

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 et méthode du recensement des informations

- Objectifs
 - ✓ Adéquation des outils de modélisation aux enjeux généraux "Eau & Agriculture"
 - ✓ Exhaustivité non recherchée dans un premier temps
 - ✓ Objectifs méthodologiques : regard analytique, grille de lecture, choix de représentation

Objectifs et méthode du recensement des informations

- Objectifs
 - ✓ Adéquation des outils de modélisation aux enjeux généraux "Eau & Agriculture"
 - ✓ Exhaustivité non recherchée dans un premier temps
 - ✓ Objectifs méthodologiques : regard analytique, grille de lecture, choix de représentation

- 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

Objectifs et méthode du recensement des informations

- Objectifs
 - ✓ Adéquation des outils de modélisation aux enjeux généraux "Eau & Agriculture"
 - ✓ Exhaustivité non recherchée dans un premier temps
 - ✓ Objectifs méthodologiques : regard analytique, grille de lecture, choix de représentation

- 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) + Outils et modèle Pesticides (INRA, Juan et al. 2017)
 - ✓ Recensement logiciels IRSTEA (2017) + Expertise retenues collinaires (2016)
 - ✓ Modélisation multi-agents, processus décisionnels (Irstea, G-Eau, 2019) + [...]
- Enquêtes des sessions 1 et 2 de ce séminaire "Eau et Agriculture"

Spécificités et convergence des modélisations

- EA

"[...] démarche générique de modélisation du système sol/plante/atmosphère [...]"

Spécificités et convergence des modélisations

- EA

"[...] démarche générique de modélisation du système sol/plante/atmosphère [...]"

- 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 [...]"

Spécificités et convergence des modélisations

- **EA**

"[...] démarche générique de modélisation du système sol/plante/atmosphère [...]"

- **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 [...]"

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'agriculture 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

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

- Attendus

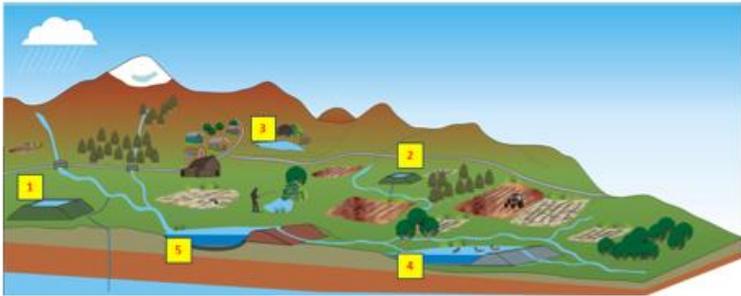
- ✓ Développement de modèles intégrés des paysages cultivés
- ✓ Capacité accrue d'analyse des stratégies d'utilisation, gestion et protection des ressources
- ✓ Focus sur l'organisation spatiale des systèmes de culture et des infrastructures

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
- Attendus
 - ✓ Développement de modèles intégrés des paysages cultivés
 - ✓ Capacité accrue d'analyse des stratégies d'utilisation, gestion et protection 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
 - ✓ Implication de la modélisation dans la co-construction de scénarios (démonstrateur-support, évaluation, contrôle et optimisation)

Conceptualisation des systèmes à modéliser

Echelle macroscopique



Principaux écoulements naturels
Ouvrages et décisions de gestion (1-5)

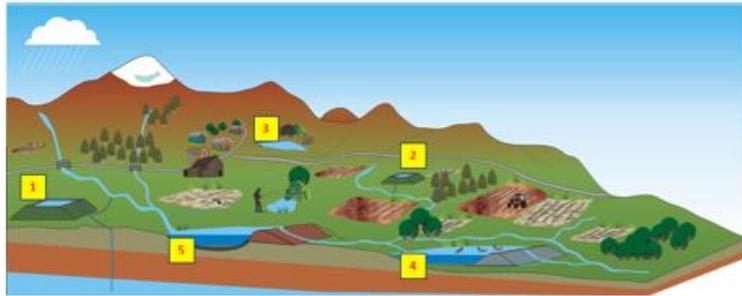
Echelle mésoscopique



Mosaïque de propriétés

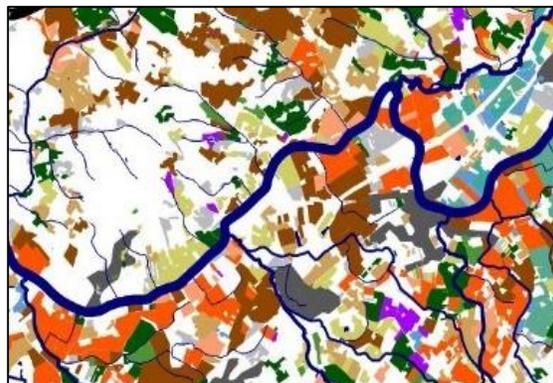
Conceptualisation des systèmes à modéliser

