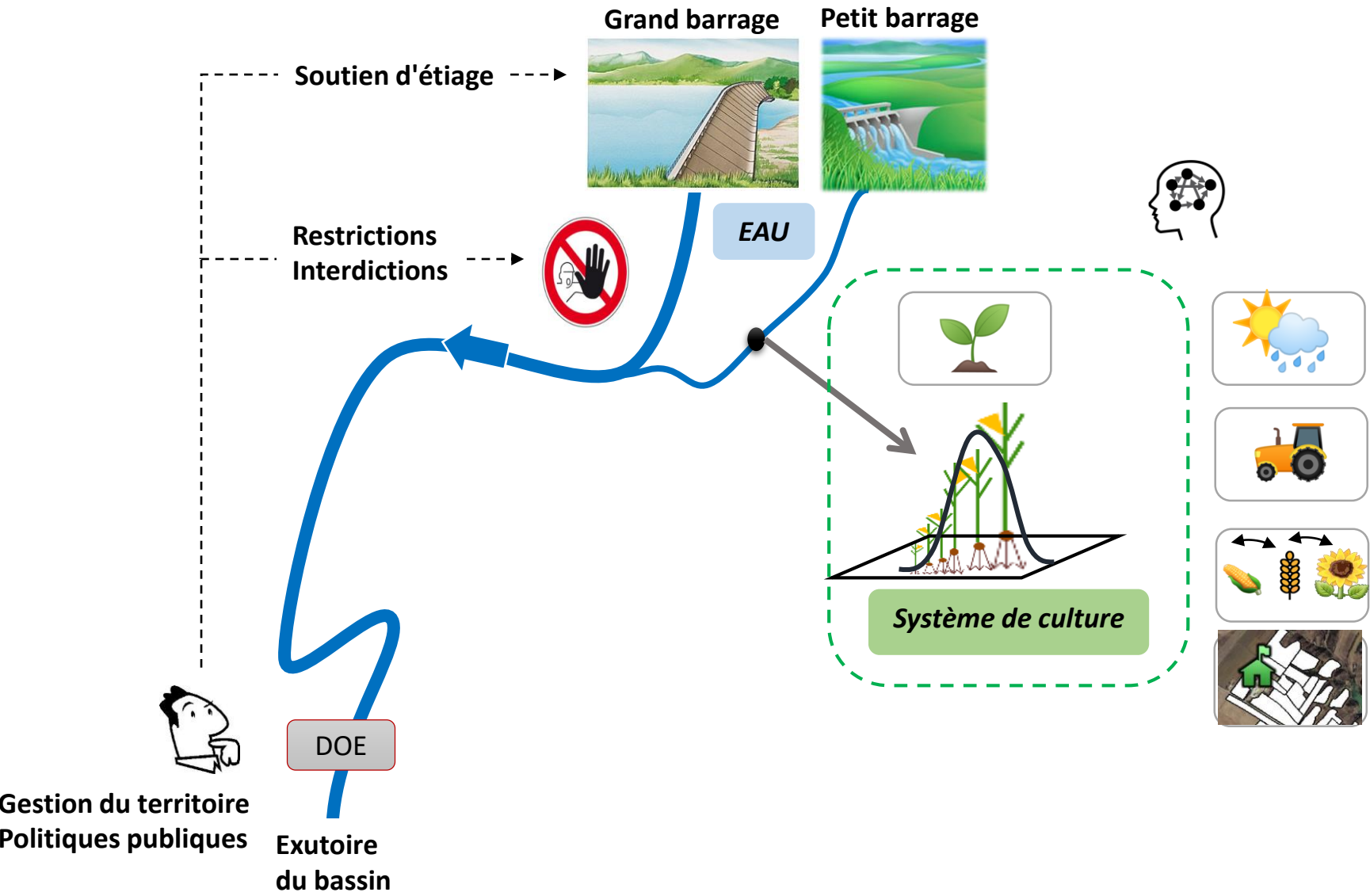
- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia





# Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

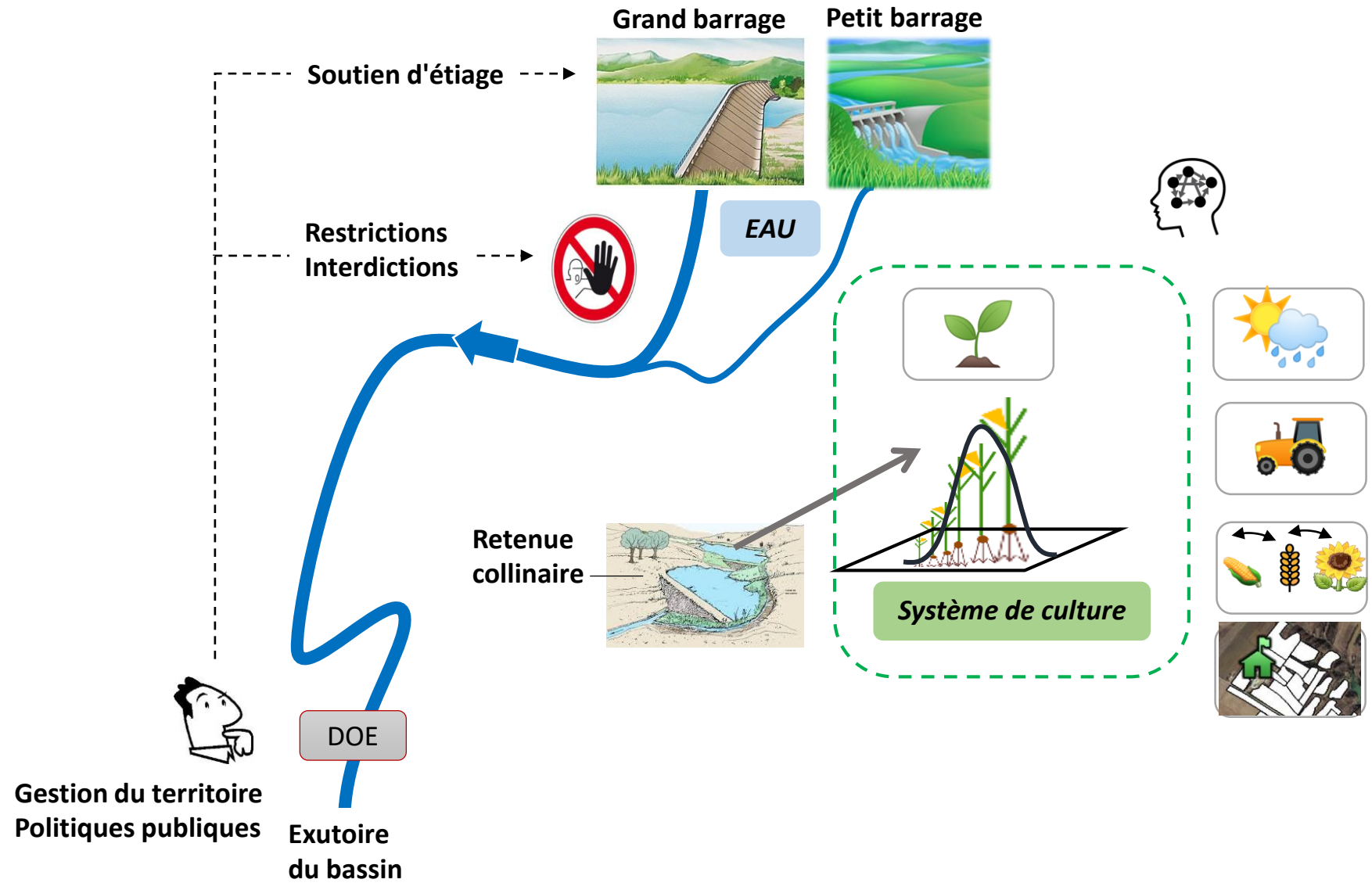
- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia





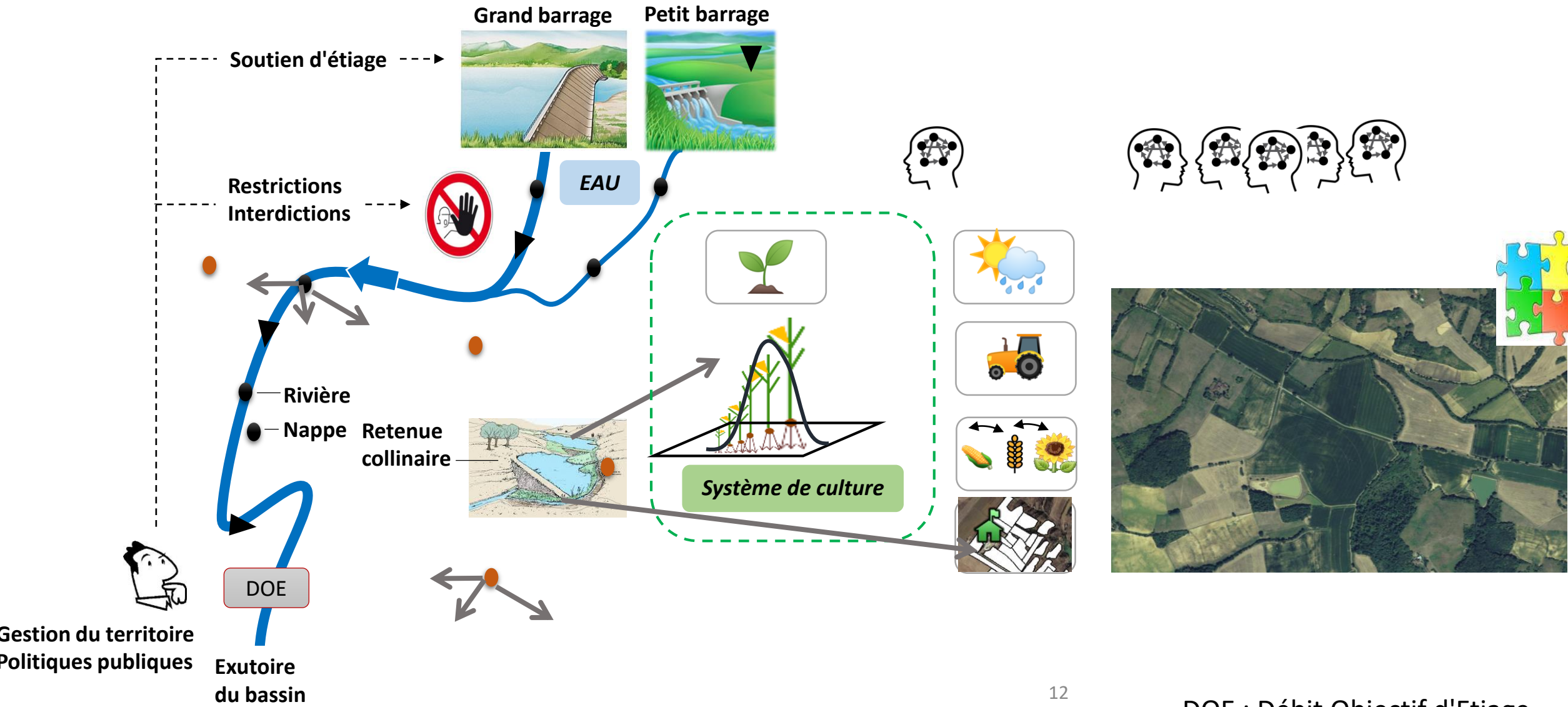
# Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia



# Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia





# EAUX

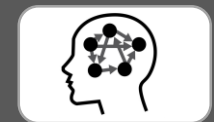
# VEGETATION

Cultures  
Couverts  
Adventices

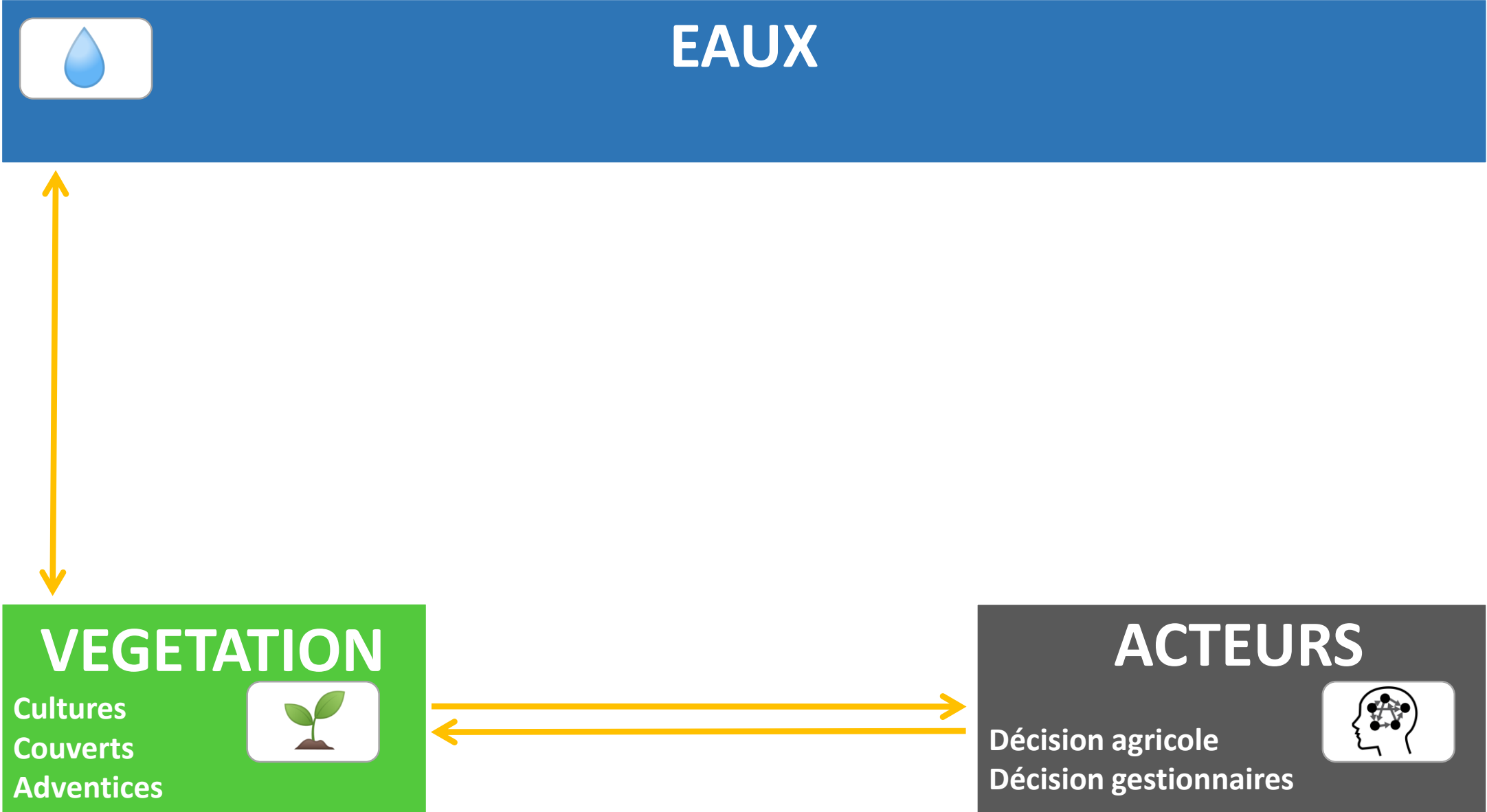


# ACTEURS

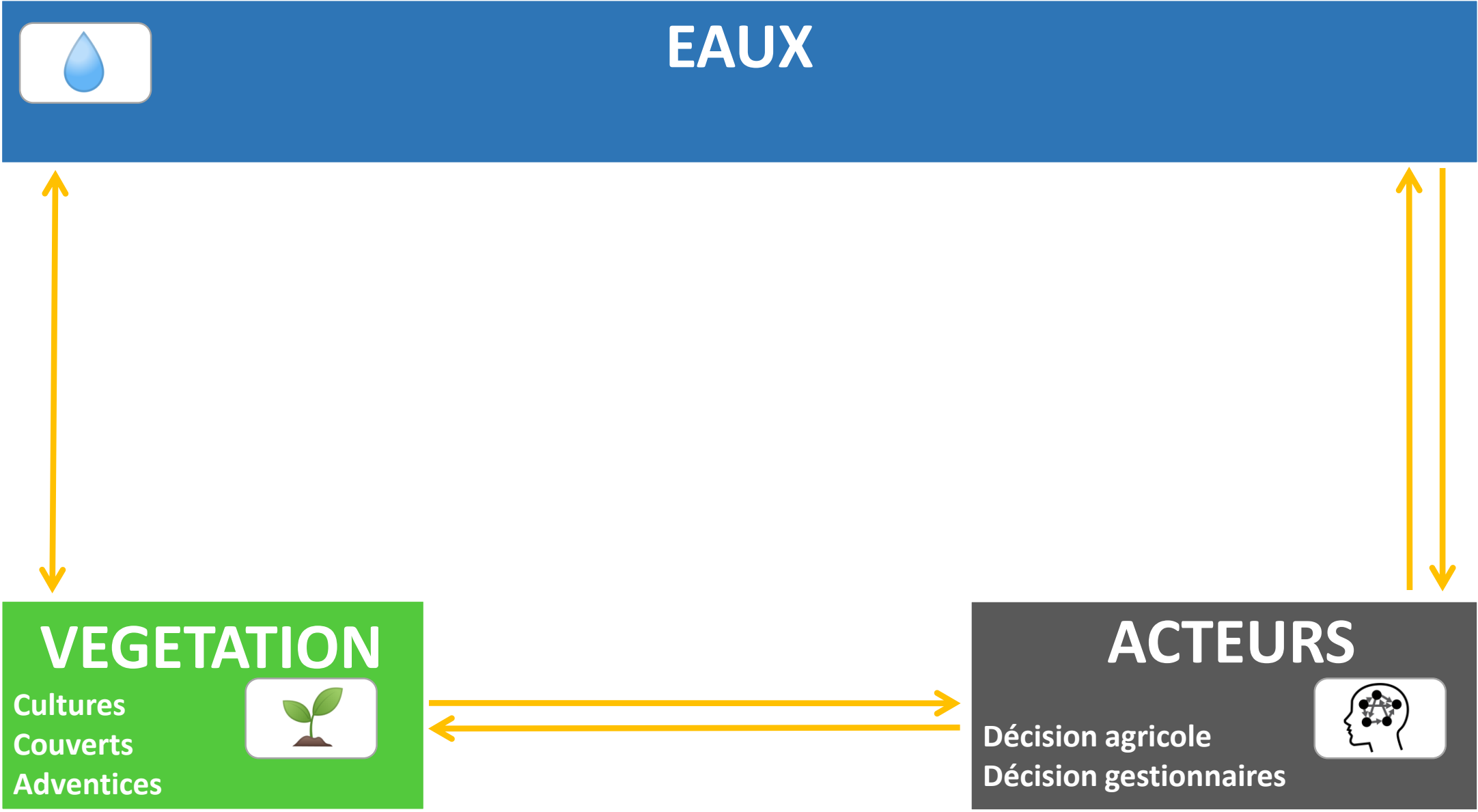
Décision agricole  
Décision gestionnaires

