

Session 3

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

Cécile Dagès¹, Bruno Cheviron²

¹ INRA Montpellier, UMR LISAH

² 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

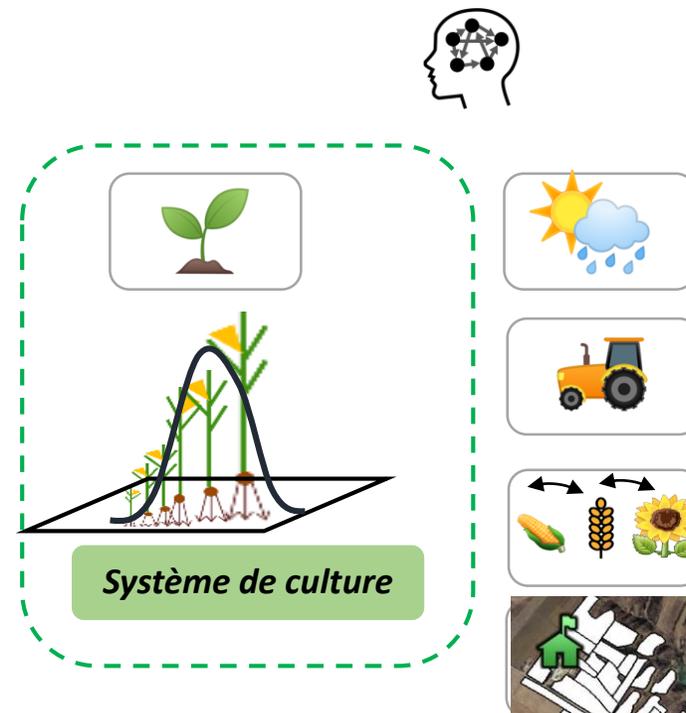
- Constats et problématique
 - ✓ “ Développement de plusieurs formes d'agricultures en réponse aux problèmes posés, sans être en mesure encore aujourd'hui de les évaluer dans les différentes dimensions attendues”
 - ✓ Comment concevoir une gestion durable des ressources en eau dans le paradigme de la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

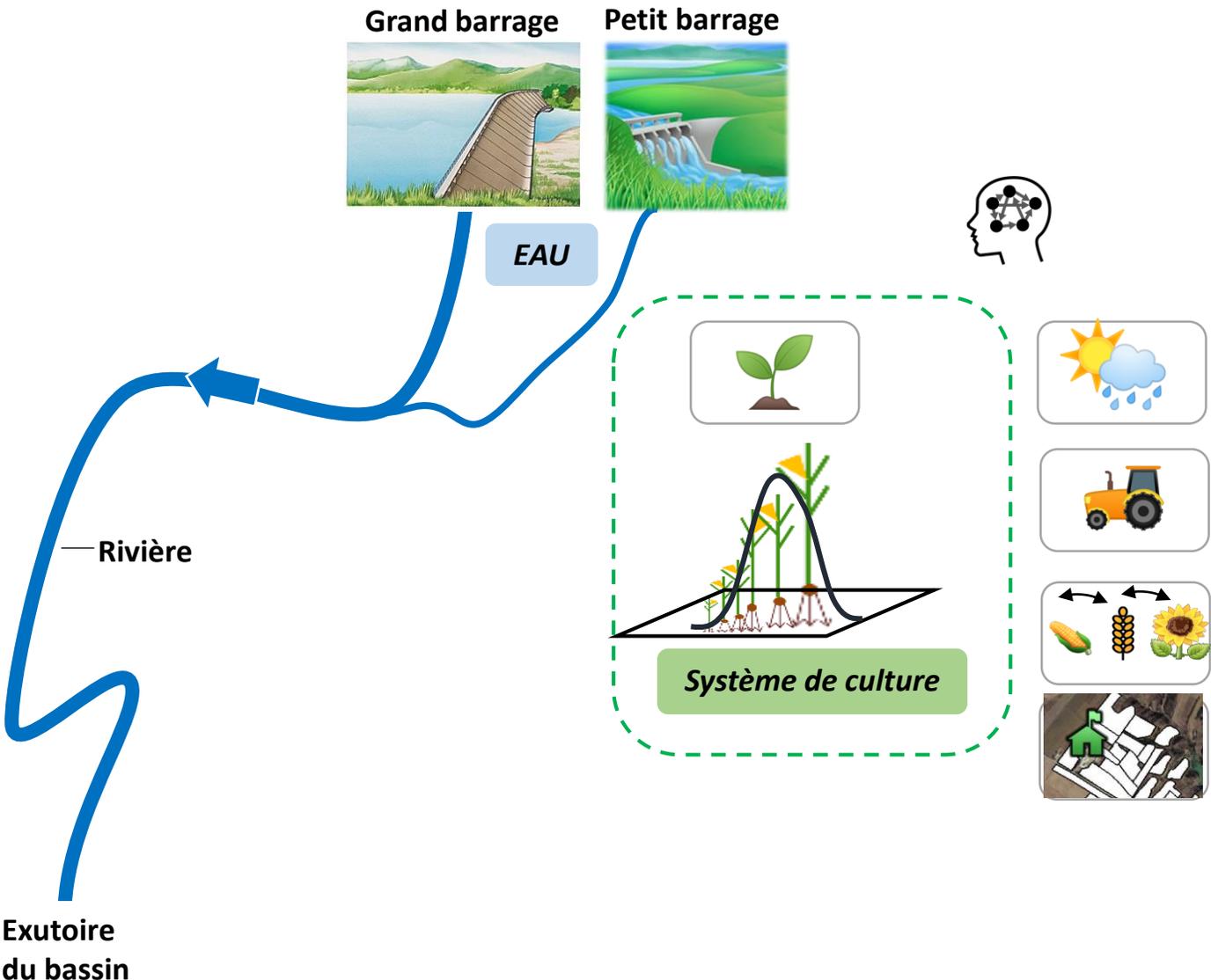
Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia



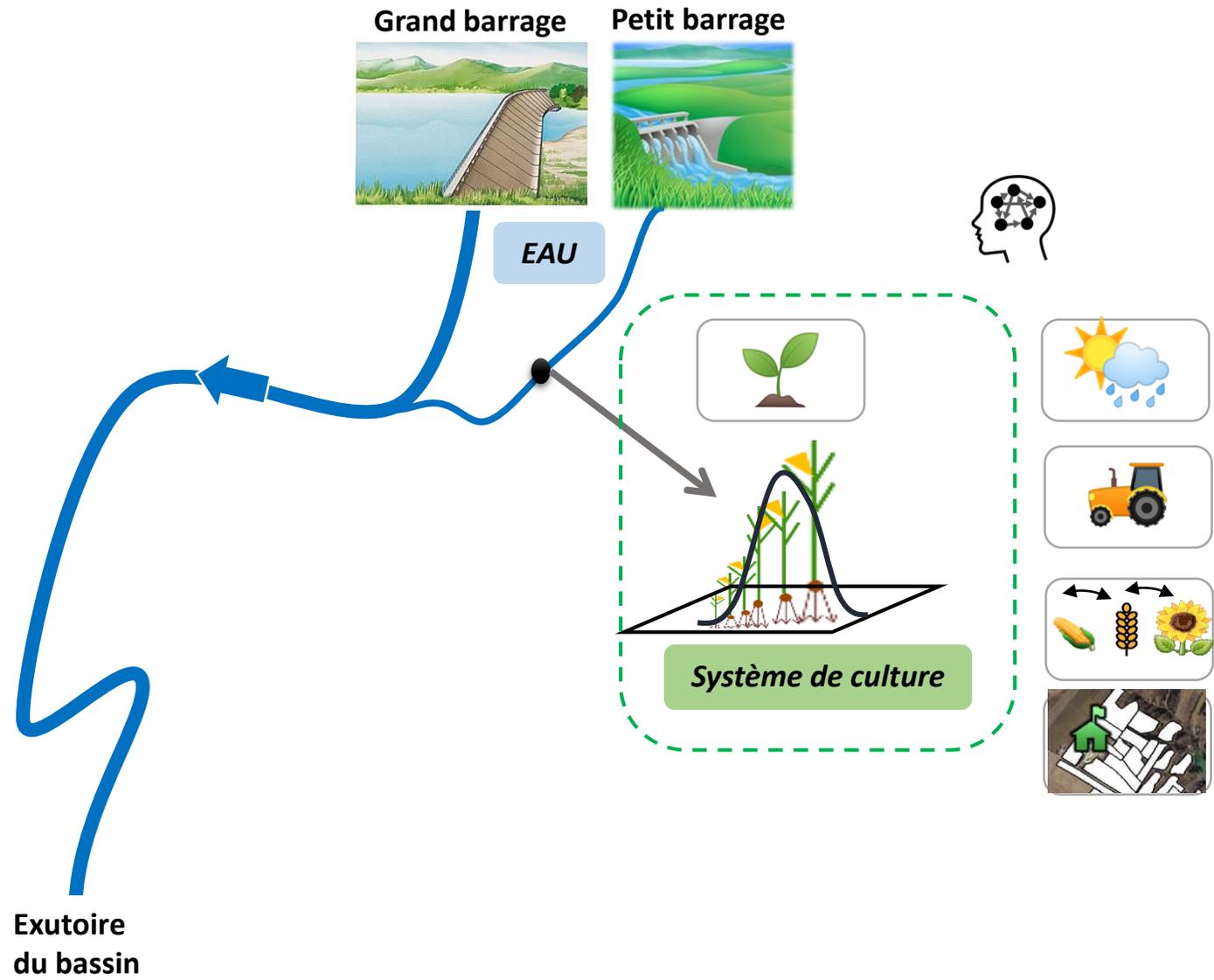
Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia



Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

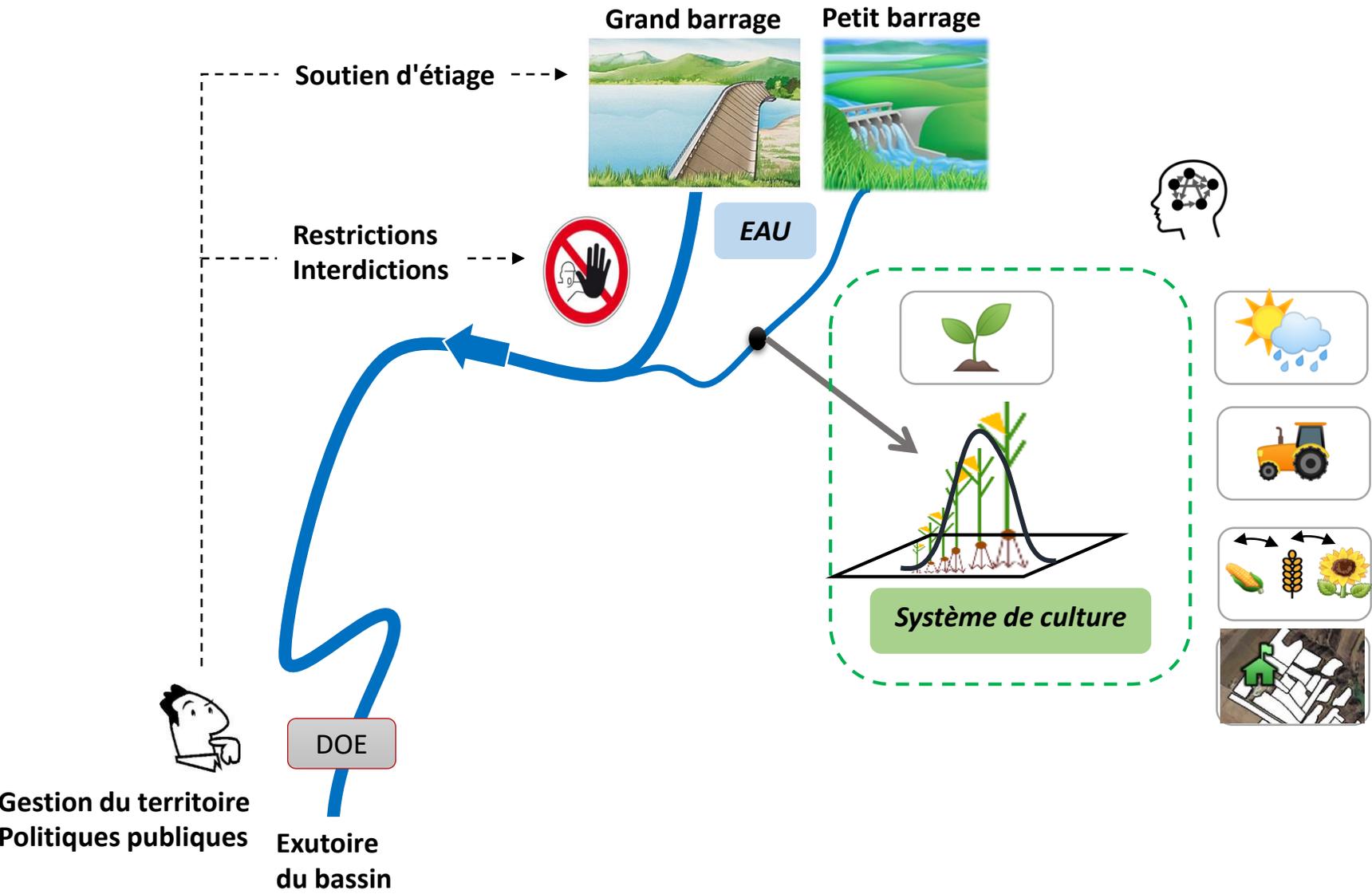
- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia





Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

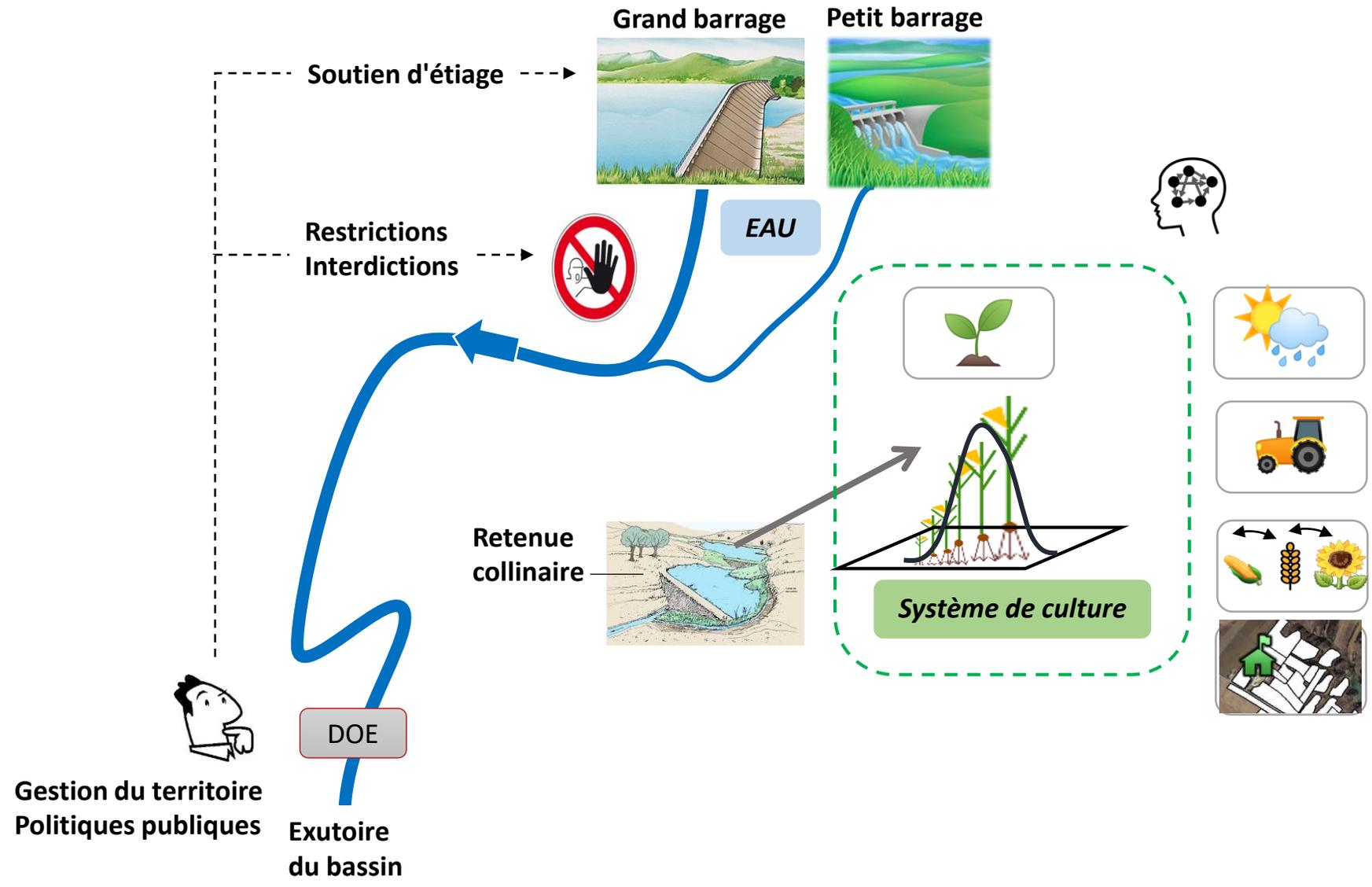
- adapté de Murgue, 2015 - avec Maelia





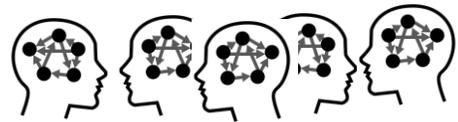
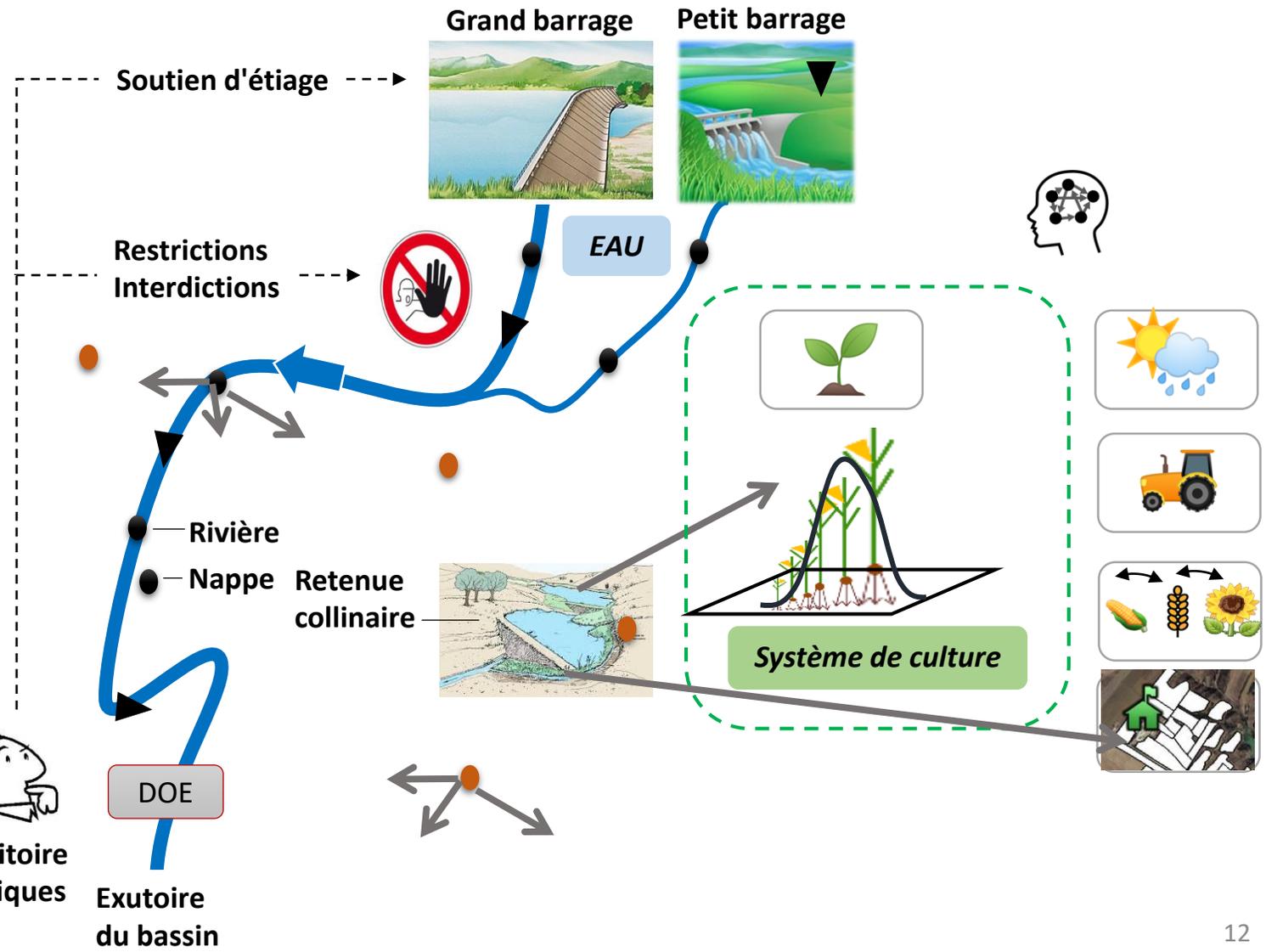
Ex. de gestion quantitative dans un BV agricole avec retenues