Echelle macroscopique

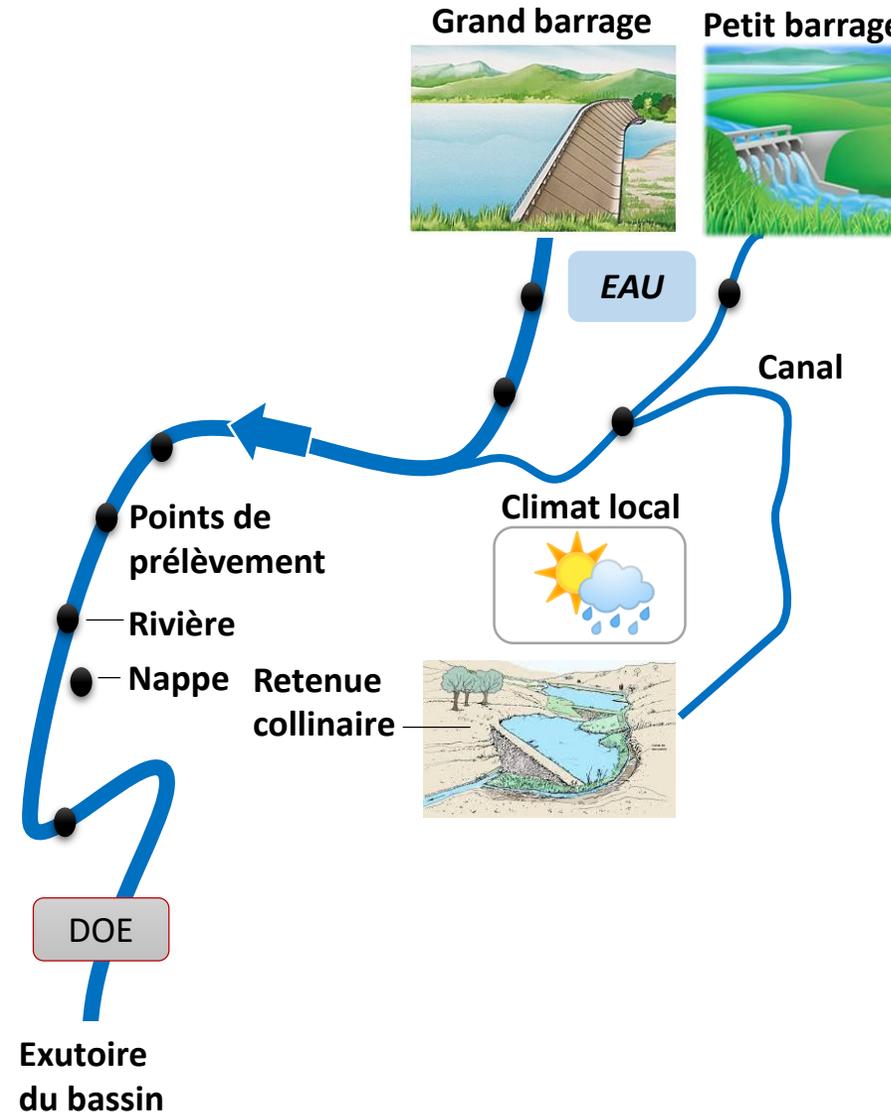


Principaux écoulements naturels
Ouvrages et décisions de gestion (1-5)

Echelle mésoscopique

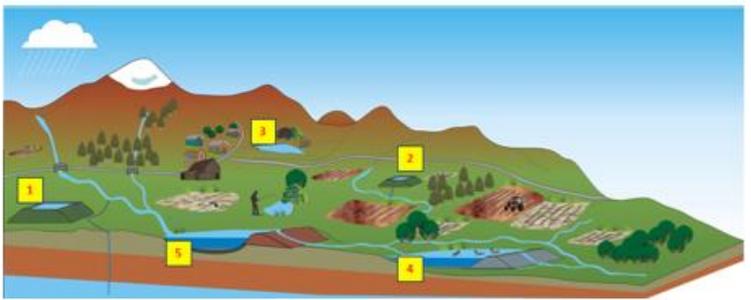


Mosaïque de propriétés



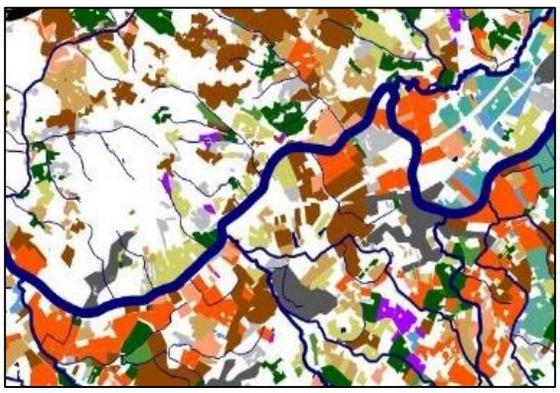
Conceptualisation des systèmes à modéliser