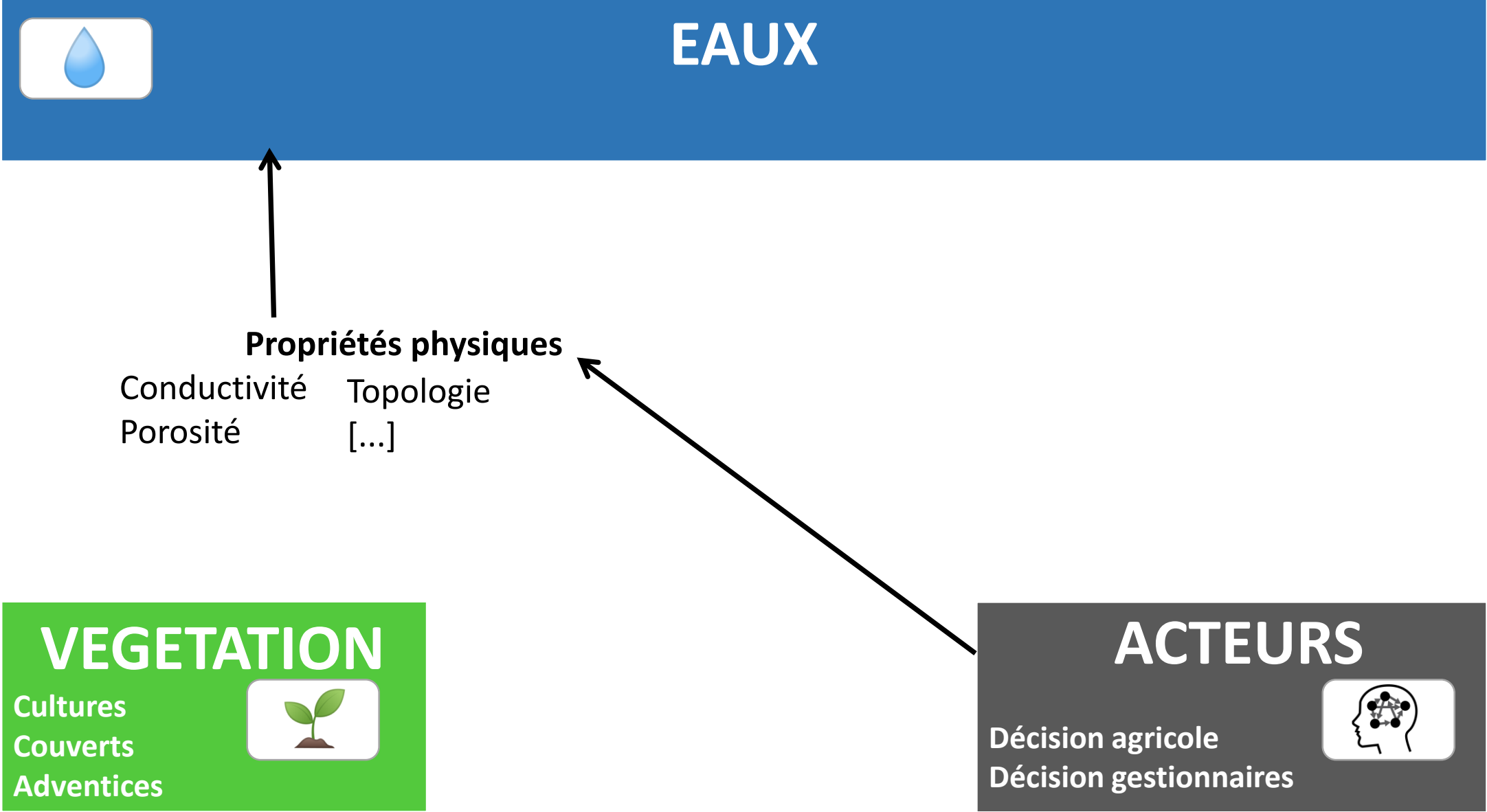


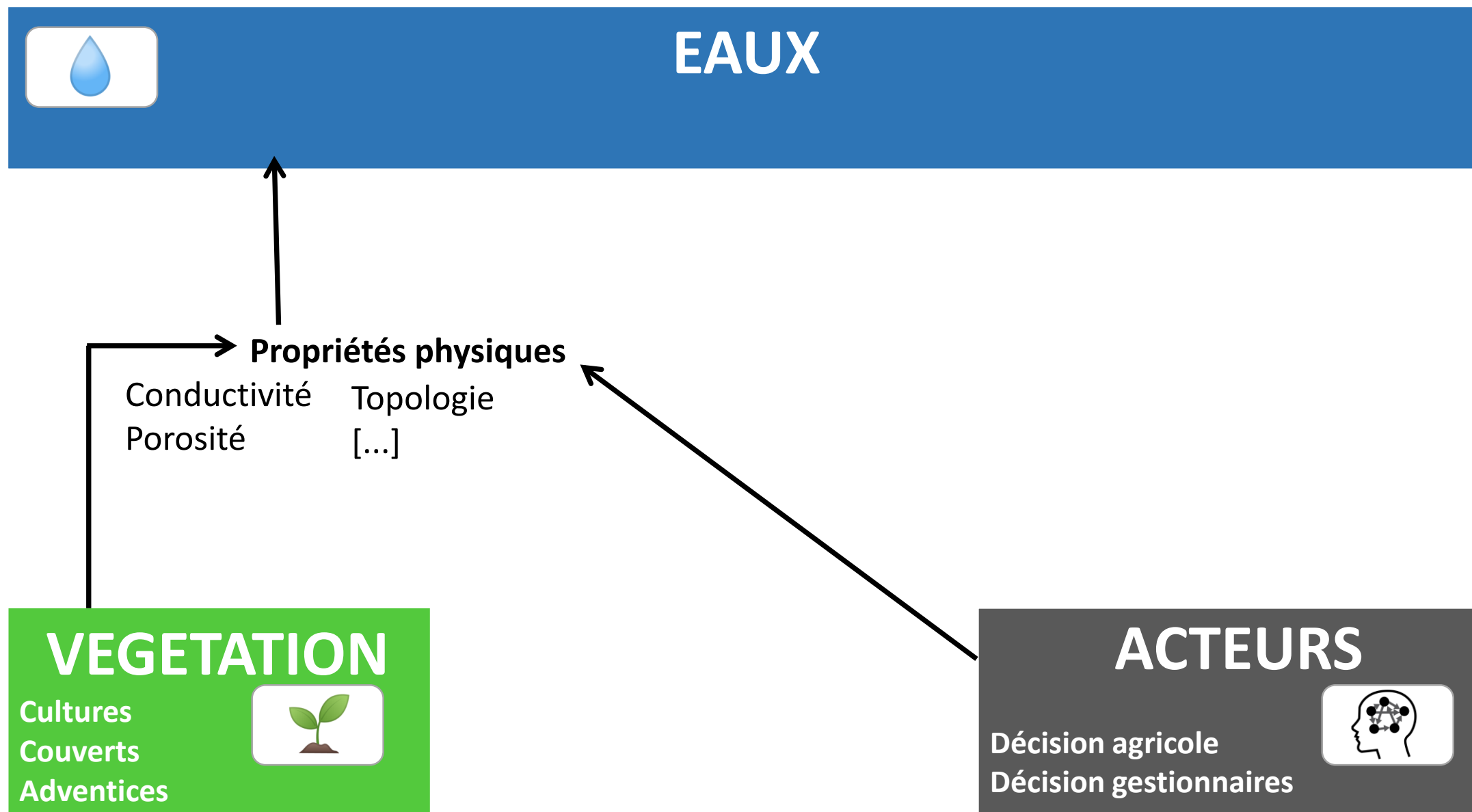












# EAUX



**Propriétés physiques**  
Conductivité  
Porosité  
Topologie  
[...]

**Mosaïques**  
Occupation du sol  
Infrastructures  
Milieux intersiticiels



## VEGETATION

Cultures  
Couverts  
Adventices



## ACTEURS

Décision agricole  
Décision gestionnaires





**Propriétés physiques**

Conductivité Topologie  
Porosité [...]

**Mosaïques**

Occupation du sol  
Infrastructures  
Milieux intersiticiels

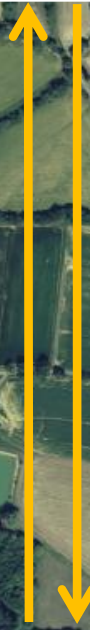


**VEGETATION**

Cultures  
Couverts  
Adventices

**ACTEURS**

Décision agricole  
Décision gestionnaires





**Propriétés physiques**  
Conductivité Topologie  
Porosité MO & Sorption  
[...]

**Mosaïques**  
Occupation du sol  
Infrastructures  
Milieux intersiticiels

**VEGETATION**

Cultures  
Couverts  
Adventices



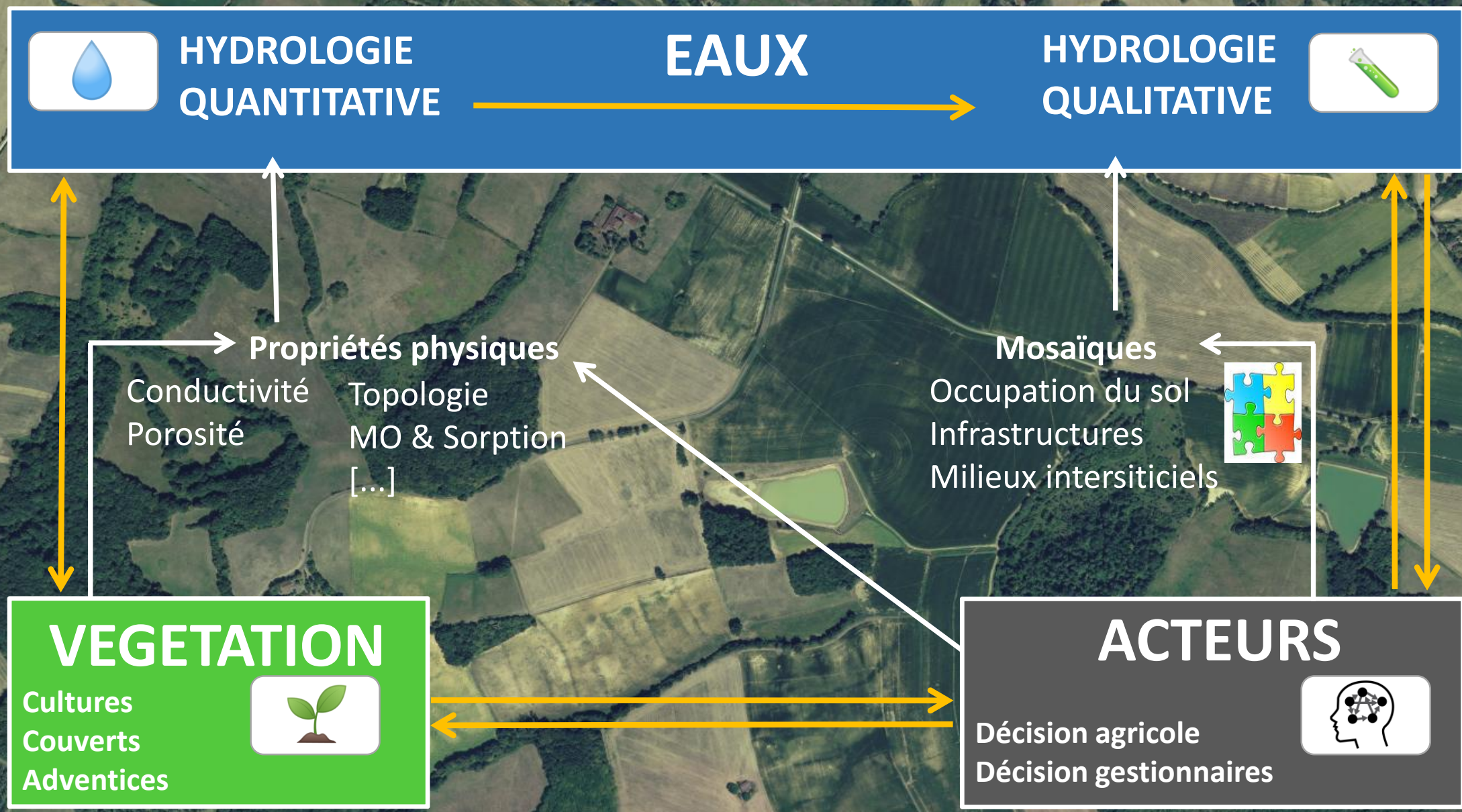
A green rectangular box with a white border. It contains the word 'VEGETATION' in large white letters at the top. Below it, the words 'Cultures', 'Couverts', and 'Adventices' are listed in white. At the bottom right, there is a white square containing a green plant icon.

**ACTEURS**

Décision agricole  
Décision gestionnaires



A grey rectangular box with a white border. It contains the word 'ACTEURS' in large white letters at the top. Below it, the words 'Décision agricole' and 'Décision gestionnaires' are listed in white. At the bottom right, there is a white square containing a black brain icon with neural connections.