- 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

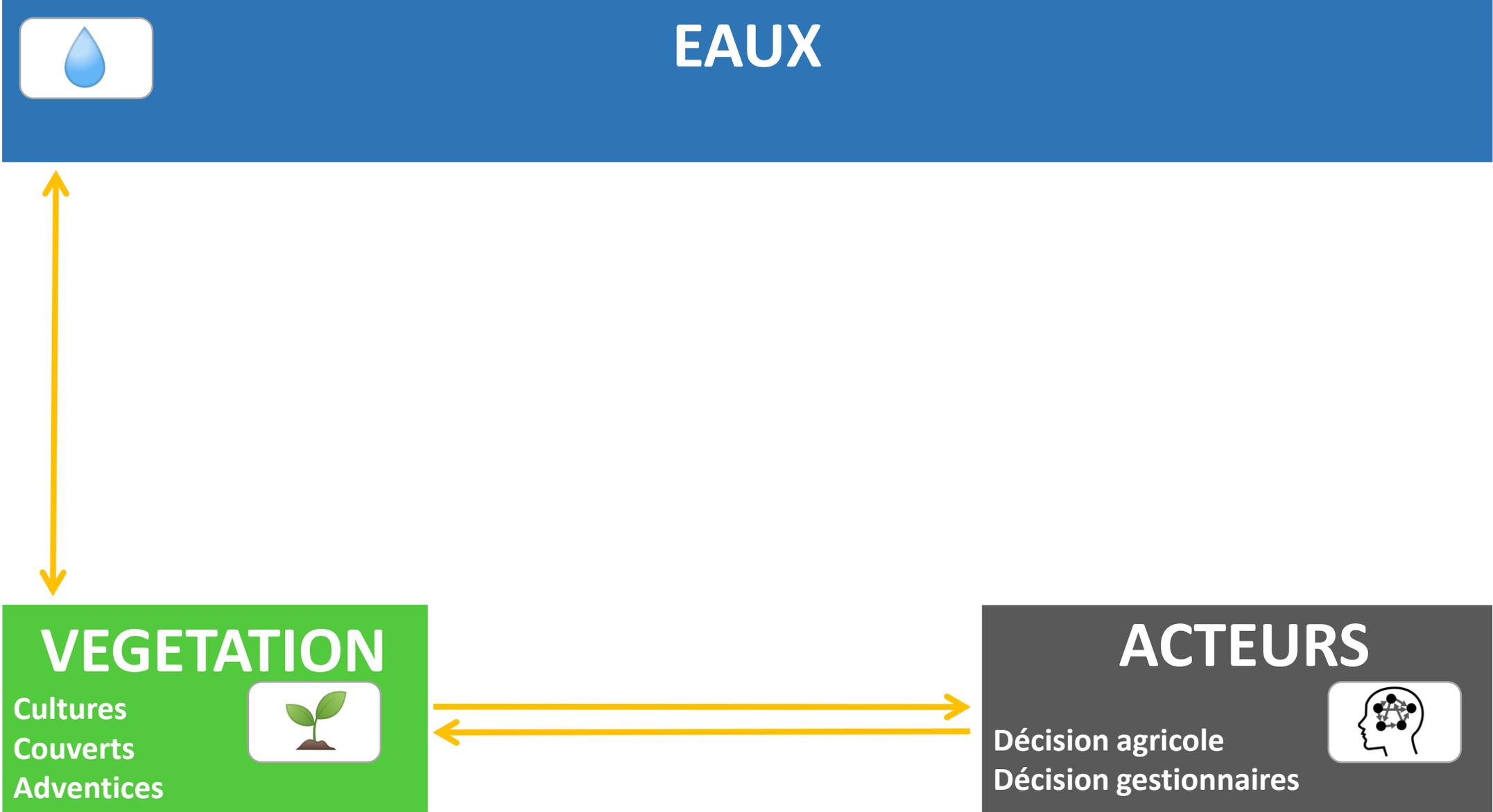


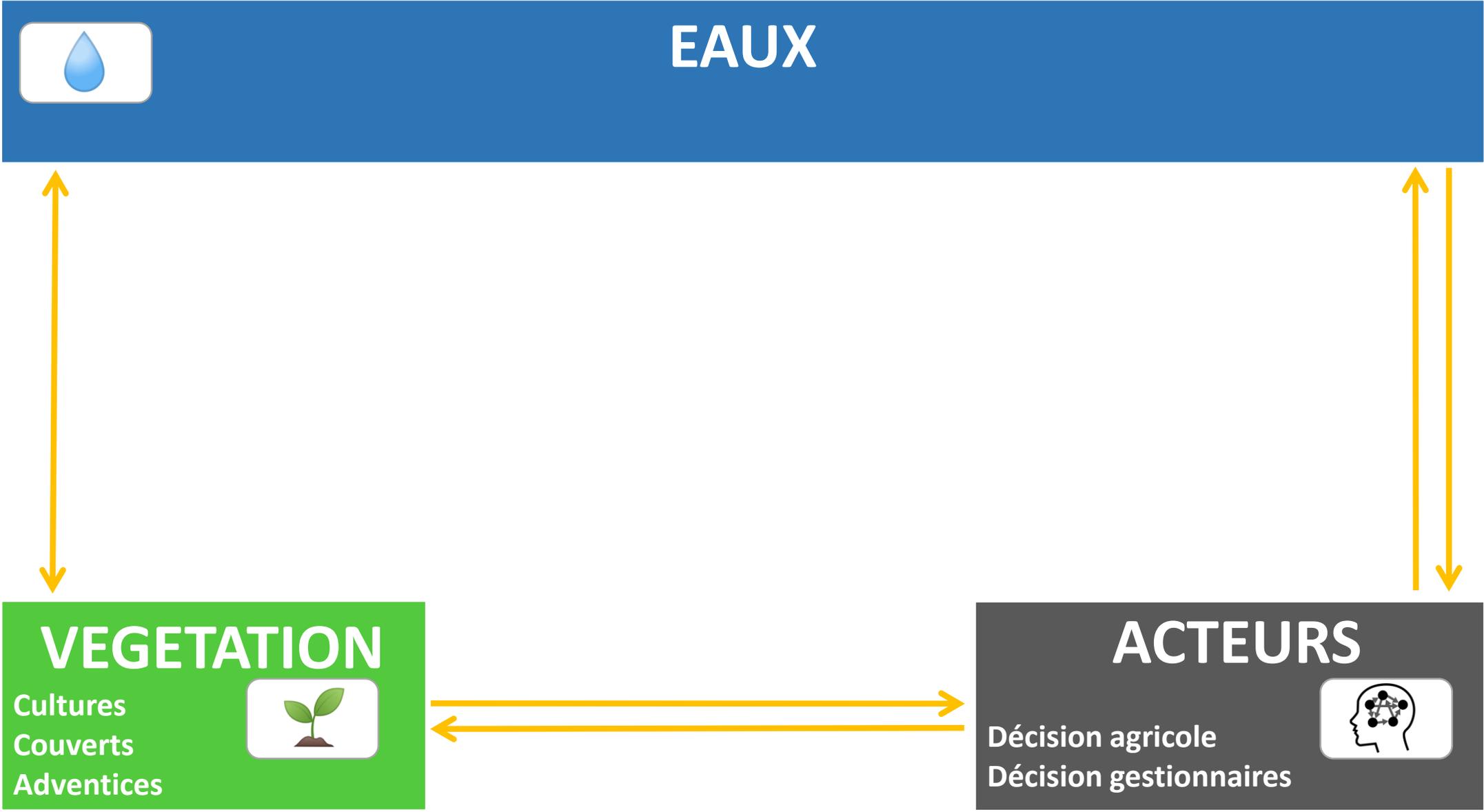
ACTEURS

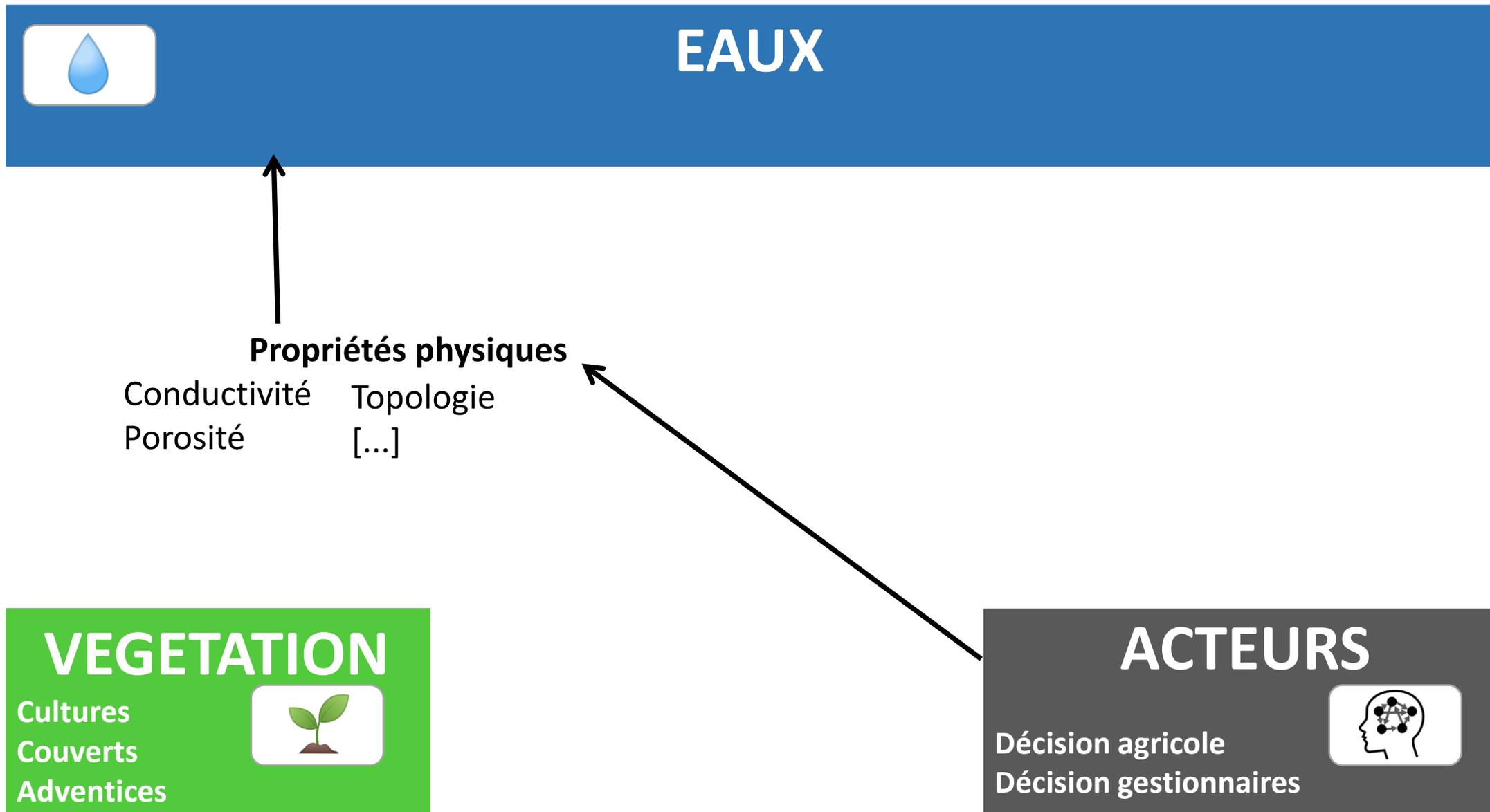
Décision agricole
Décision gestionnaires

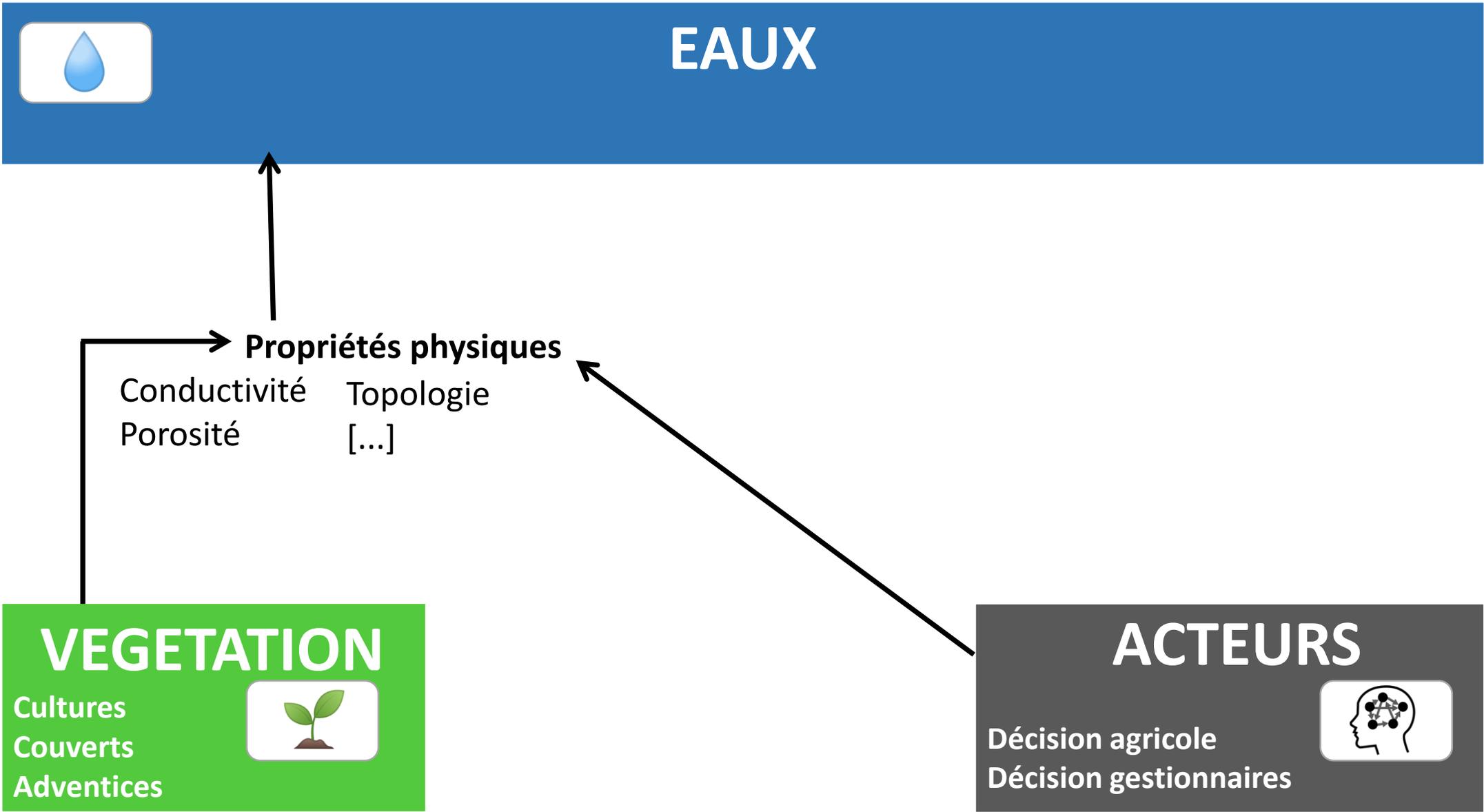












EAUX



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



A green rectangular box with a white border. It contains the word 'VEGETATION' in large white letters, followed by the terms 'Cultures', 'Couverts', and 'Adventices' in smaller white text. At the bottom right is a white icon of a green plant growing from a brown pot.

ACTEURS

Décision agricole
Décision gestionnaires



A dark grey rectangular box with a white border. It contains the word 'ACTEURS' in large white letters, followed by the terms 'Décision agricole' and 'Décision gestionnaires' in smaller white text. At the bottom right is a white icon of a human head profile with a network of nodes and lines inside, representing a brain or decision-making process.