Echelle macroscopique

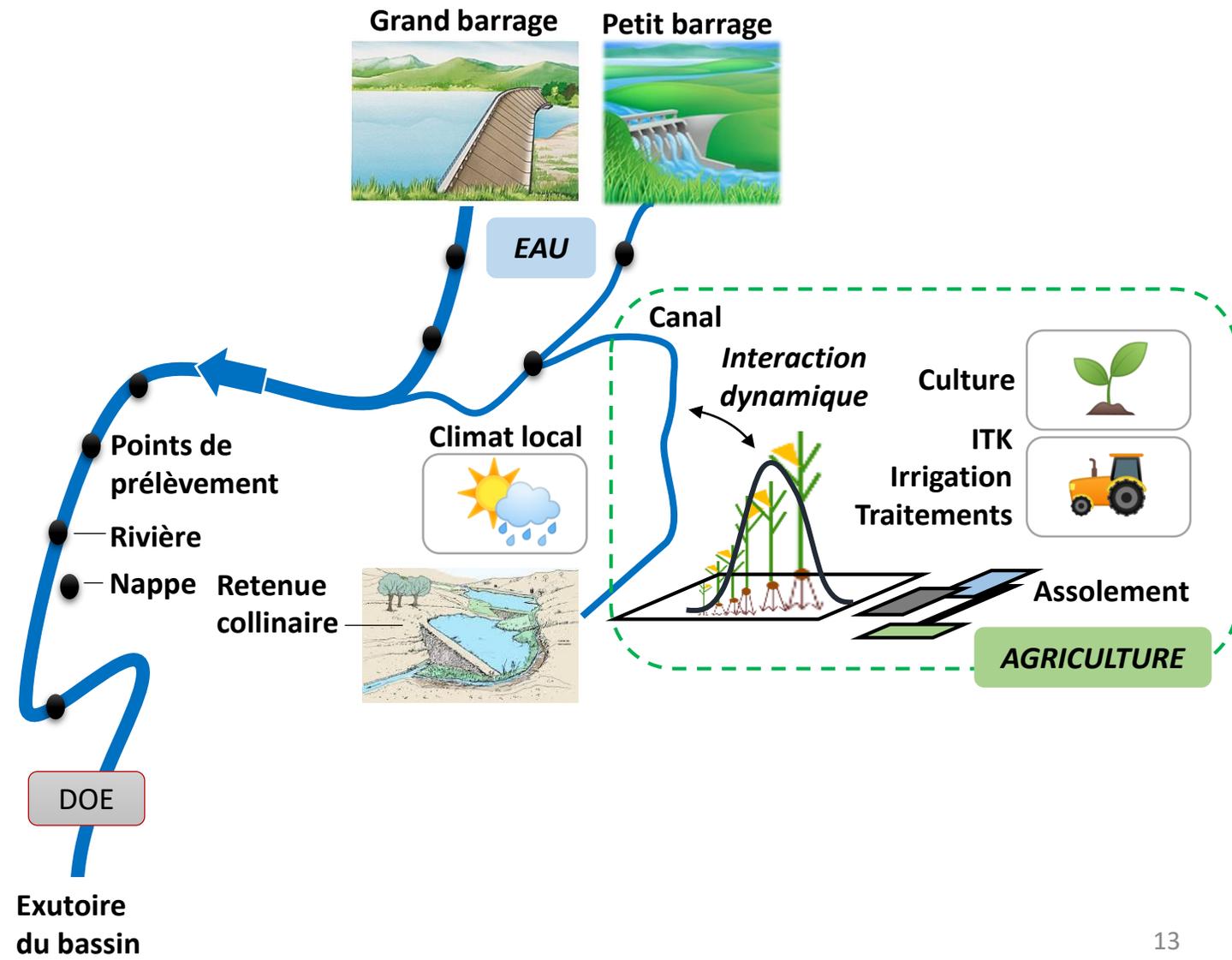


Principaux écoulements naturels
Ouvrages et décisions de gestion (1-5)

Echelle mésoscopique

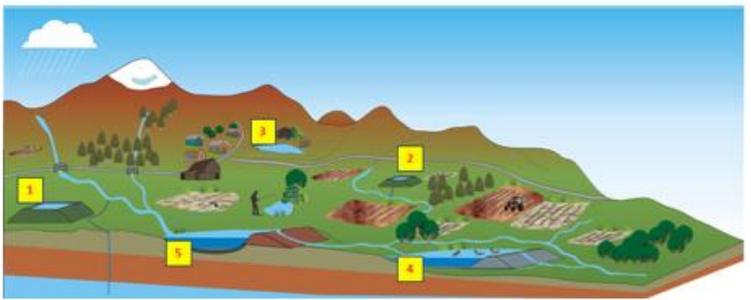


Mosaïque de propriétés



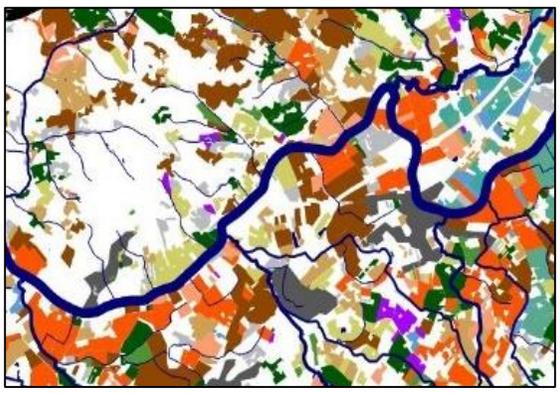
Conceptualisation des systèmes à modéliser