**HYDROLOGIE  
QUANTITATIVE**

# EAUX

**HYDROLOGIE  
QUALITATIVE**



**Propriétés physiques**  
Conductivité  
Porosité  
Topologie  
MO & Sorption  
[...]

**Mosaïques**  
Occupation du sol  
Infrastructures  
Milieux intersiticiels



**VEGETATION**  
Cultures  
Couverts  
Adventices

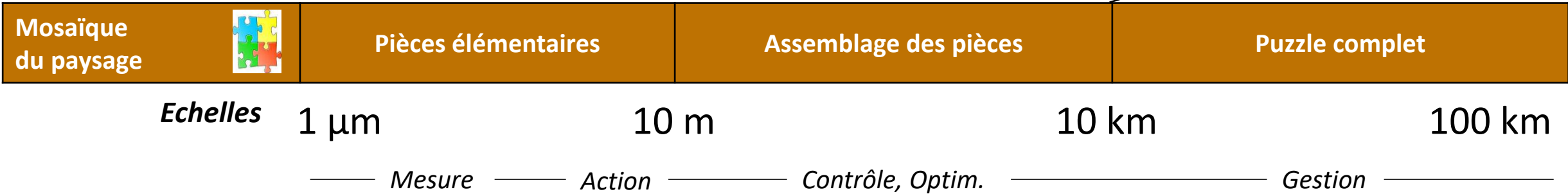


**ACTEURS**  
Décision agricole  
Décision gestionnaires



# Echelles, types de modélisation et processus







≠ Propriétés émergentes  
≠ Paramètres sensibles





# Echelles, types de modélisation et processus

≠ Propriétés émergentes  
≠ Paramètres sensibles

Mosaïque du paysage 		Pièces élémentaires	Assemblage des pièces	Puzzle complet	
<i>Echelles</i>		1 µm	10 m	10 km	100 km
<i>Types de modélisation</i>		Mesure	Action	Contrôle, Optim.	Gestion
Eaux  	Processus biophysiques fins, spécifiques, instantanés	Principaux processus hydrologiques		Ressources et bilans (temps longs)	
Cultures  		Modèles de culture		Supervision des territoires agricoles	
Processus décisionnels 	Actions individuelles Interactions locales	Démarches intégratives tournées vers l'action		Gouvernance, décision publique, Gestion territoires et écosystèmes	






# Echelles, types de modélisation et processus

≠ Propriétés émergentes

≠ Paramètres sensibles

Mosaïque du paysage 	Pièces élémentaires	Assemblage des pièces	Puzzle complet
---	---------------------	-----------------------	----------------

Types de modélisation	Echelles	1 $\mu$ m	10 m	10 km	100 km
		Mesure	Action	Contrôle, Optim.	Gestion

Eaux  	Processus biophysiques fins, spécifiques, instantanés	Principaux processus hydrologiques	Ressources et bilans (temps longs)
Cultures  		Modèles de culture	Supervision des territoires agricoles
Processus décisionnels 	Actions individuelles Interactions locales	Démarches intégratives tournées vers l'action	Gouvernance, décision publique, Gestion territoires et écosystèmes

## Processus



- Pore — Profil de sol — Parcelle — Exploitation — Coopérative — Filière —  
 - Stomate — Plante — Matériel d'irrigation et traitement — Périmètres irrigués —  
 — Ruissellement — Ruisseau — Versant — Rivière — Bassin Versant — Masse d'eau — Fleuve —  
 — Ouvrages hydrauliques — Canaux et réseaux artificiels —  
 — Haies — Bandes enherbées — Filtres — Fossés — Réseaux —  
 — Décision individuelle — Multi-agents — Jeux de rôle — Politiques publiques —

# Modèles et coupleurs de modèles d'après Fabre JC, 2019

- Modèle scientifique

- ✓ Représentation simplifiée d'un phénomène ou d'une structure, souvent à base mathématique
- ✓ Exprimé sous la forme d'un code de calcul informatique

Ex :



Quantité



Qualité



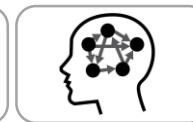
Climat local



ITK, Irrigation



Culture

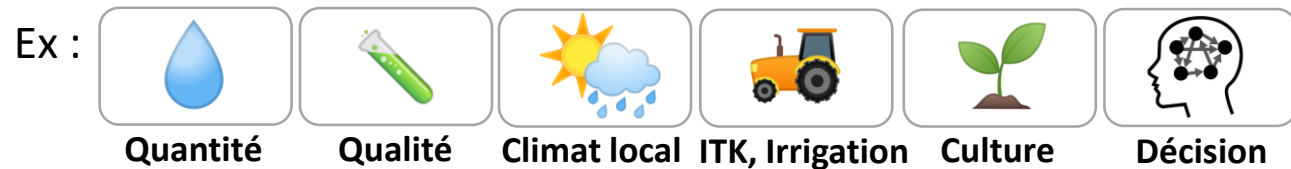


Décision

# Modèles et coupleurs de modèles d'après Fabre JC, 2019

- Modèle scientifique

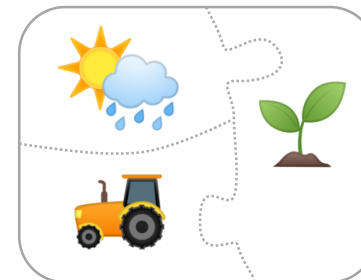
- ✓ Représentation simplifiée d'un phénomène ou d'une structure, souvent à base mathématique
- ✓ Exprimé sous la forme d'un code de calcul informatique



- Coupleur

- ✓ Outil logiciel qui couple "en dur" des codes de calcul, pour créer des modèles intégrés
- ✓ Très forte dépendance entre codes de calcul couplés, assemblage "figé"
- ✓ Peut être invasif dans le code des modèles

Ex : OpenPalm (Cerfacs)



# Plateformes de modélisation vs. coupleurs de modèles

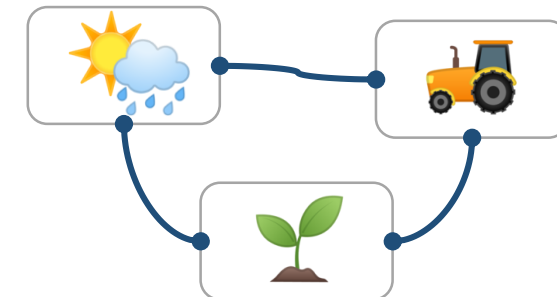
- Plateforme de modélisation *d'après Fabre JC, 2019*
  - ✓ Environnement logiciel de développement, de couplage, de capitalisation et de partage de modèles, permettant l'exécution de simulations
  - ✓ Favorise le pluridisciplinaire et l'interopérabilité (communication entre plusieurs systèmes, appareils ou éléments informatiques)
  - ✓ Peut porter un paradigme thématique et/ou de modélisation (ex: focus sur les graphes de connectivité, les aspects multi-agents, les évènements discrets)
  - ✓ Propose des fonctionnalités logicielles qui accompagnent les utilisateurs dans leurs démarches de modélisation et simulation (normalisation, bonnes pratiques)
  - ✓ Peut nécessiter une encapsulation normalisée des codes de calcul des modèles pour assurer leur couplage (modèles dans des boîtes qui savent communiquer entre elles)



Modèles capitalisés



Coupleurs



Plateforme

# Exemples de plateformes de modélisation

- Co-développement EA



Fonctionnement intégré,  
micro- et macropores, eau,  
solutés et pathogènes.

Profil de sol, écoulements  
verticaux, percolation.

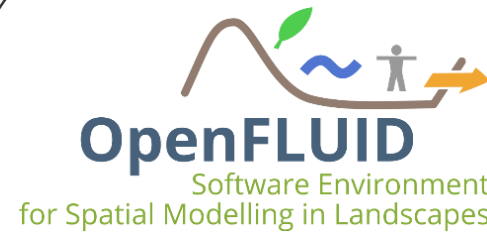
<https://www6.inra.fr/vsoil/>



Systèmes de culture et  
représentation des  
décision agricole.

Simul. des évènements  
discrets (DEVS)

<https://www6.inra.fr/record/>



Modélisation spatialisée en  
hydrologie, agronomie,  
environnement + ad hoc.

Représentation numérique  
des paysages (graphes)

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



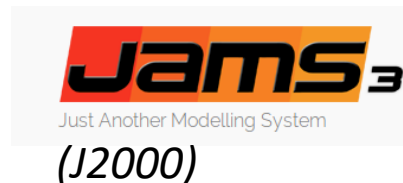
MEANS

Analyse multicritères de la  
durabilité des systèmes de  
prod. végétale et animale.

Analyse des transfo. des  
produits agricoles

<https://www6.inra.fr/means/>

- Autres



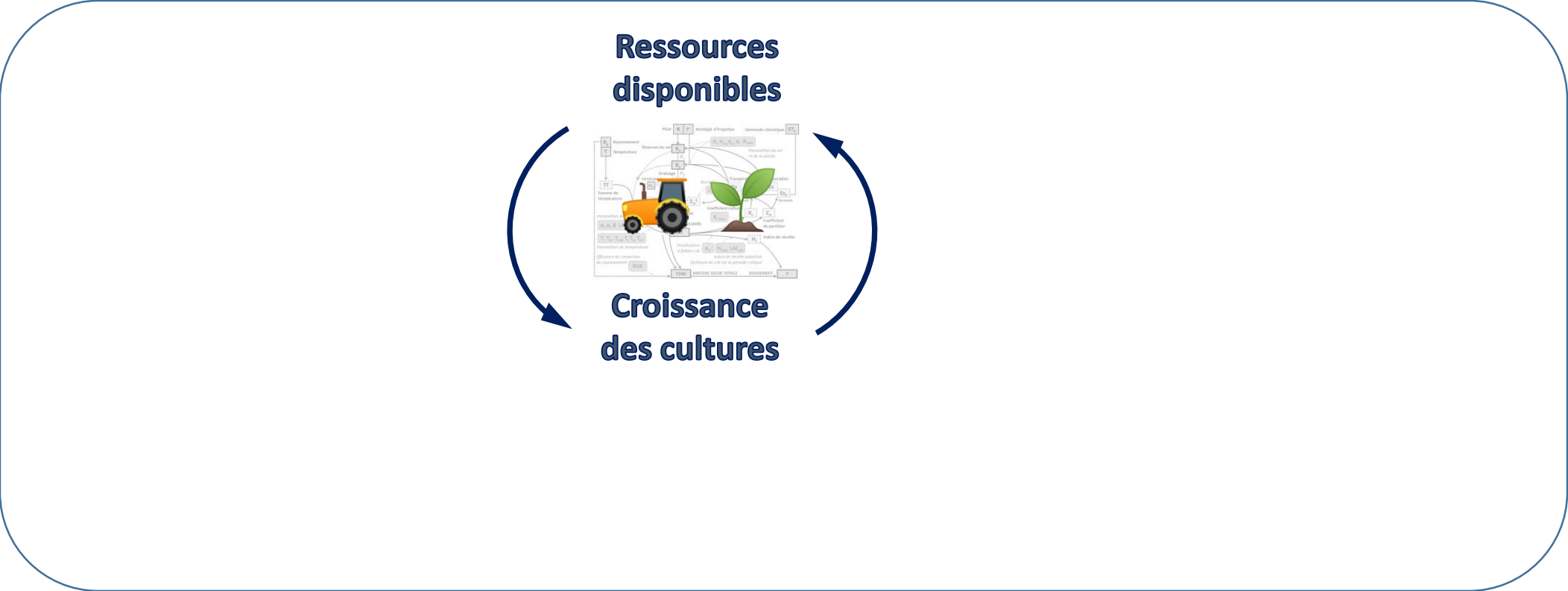
# Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation



Culture



# Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation

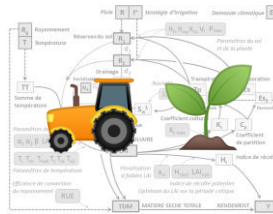


Culture

**CONTRÔLES ANTHROPIQUES**  
**Décisions de gestion du site**

**Assolement, Rotation,**  
**Semis**  
**Irrigation, Fertilisation**  
**Traitements**  
**Taille, Récolte**

**Ressources disponibles**



**Croissance des cultures**

**Forçages climatiques (P, Rg, T, ETO ...)**  
**Données sol, plante**  
**Données de disponibilités**  
**nappe, rivière**  
**quota, interdictions...**



# Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation



Culture

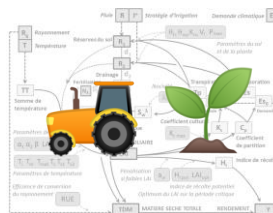
## CONTRÔLES ANTHROPIQUES Décisions de gestion du site

Assolement, Rotation,  
Semis  
Irrigation, Fertilisation  
Traitements  
Taille, Récolte

## VARIABLES JOURNALIERES Mesurables ou observables

Teneur en eau, nutriments, solutés  
Indice foliaire ou dérivés, ETR  
Biomasse, indice de nutrition, qualité

## Ressources disponibles



## Croissance des cultures

Forçages climatiques (P, Rg, T, ETO ...)  
Données sol, plante  
Données de disponibilités  
nappe, rivière  
quota, interdictions...

## INDICATEURS SAISONNIERS

Evaluation ex-post  
Eau, nutriments, solutés utilisés  
Rendement agricole  
Performance, efficacité, impact  
Rentabilité financière

# Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation

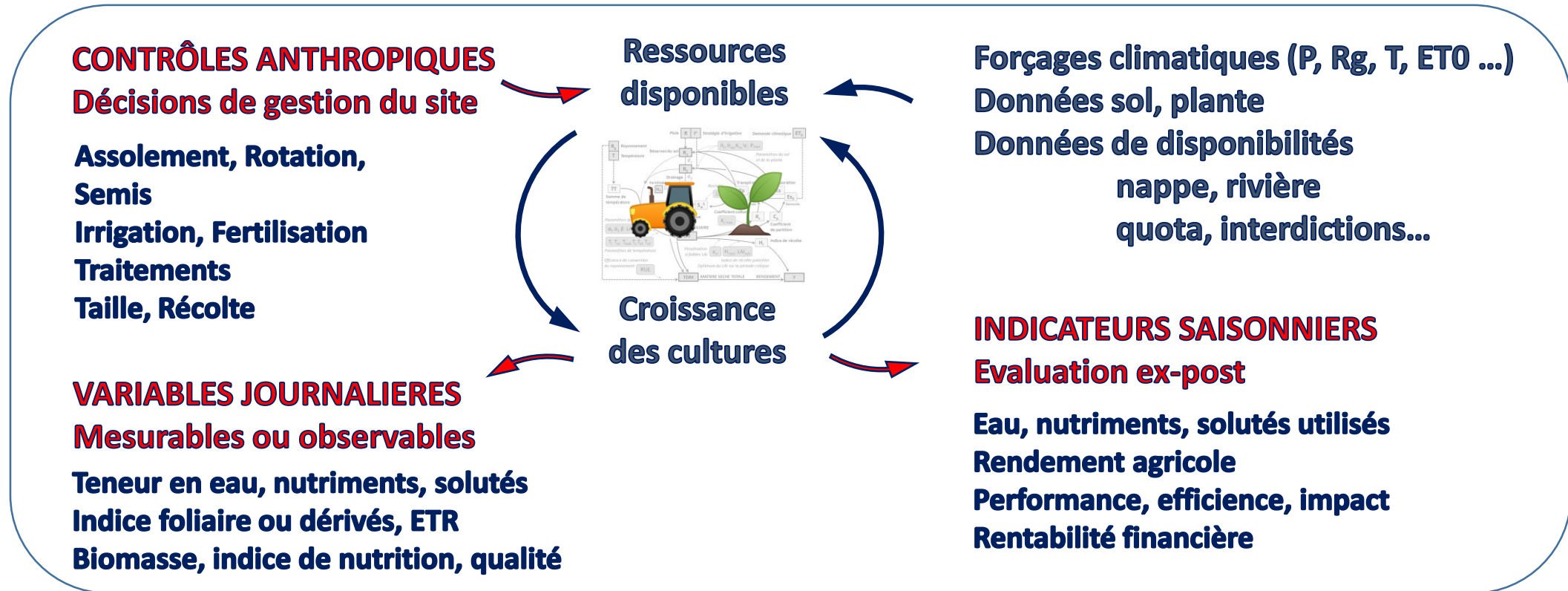


Culture

Stratégies scénarisables et optimisables  
→ Co-construction des paysages agricoles



Contextes agro-pédo-climatiques  
→ Diversité des paysages agricoles



Variables de couplage dynamique "biophysique"  
→ Optim. "Eau & Agriculture" tps réel



Variables de couplage avec modèles décisionnels  
→ Optim. "Eau & Agriculture" ex post

# Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation



Culture

Stratégies scénarisables et optimisables  
→ Co-construction des paysages agricoles



Contextes agro-pédo-climatiques  
→ Diversité des paysages agricoles

## CONTRÔLES ANTHROPIQUES Décisions de gestion du site

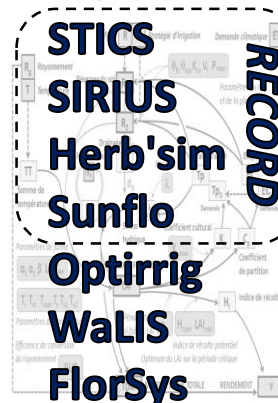
SIMSERV (sélection plantes)  
AZOFERT (prescription Azote)  
+  
Modèles décisionnels  
(Multi-agents)



## VARIABLES JOURNALIÈRES Mesurables ou observables

FruitVirtuel (teneur sucre, maturité)  
Qualitree (dév. qualité fruit)  
RATP (Rg abs, Temp, photosynthèse)  
MuSICA (inter. couvert-atmosphère)

## Ressources disponibles



## Croissance des cultures



PASTIS (flux masse énergie ZNS)  
Carbo-Pro (carbone organique sol)  
NitroScape (transformations Azote)  
+  
Modèles climatiques  
Modèles hydrologiques

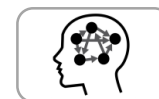


## INDICATEURS SAISONNIERS Evaluation ex-post

MAELIA (éval. options de gestion)  
Syst'N (diagnostic environnemental Azote)  
+  
Modèles décisionnels  
(Eco, Socio, Anthro.)



Variables de couplage dynamique "biophysique"  
→ Optim. "Eau & Agriculture" tps réel



Variables de couplage avec modèles décisionnels  
→ Optim. "Eau & Agriculture" ex post

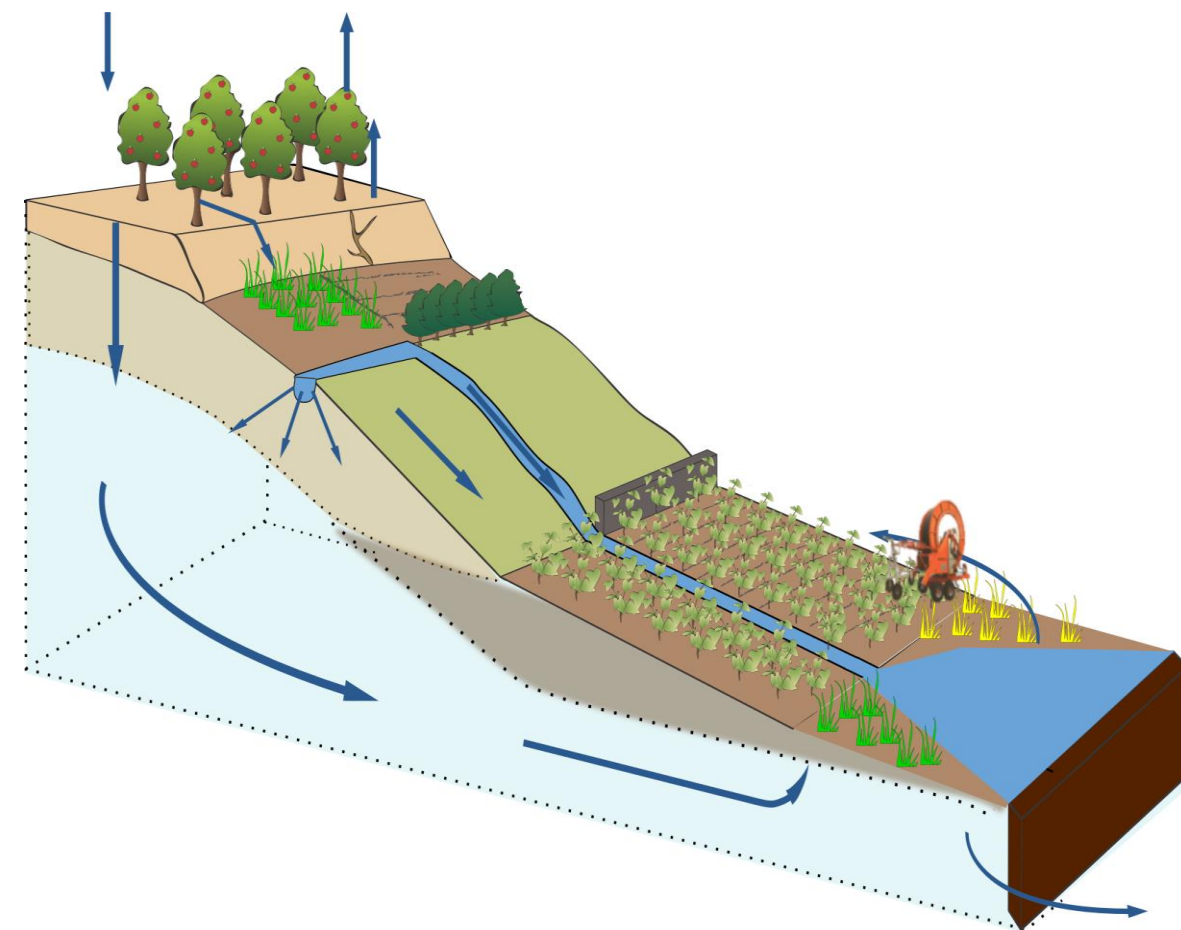
# Modélisation quantitative et qualitative de la ressource en eau