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

Mosaïques
Occupation du sol
Infrastructures
Milieux intersiticiels

VEGETATION

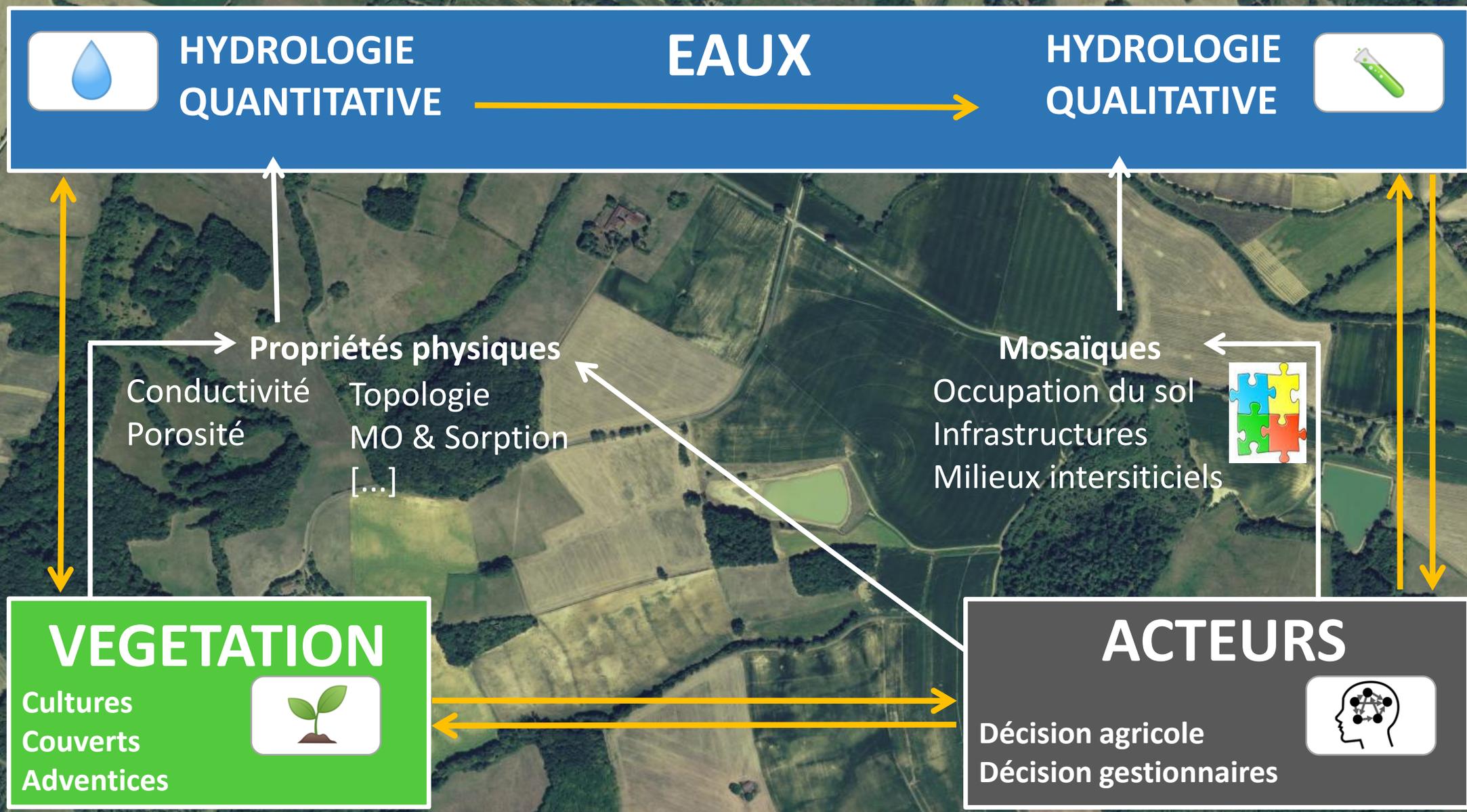
Cultures
Couverts
Adventices



ACTEURS

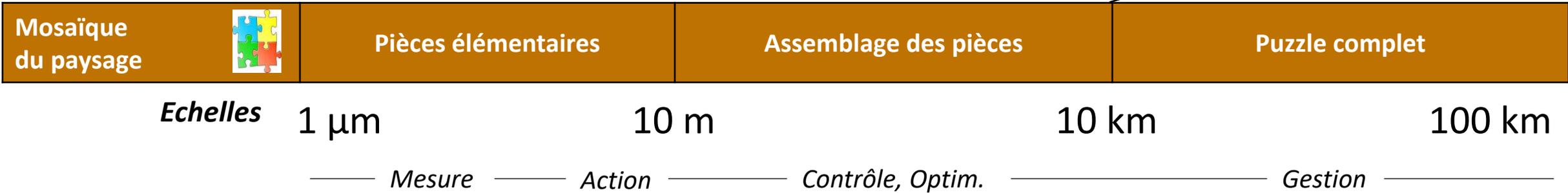
Décision agricole
Décision gestionnaires





Echelles, types de modélisation et processus

≠ Propriétés émergentes
≠ Paramètres sensibles



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



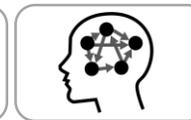
Climat local



ITK, Irrigation



Culture



Décision

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

- Modèle scientifique

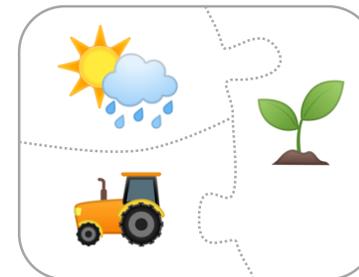
- ✓ Représentation simplifiée d'un phénomène ou d'une structure, souvent à base mathématique
- ✓ Exprimé sous la forme d'un code de calcul informatique



- 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)

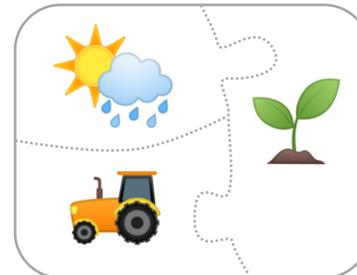


Plateformes de modélisation vs. coupleurs de modèles

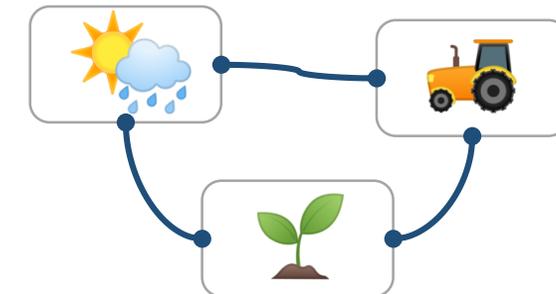
- Plateforme de modélisation *d'après Fabre JC, 2019*
 - ✓ Environnement logiciel de développement, de couplage, de capitalisation et de partage de modèles, permettant l'exécution de simulations
 - ✓ Favorise le pluridisciplinaire et l'interopérabilité (communication entre plusieurs systèmes, appareils ou éléments informatiques)
 - ✓ Peut porter un paradigme thématique et/ou de modélisation (ex: focus sur les graphes de connectivité, les aspects multi-agents, les événements 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.

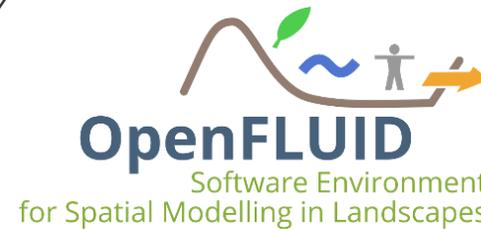
<https://www6.inra.fr/vsoil/>



Systèmes de culture et
représentation des
décision agronomique.

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



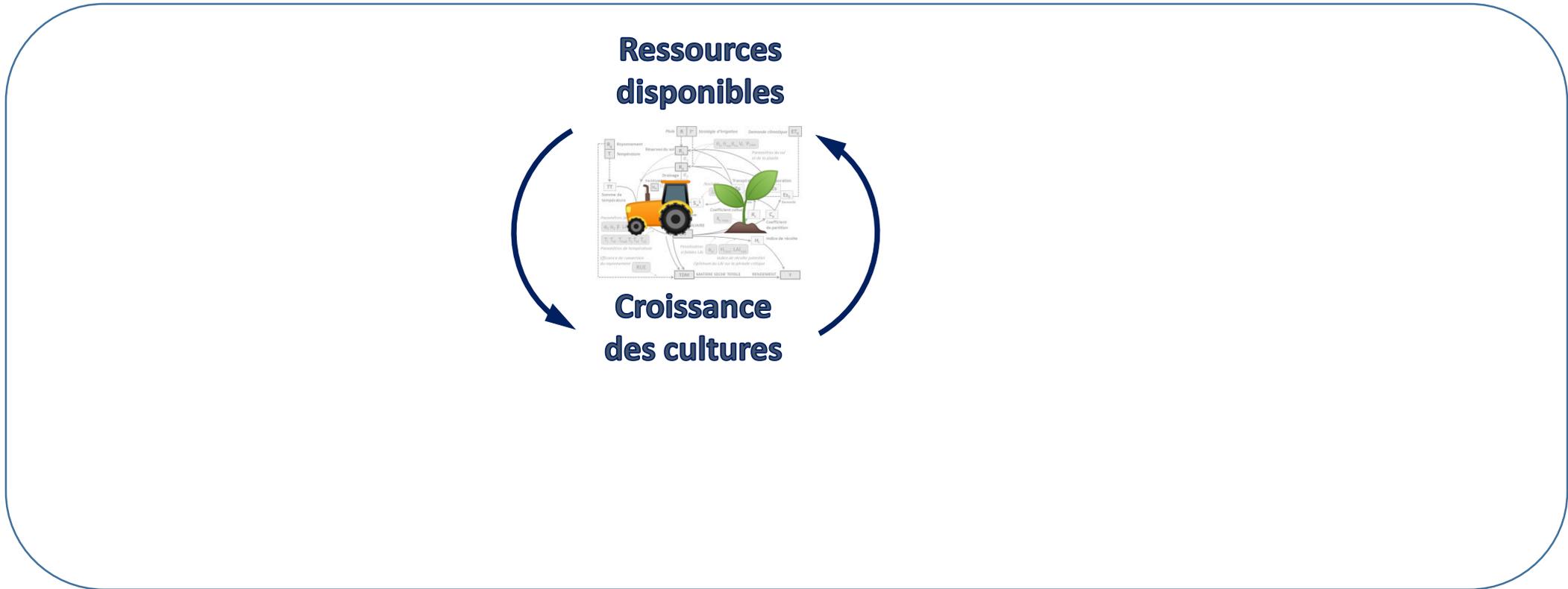
Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation



Culture



Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation

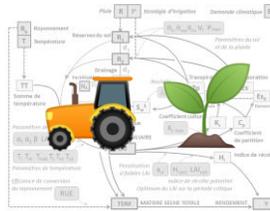


Culture

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

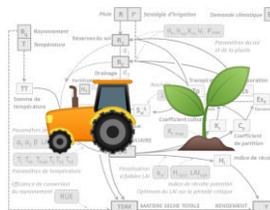
CONTRÔLES ANTHROPIQUES **Décisions de gestion du site**

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

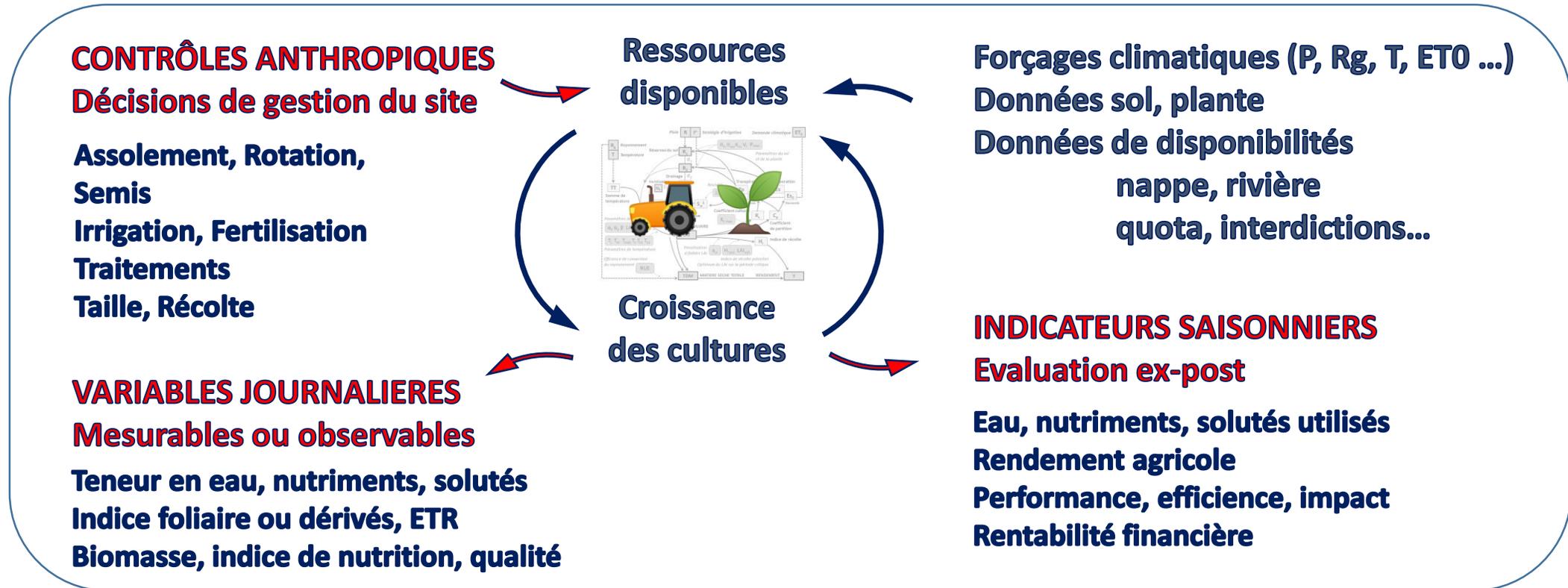


Culture

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

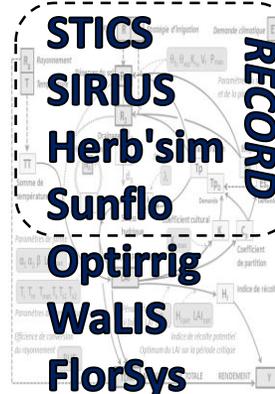
SIMSERV (sélection plantes)
AZOFERT (prescription Azote)
+
Modèles décisionnels
(Multi-agents)