Echelle macroscopique

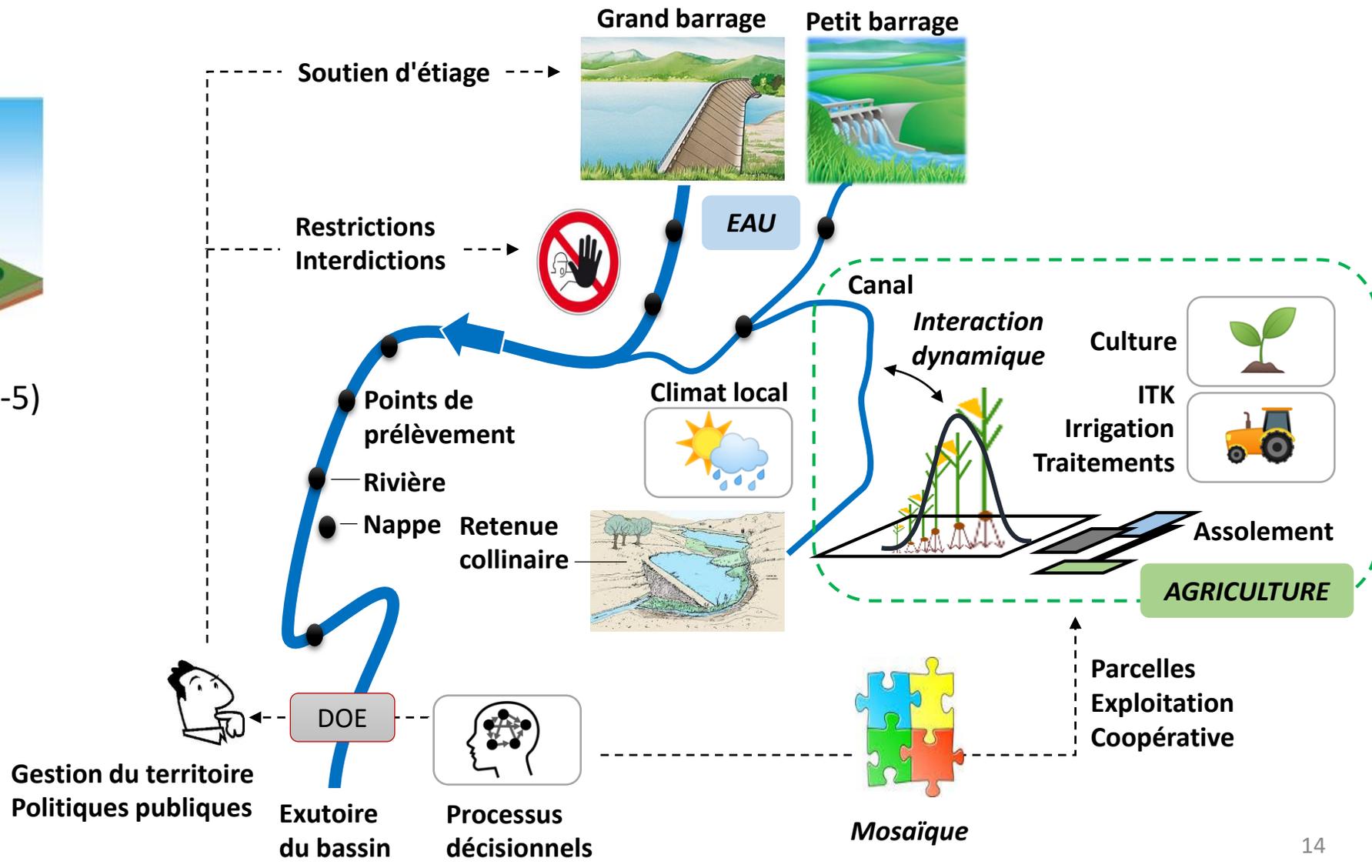


Principaux écoulements naturels
Ouvrages et décisions de gestion (1-5)

Echelle mésoscopique

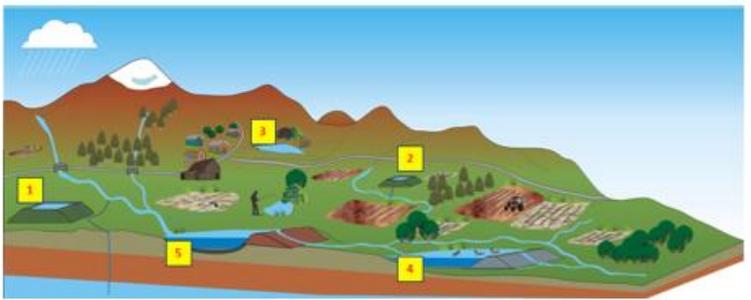


Mosaïque de propriétés



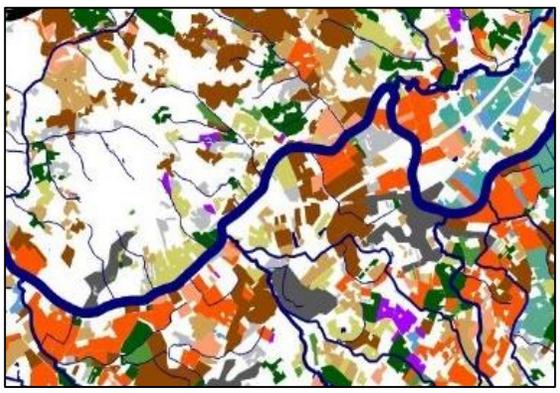
Conceptualisation des systèmes à modéliser