Quantité

Représentation de tout ou partie du **fonctionnement hydrologique** des paysages agricoles, **en lien avec les usages agricoles et les cultures**

- Diversités des modèles, plutôt à base physique
  - Hydrologique de BV : TNT, MHYDAS, GR, J2000
  - SVAT : Pastis, Watsfar, SiSPAT
  - Bilan d'énergie : Surfalm, PHOTEAU
  - Hydrodynamique/hydraulique : SIC, 1D-MAGE
  - Ecoulement lame mince : STREAM, FullSWOF, CALHY
  - Autres : MAELIA, Indice S-SEBI, KaRaMel
- Variables d'intérêt : celles du cycle hydrologique
- Objets et échelles d'espace :
  - bassin versant
  - parcelles
  - infrastructures : retenues, drains, fossés, haies, filtres
  - profil de sol
- Echelles de temps : crue, saison culturale, année, pluri-annuel



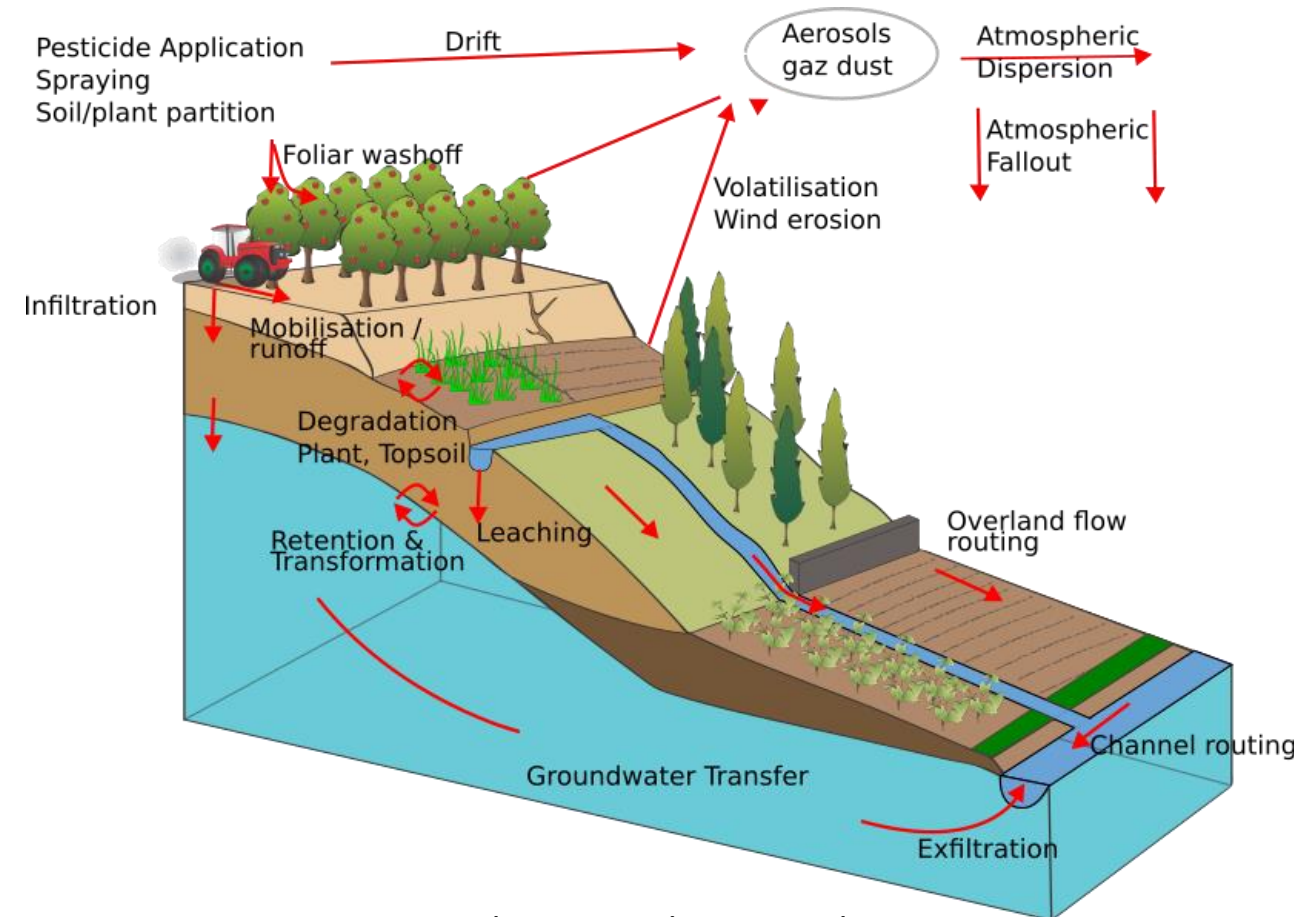
# Modélisation quantitative et qualitative de la ressource en eau



Qualité

Représentation de tout ou partie du **devenir des intrants agricoles** dans les paysages agricoles, en lien avec les usages agricoles et les infrastructures

- Les intrants : nutriments, pesticides organiques, ETM, virus, produits vétérinaires
- Diversités des modèles : à base physique // indicateurs
  - BV : TNT2, Nutting (P-N), CASIMOD'N, MHYDAS-Pesticides, PeshMelba, MIPP
  - Sol: Pastis + MulchPesticides, Watsfar
  - Rivières : ADIS-TS
  - Infrastructures : VFSSMod, PITCH, PestDrain
  - Indicateurs: I-phy, INDIGO, Syst'N, ...
- Variables d'intérêt :
  - forçage : flux d'intrants (application PP, fertilisation, ...)
  - concentrations rivières, nappes, stock sol, air
  - taux d'abattement, export
- Objets et échelles d'espace :+ AAC + zone tampon
- Echelles de temps : crue, saison culturale, année, pluri-annuel



ex. dispersion des pesticides

# Modélisation des processus décisionnels

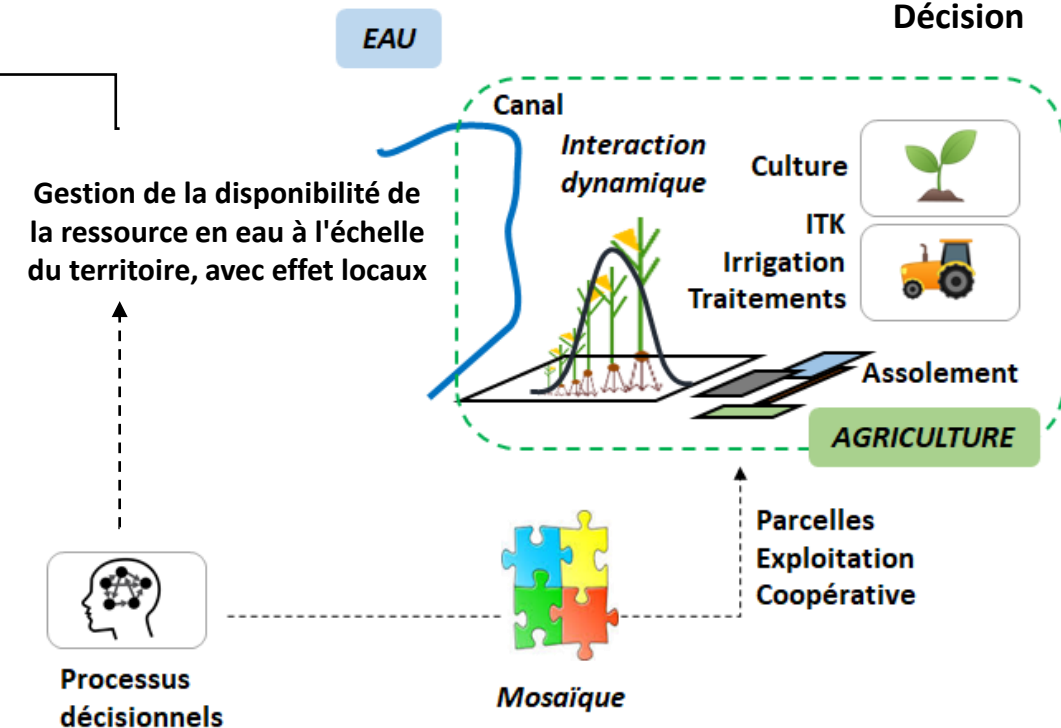
Avec N.Ferrand, B.Bonté, P.Garin, G.Abrami



Décision

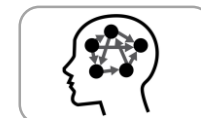
- Modélisation intégrée à l'échelle territoriale
- ✓ Scénarios, stats économiques, sensibilité des leviers de gestion
- ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
- ✓ Param. et variables agrégés vs. approches élaborées ("viabilité")
- ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique (ACB)

10 km — Gestion — 100 km



# Modélisation des processus décisionnels

Avec N.Ferrand, B.Bonté, P.Garin, G.Abrami



Décision

- Modélisation intégrée à l'échelle territoriale
  - ✓ Scénarios, stats économiques, sensibilité des leviers de gestion
  - ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
  - ✓ Param. et variables agrégés vs. approches élaborées ("viabilité")
  - ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique (ACB)

10 km — Gestion — 100 km
- Jeux de rôle
  - ✓ Qualitatif ou semi-quantitatif pour la physique
  - ✓ Meta-modèles pour faire émerger des règles de décision
  - ✓ Proposer des formes spécifiques d'apprentissage social