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

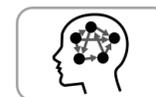


INDICATEURS SAISONNIERS Evaluation ex-post

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

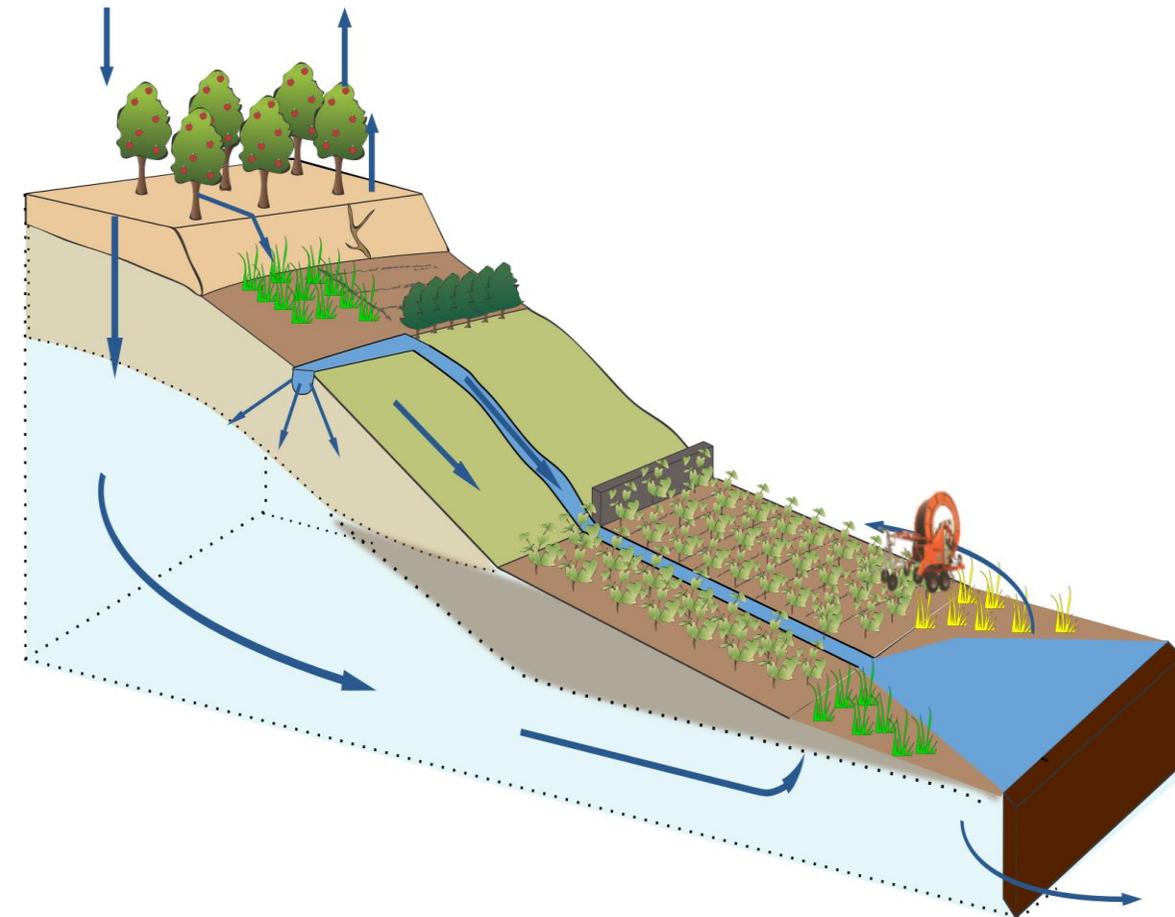
Modélisation quantitative et qualitative de la ressource en eau



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



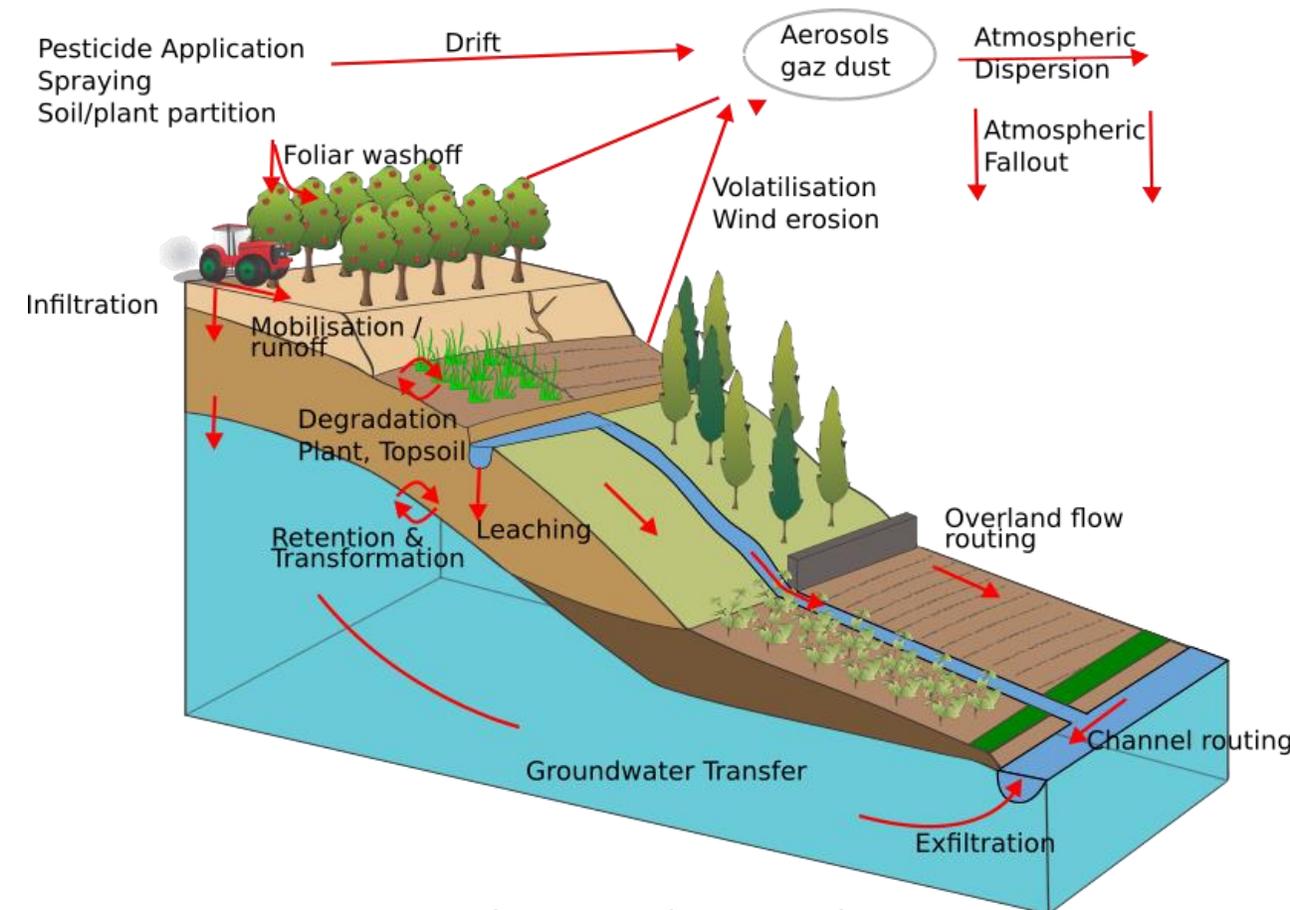
Modélisation quantitative et qualitative de la ressource en eau



Qualité

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

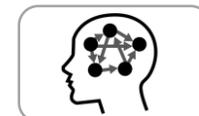
- Les intrants : nutriments, pesticides organiques, ETM, virus, produits vétérinaires
- Diversités des modèles : à base physique // indicateurs
 - BV : TNT2, Nutting (P-N), CASIMOD'N, MHYDAS-Pesticides, PeshMelba, MIPP
 - Sol: Pastis + MulchPesticides, Watsfar
 - Rivières : ADIS-TS
 - Infrastructures : 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