Echelle macroscopique

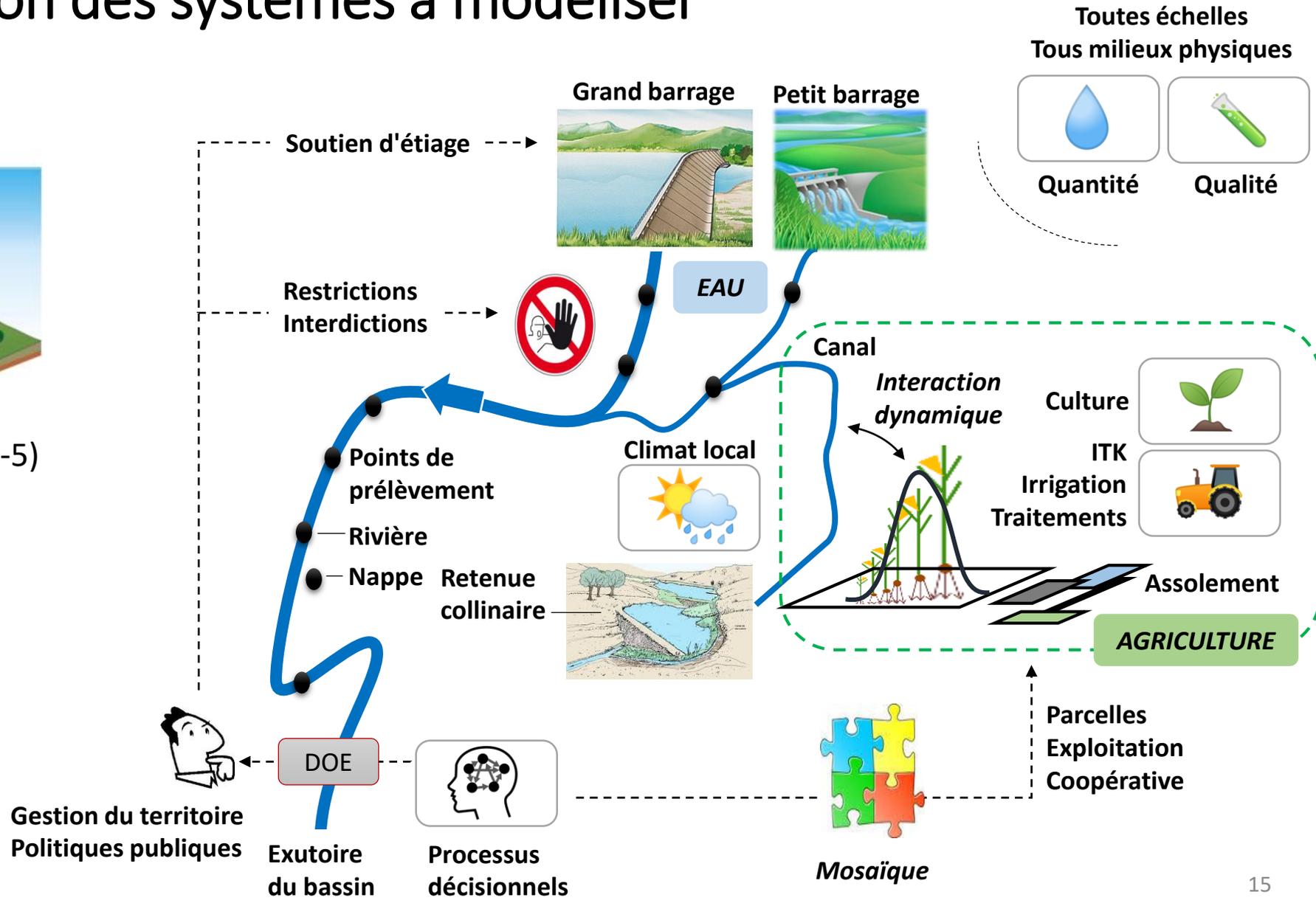


Principaux écoulements naturels
Ouvrages et décisions de gestion (1-5)