10 km — Gestion — 100 km

Ex

Dynamique des socio-écosystèmes : famille WAG

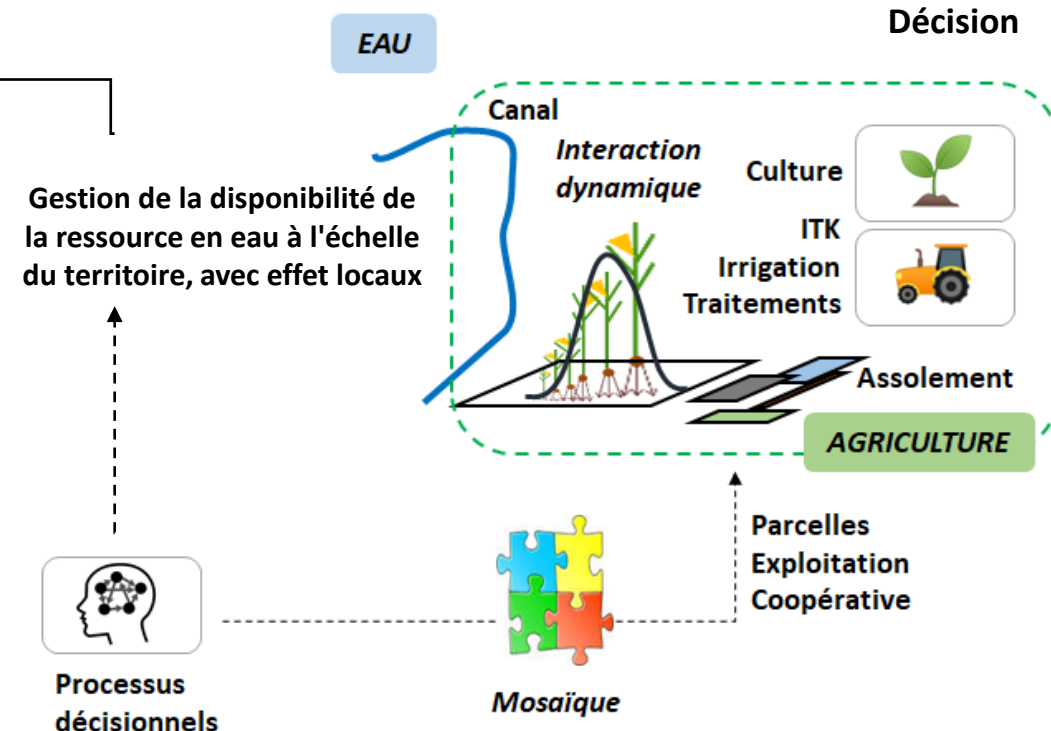
Processus décisionnels participatifs et futurs : RePar, PrePar

Stratégies territoriales intégratives : COOPLAN

ENTREES Etats initiaux (espace, activités, infrastructures, ressource)

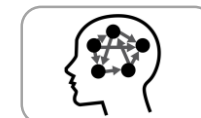
SORTIES Actions à réaliser, rôle des acteurs, impacts attendus

Indicateurs d'évolution (individuels, collectifs)



# Modélisation des processus décisionnels

Avec N.Ferrand, B.Bonté, P.Garin, G.Abrami



Décision

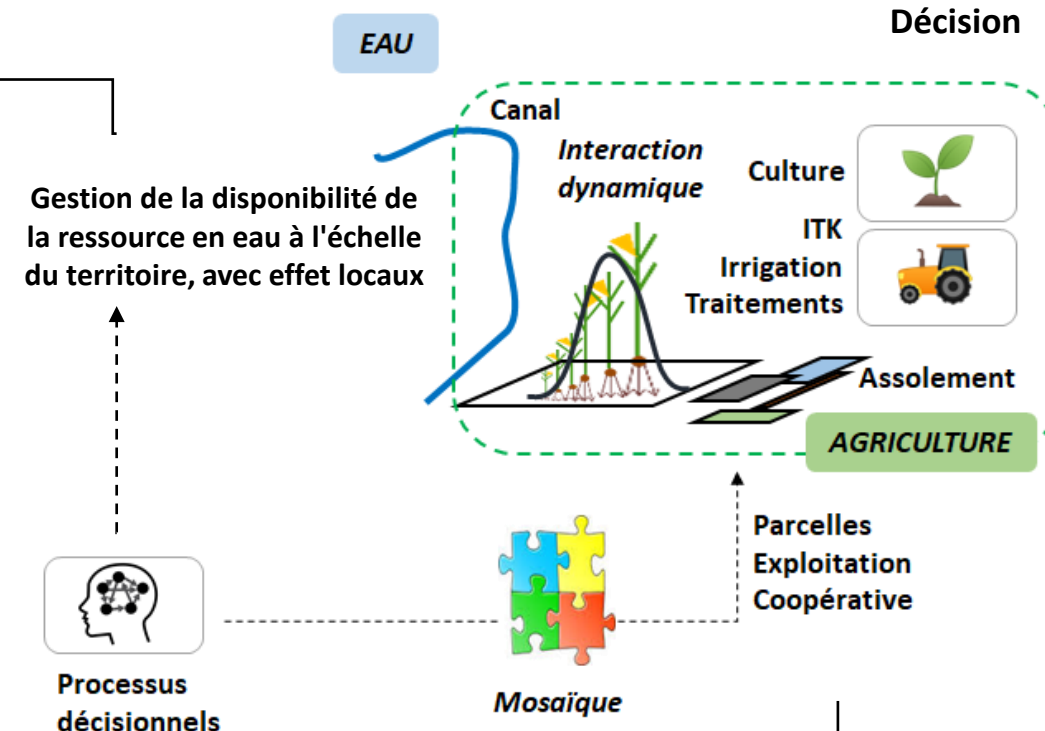
- Modélisation intégrée à l'échelle territoriale
  - ✓ Scénarios, stats économiques, sensibilité des leviers de gestion
  - ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
  - ✓ Param. et variables agrégés vs. approches élaborées ("viabilité")
  - ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique (ACB)

10 km — Gestion — 100 km
- Jeux de rôle
  - ✓ Qualitatif ou semi-quantitatif pour la physique
  - ✓ Meta-modèles pour faire émerger des règles de décision
  - ✓ Proposer des formes spécifiques d'apprentissage social

10 km — Gestion — 100 km

Ex  
 Dynamique des socio-écosystèmes : famille WAG  
 Processus décisionnels participatifs et futurs : RePar, PrePar  
 Stratégies territoriales intégratives : COOPLAN

ENTREES Etats initiaux (espace, activités, infrastructures, ressource)  
 SORTIES Actions à réaliser, rôle des acteurs, impacts attendus  
 Indicateurs d'évolution (individuels, collectifs)



- Simulation multi-agents
  - ✓ Physique simplifiée, quantitative, codes info.
  - ✓ Règles de décision dans un ensemble prédéfini
  - ✓ Couplage possible avec modèles Eaux ou Végétation