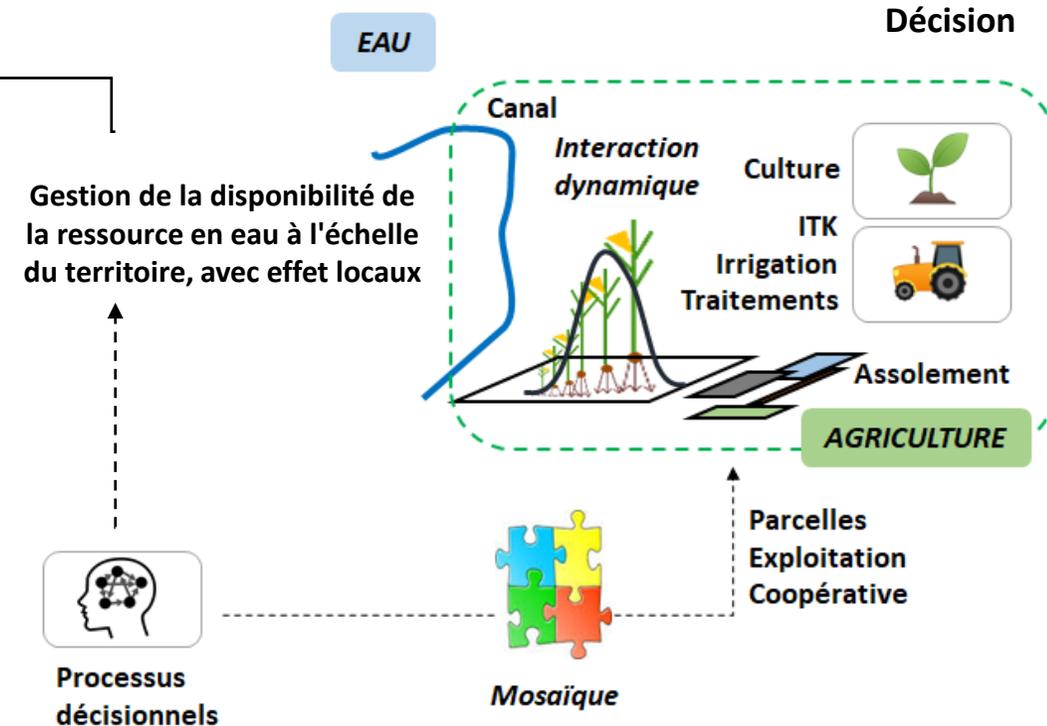
Avec N.Ferrand, B.Bonté, P.Garin, G.Abrami



Décision

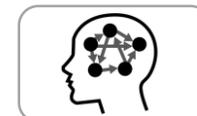
- Modélisation intégrée à l'échelle territoriale
- ✓ Scénarios, stats économiques, sensibilité des leviers de gestion
- ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
- ✓ Param. et variables agrégés vs. approches élaborées ("viabilité")
- ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique (ACB)

10 km — Gestion — 100 km



Modélisation des processus décisionnels

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

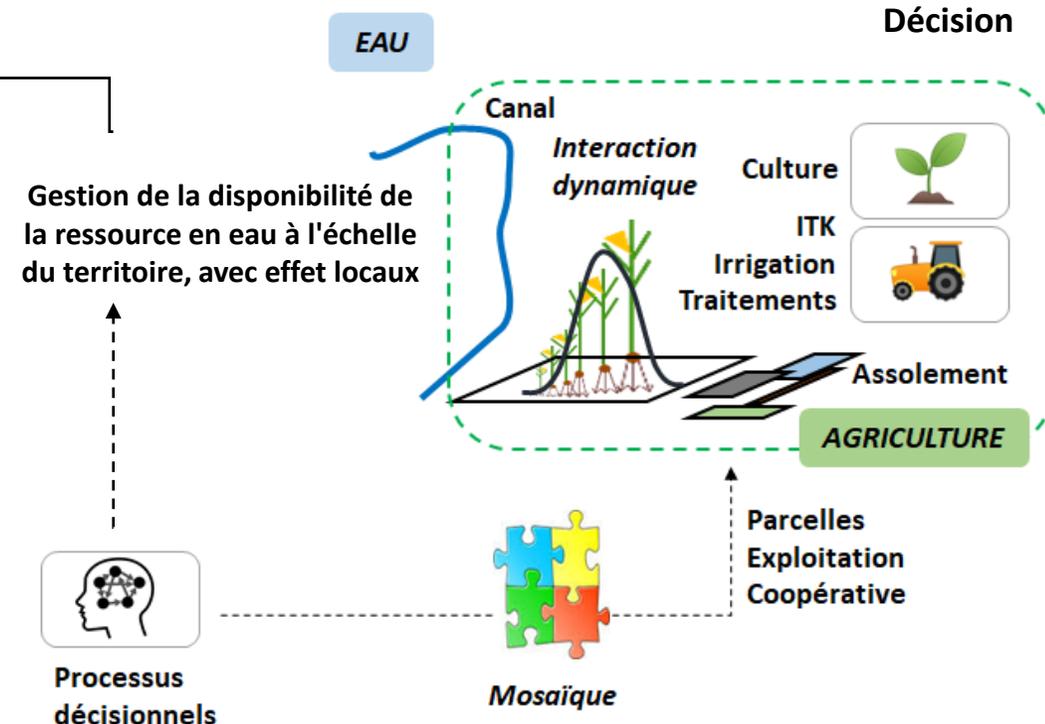


Décision

- 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

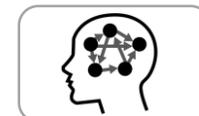
ENTREES Etats initiaux (espace, activités, infrastructures, ressource)

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

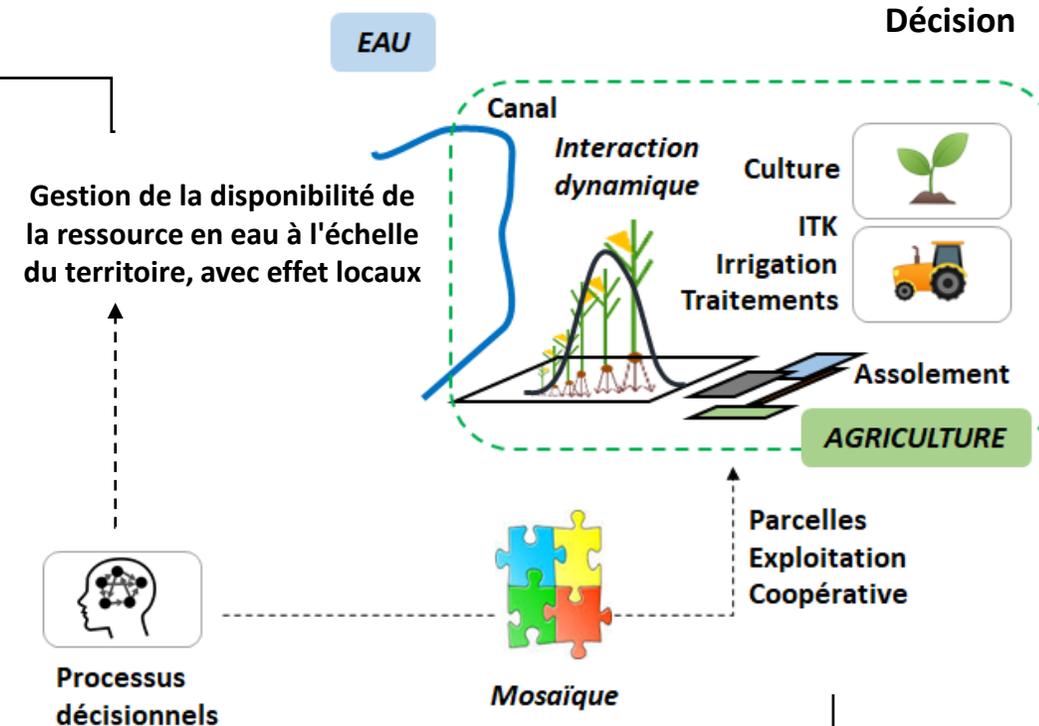
- Modélisation intégrée à l'échelle territoriale
 - ✓ Scénarios, stats économiques, sensibilité des leviers de gestion
 - ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
 - ✓ Param. et variables agrégés vs. approches élaborées ("viabilité")
 - ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique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