Echelle mésoscopique

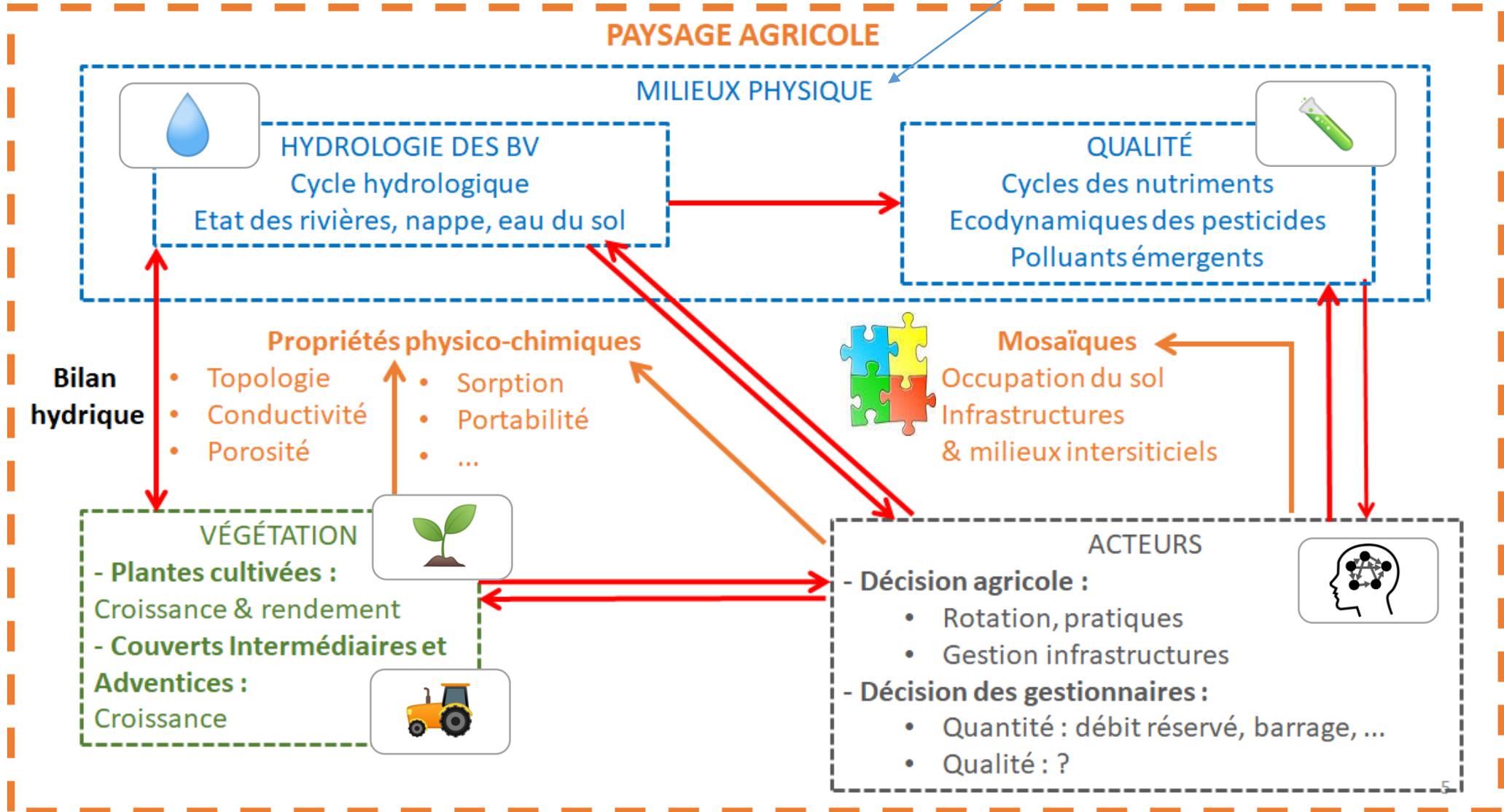


Mosaïque de propriétés

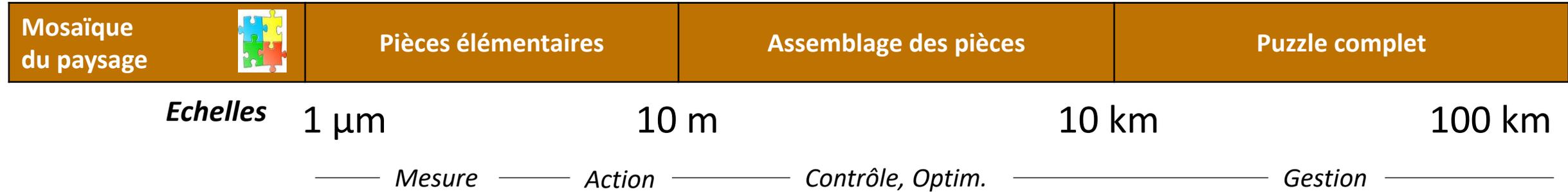


Représentation des systèmes à modéliser

Manque un s



Echelles, types de modélisation et processus



Echelles, types de modélisation et processus

Mosaïque du paysage 	Pièces élémentaires	Assemblage des pièces	Puzzle complet	
Echelles	1 μ m	10 m	10 km	100 km
Types de modélisation	Mesure		Contrôle, Optim.	Gestion
Milieus physiques  	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	

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



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

- Modèle scientifique

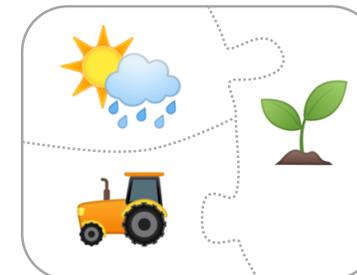
- ✓ Représentation simplifiée d'un phénomène ou d'une structure, souvent à base mathématique
- ✓ Exprimé sous la forme d'un code de calcul informatique



- 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)

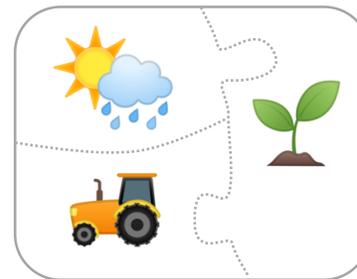


Plateformes de modélisation vs. coupleurs de modèles

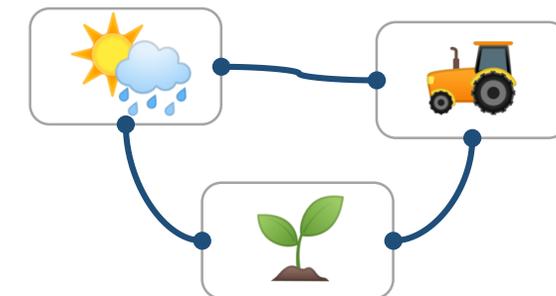
- Plateforme de modélisation *d'après Fabre JC, 2019*



Modèles capitalisés



Coupleurs



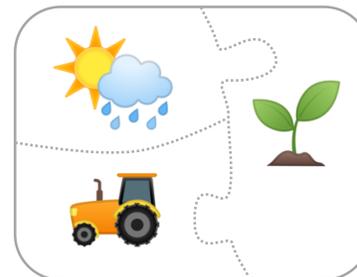
Plateforme

Plateformes de modélisation vs. coupleurs de modèles

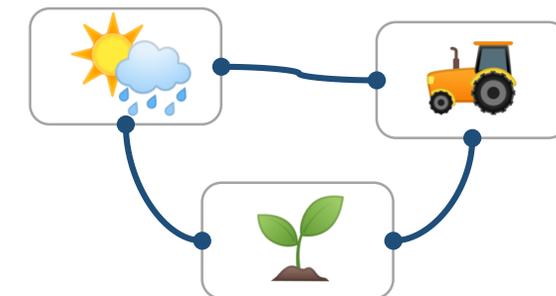
- Plateforme de modélisation *d'après Fabre JC, 2019*
 - ✓ Environnement logiciel de développement, de couplage, de capitalisation et de partage de modèles, permettant l'exécution de simulations
 - ✓ Favorise le pluridisciplinaire et l'interopérabilité (communication entre plusieurs systèmes, appareils 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