10 m — Contrôle, Optim. — 10 km

Ex CASCIMOD'N, VERDI, CRASH, DHIVINE



# MIPP

Marc Voltz

# SIMCRAU

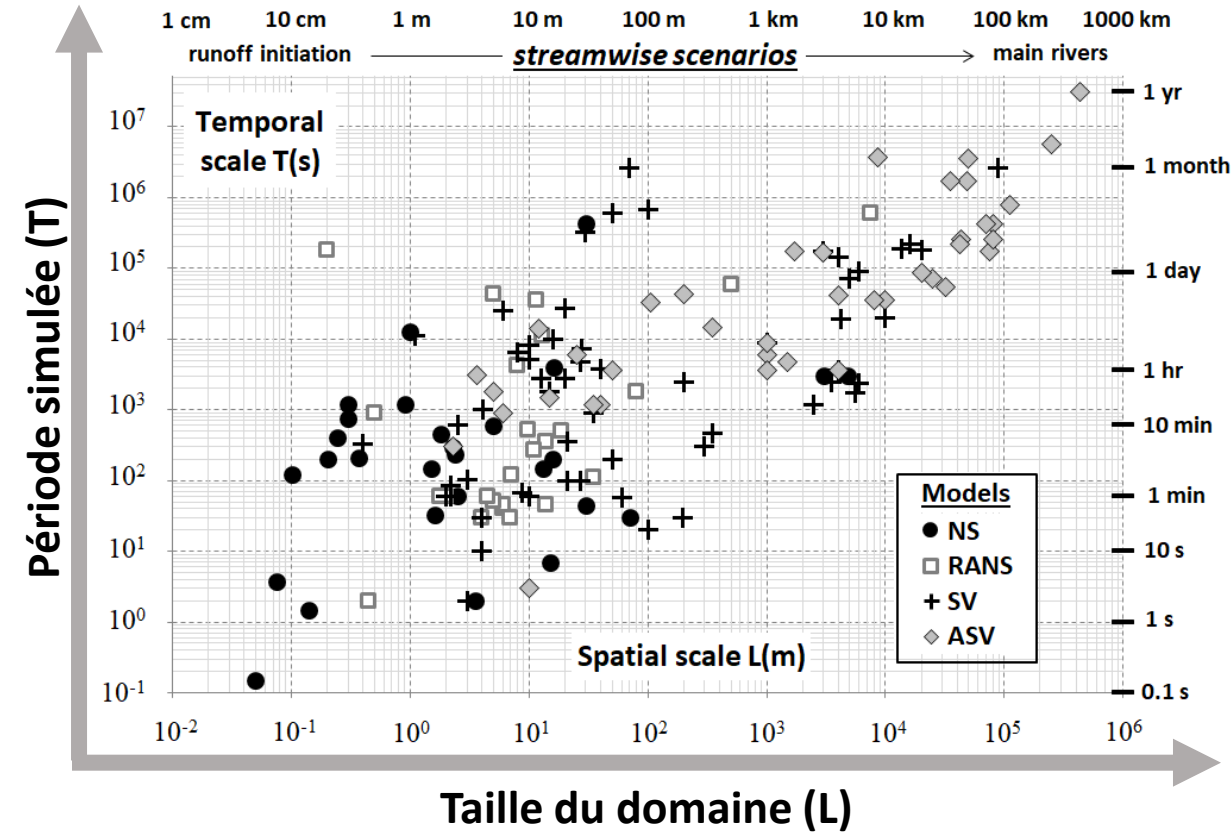
André Chanzy

# Multi-agents

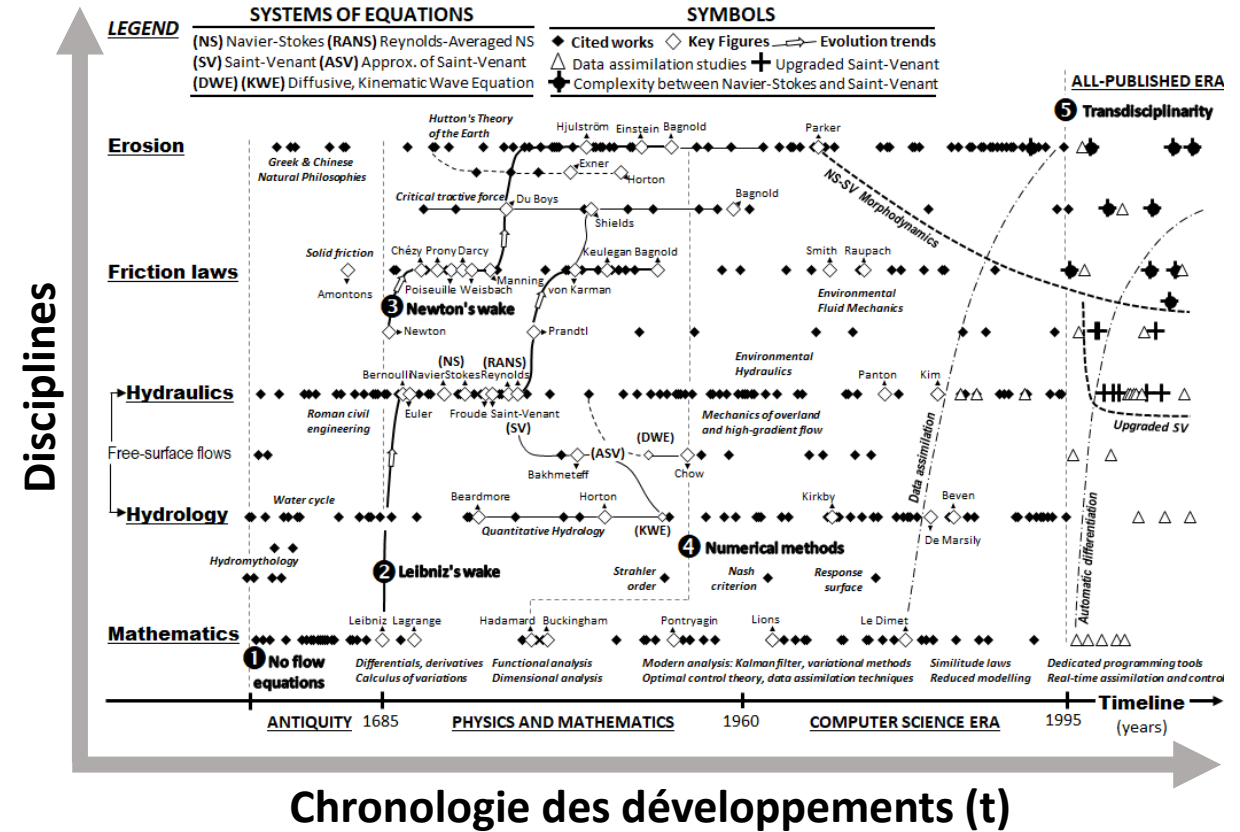
Olivier Barreteau

# Position des modèles dans des diagrammes espace-temps chronologie-disciplines

- Adapter Cheviron & Moussa (HESS 2016, EGU 2018)



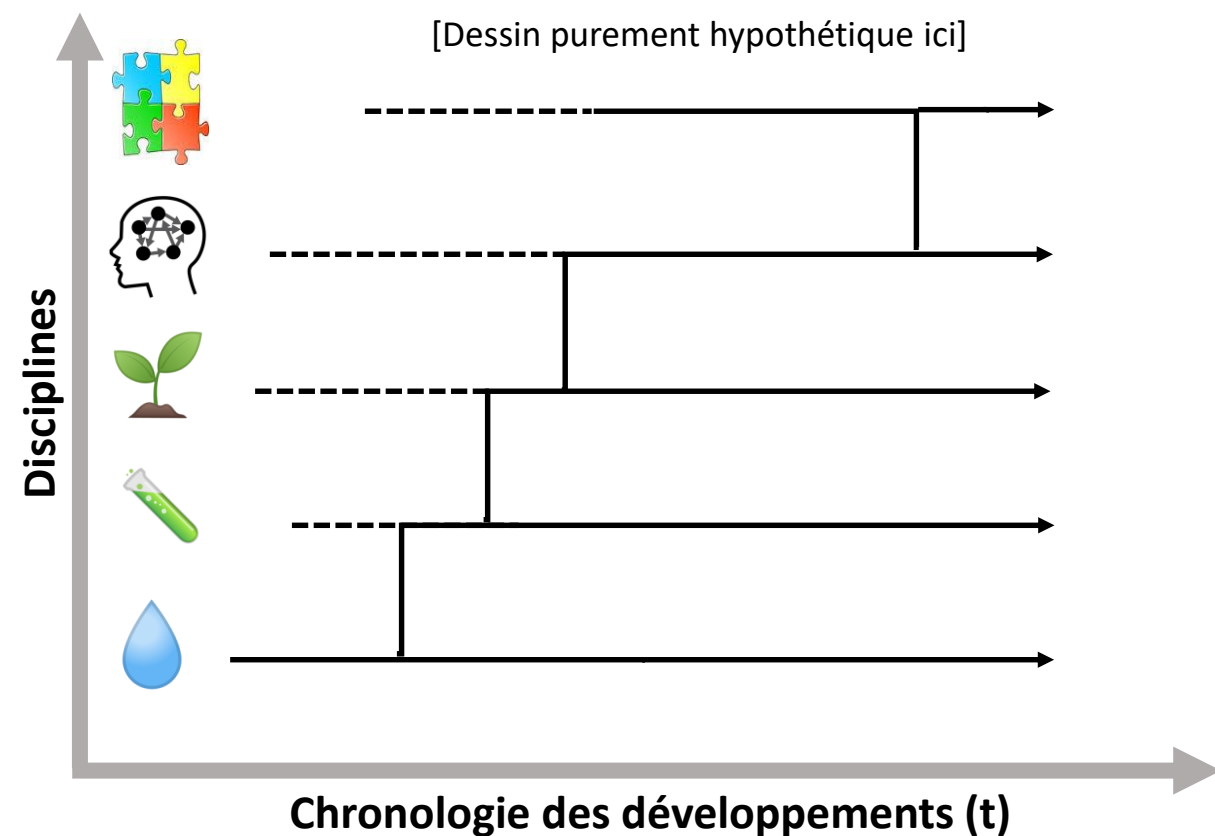
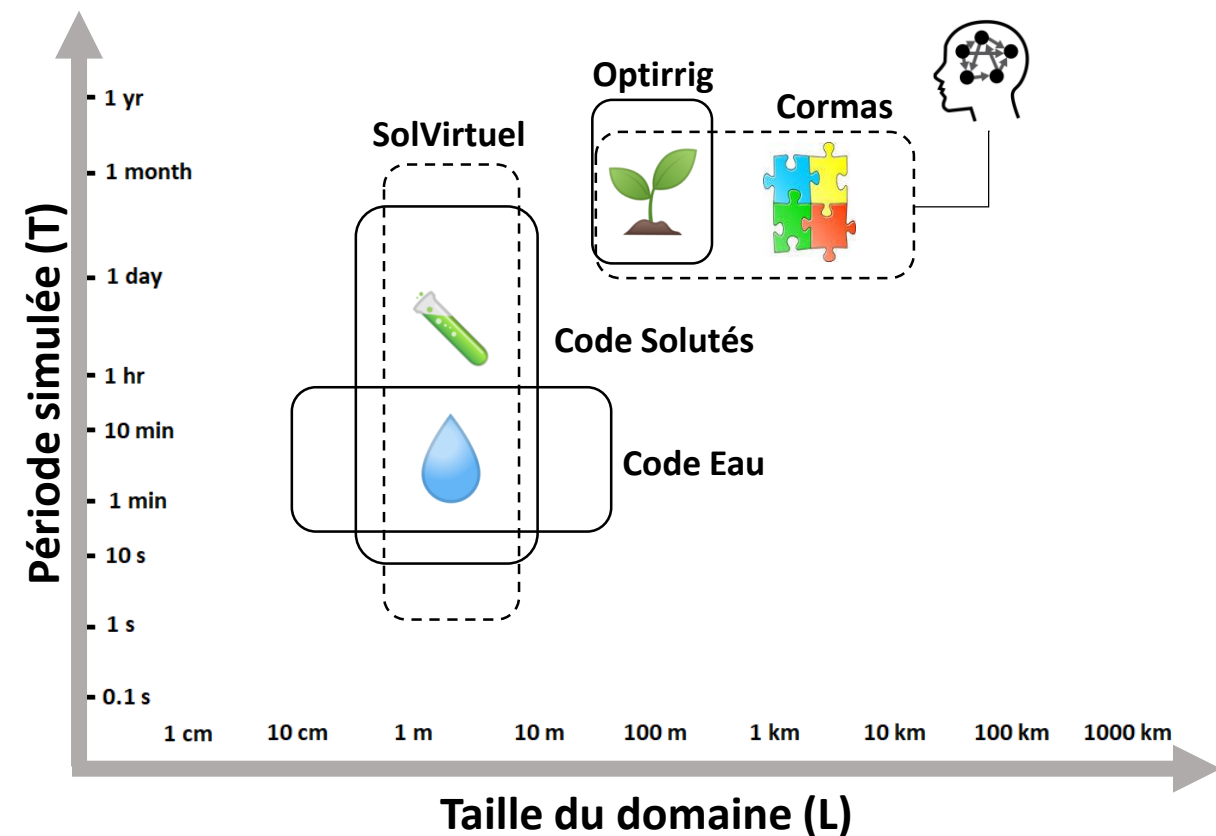
- ✓ Cas d'étude en Hydrologie, Hydraulique et Erosion
- ✓ Lien entre échelles et complexité des modèles



- ✓ Dév. Maths, Hydrologie, Hydraulique, Erosion
- ✓ Filiations entre modèles et ponts entre disciplines

# Position des modèles dans les diagrammes espace-temps chronologie-disciplines

- Adaptations proposées



- ✓ Enquête à venir auprès des unités
- ✓ Vue d'ensemble, carto. modèles et plateformes dans (L,T)
- ✓ Proximité des échelles et compatibilité des approches

- ✓ Historique des modèles et des plateformes
- ✓ Filiations entre modèles et ponts entre disciplines

# Directions de développement pour notre banque de modèles

- Principales évolutions en cours

- ✓ Vers des modèles intégrés, dans des plateformes : pluri-thématiques, pluri-échelles et multi-objets
  - Résolution des problèmes techniques de couplage ?
  - Paramétrisations et validations spécifiques pour les couplages ?
  - Recours aux données des observatoires et aux bases de données ?
- ✓ Vers des outils opérationnels, reposant sur des indicateurs, avec des visées OAD

- Sollicitations pour de la prospection

- ✓ Innovations agronomiques
- ✓ Infrastructures agro-écologiques
- ✓ Innovations socio-économiques
- ✓ Mosaïques paysagères
- ✓ Gestion territoriale

*Suppose une maîtrise sur le plan cognitif*

# Spécificités et convergence des modélisations

EA

"[...] démarche générique de modélisation du **système sol/plante/atmosphère** et des **agrosystèmes** [...]

Besoin de développement de concepts, démarches et **outils de diagnostic de l'état des ressources et de leur évolution** [...] à des échelles adaptées pour le pilotage des **compromis** entre **services** rendus par les **agroécosystèmes** et la durabilité des **ressources** [...]

produire des modèles simulant les évolutions des **flux CNP** à différentes échelles spatio-temporelles, de la parcelle à la planète."

SAD

"[...] référence aux cadres d'analyse et de **modélisation systémique**, nécessaire compte-tenu des systèmes étudiés qui combinent des **dimensions humaines, sociales, techniques, technologiques et écologiques**, et de l'attention portée aux processus **dynamiques** en jeu [...]"

Eaux

"[...] modélisation du fonctionnement des **hydro-écosystèmes** aux échelles de temps et d'espace (i) des **processus biophysiques**,  
(ii) des démarches **intégratives** tournées vers l'action,  
(iii) de **gouvernance et de gestion**, avec accompagnement des transitions sociotechniques [...]"