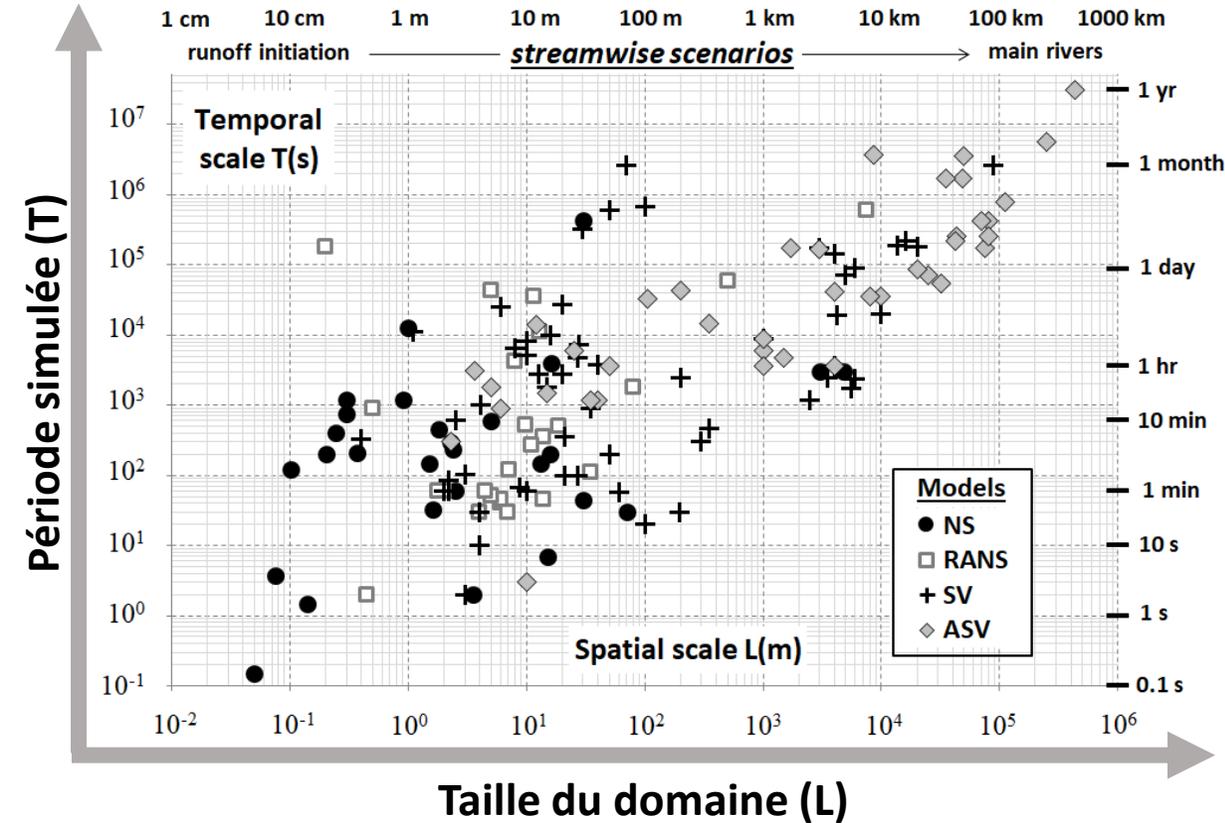
André Chanzy

Multi-agents

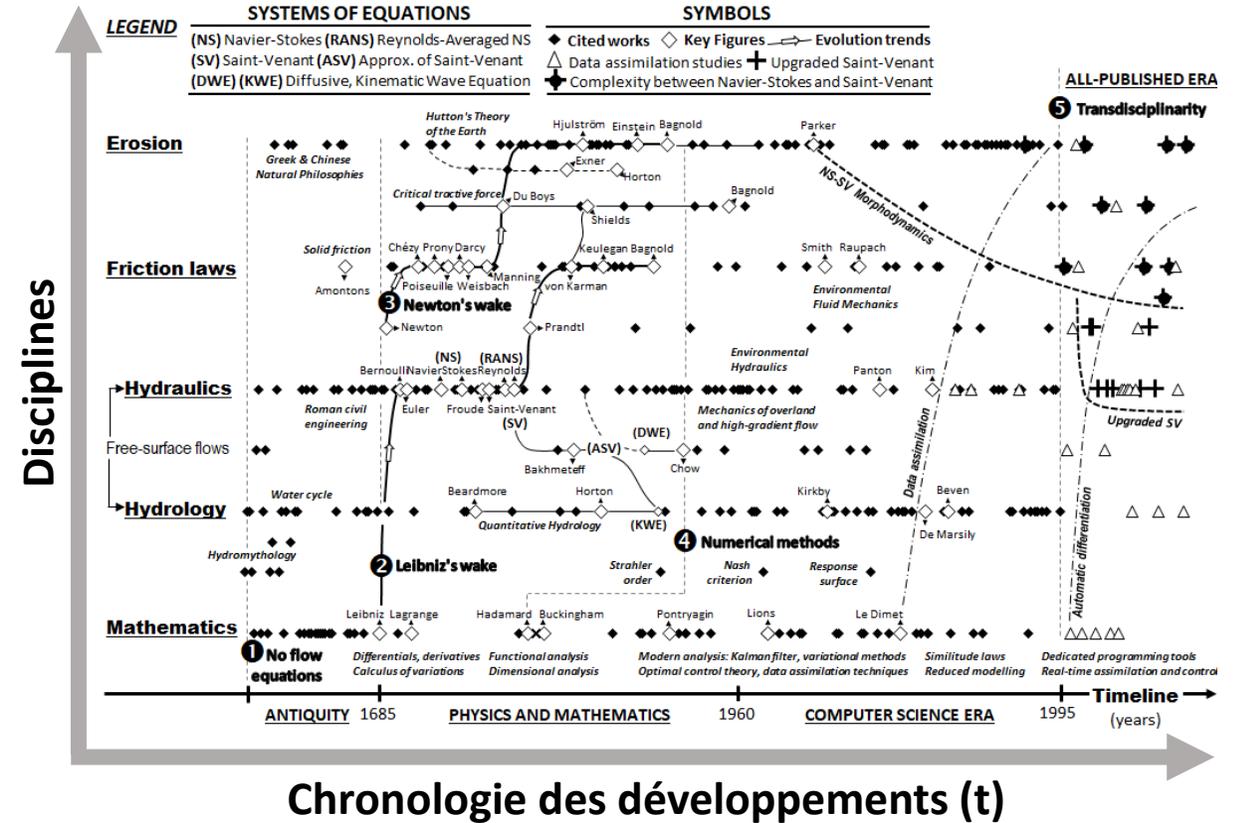
Olivier Barreteau

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

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



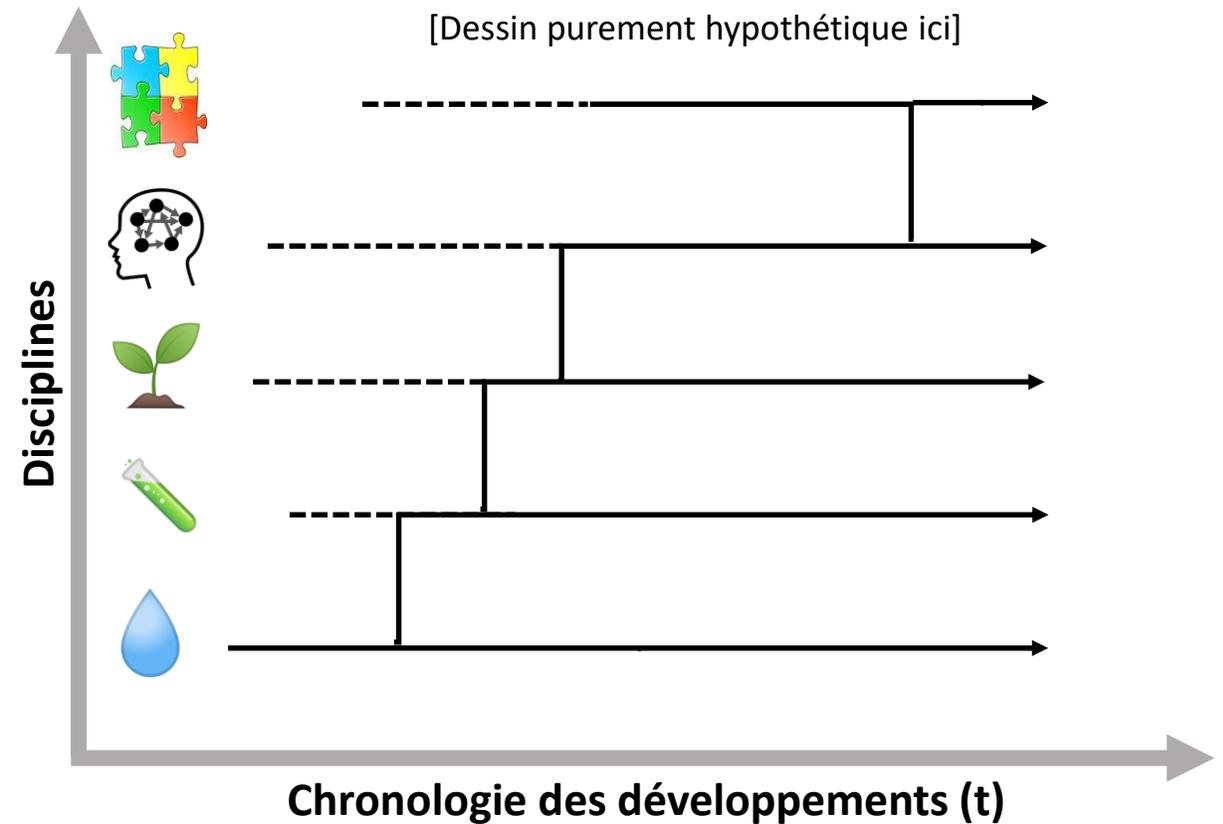
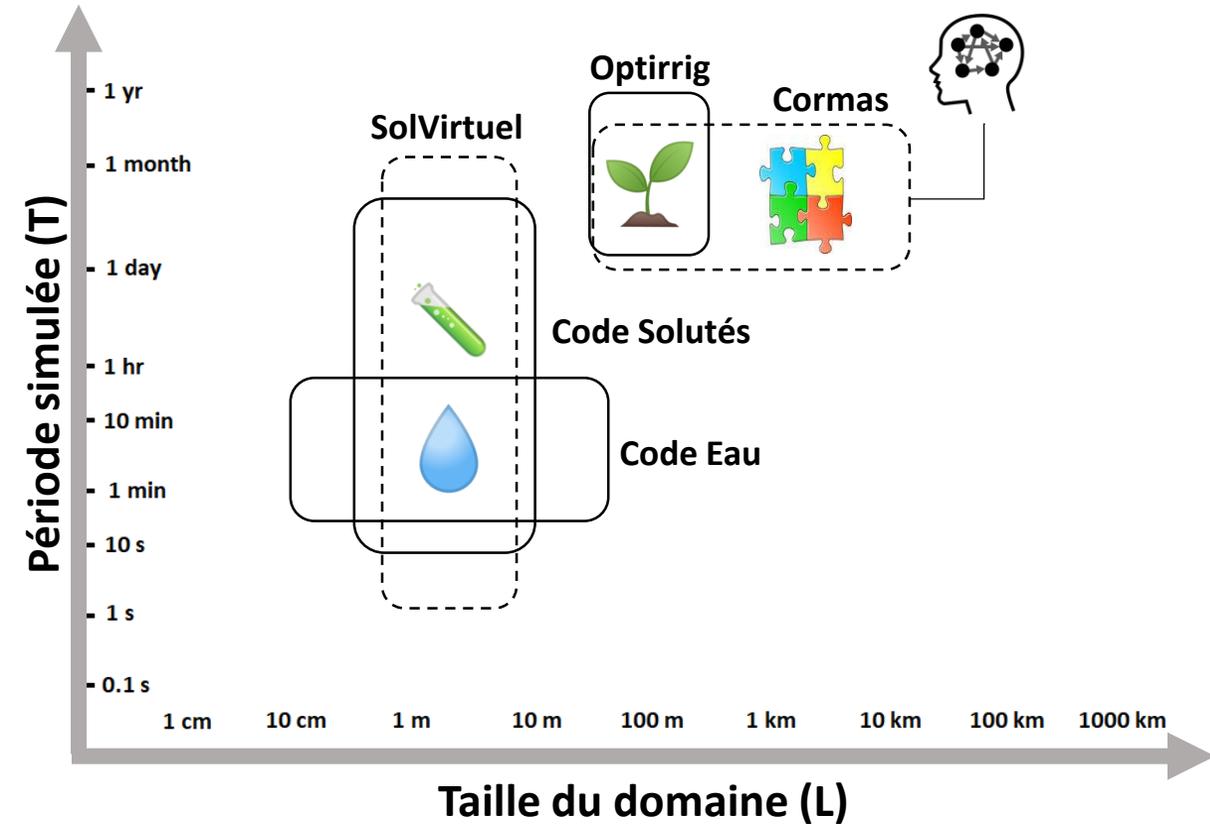
- ✓ Cas d'étude en Hydrologie, Hydraulique et Erosion
- ✓ Lien entre échelles et complexité des modèles



- ✓ 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 [...]"