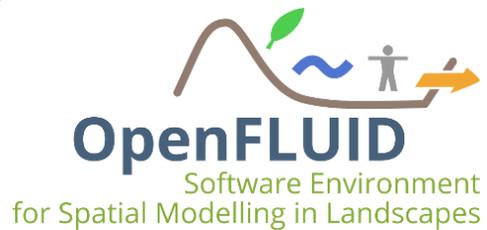
Coupleurs



Plateforme

Exemples de plateformes de modélisation

- Co-développement EA



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

Représentation numérique des paysages (graphes)

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



Systèmes de culture et représentation des décisions agricoles.

Simul. des événements discrets (DEVS)

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



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

Profil de sol, écoulements verticaux, percolation.

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



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

Analyse des transfo. des produits agricoles

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

- Autres



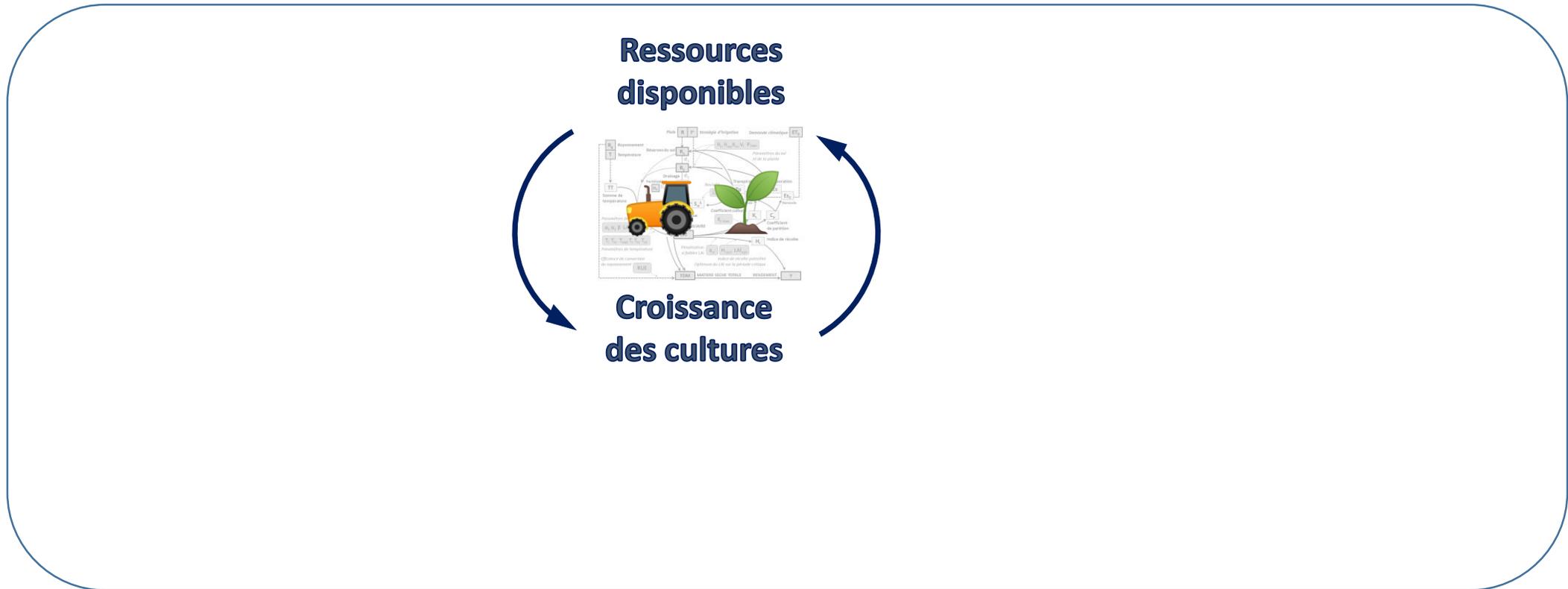
Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation



Culture



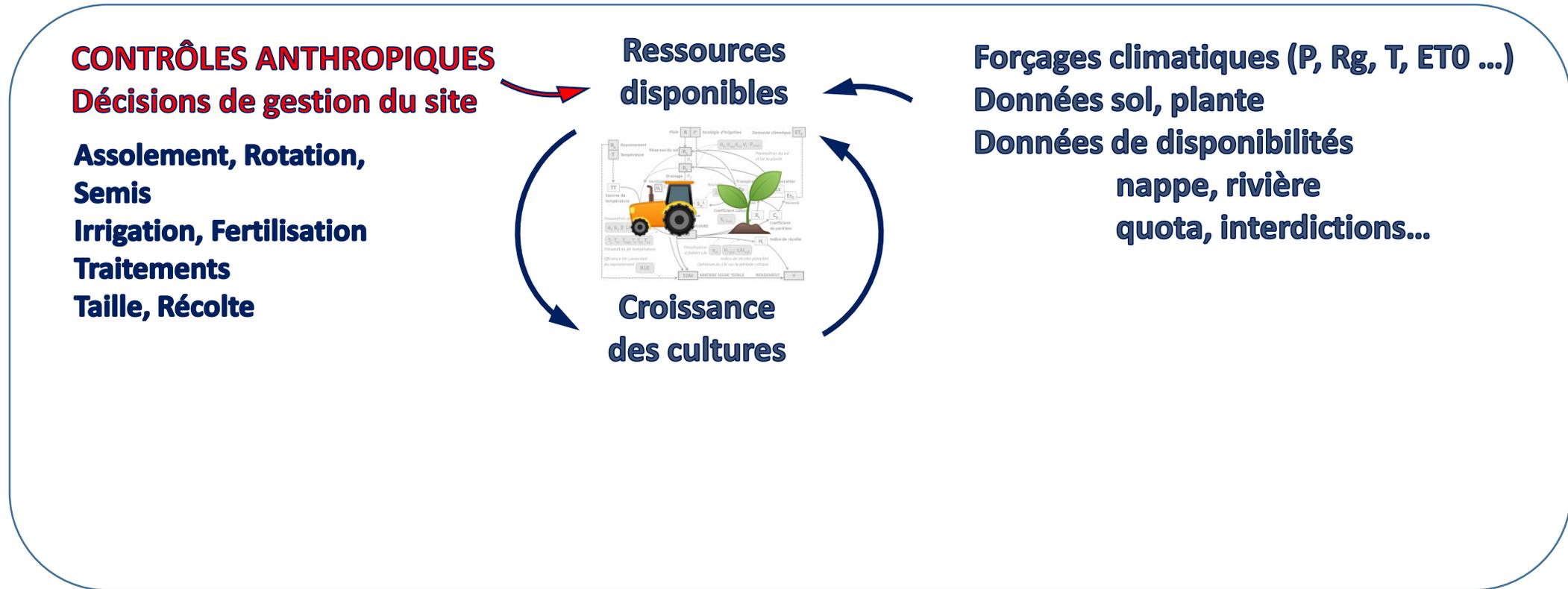
Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation



Culture



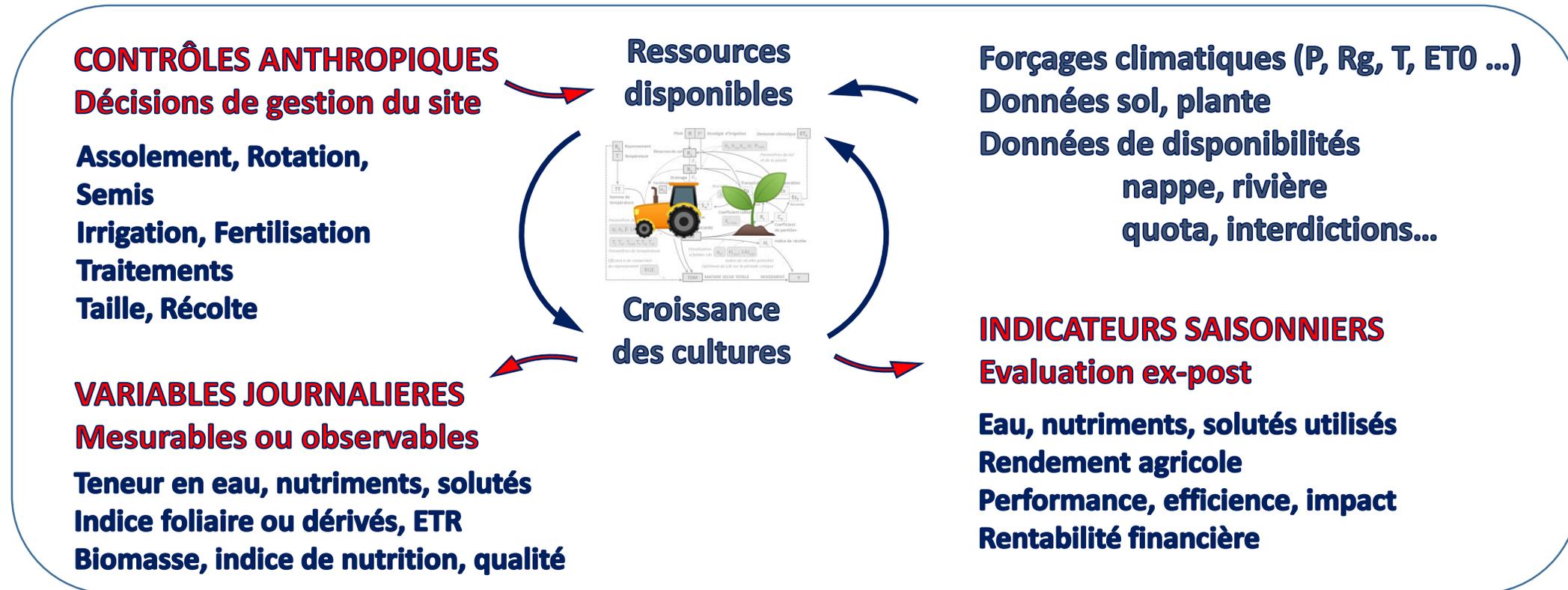
Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation



Culture



Modélisation des cultures et adventices, couverts intermédiaires...



ITK, Irrigation

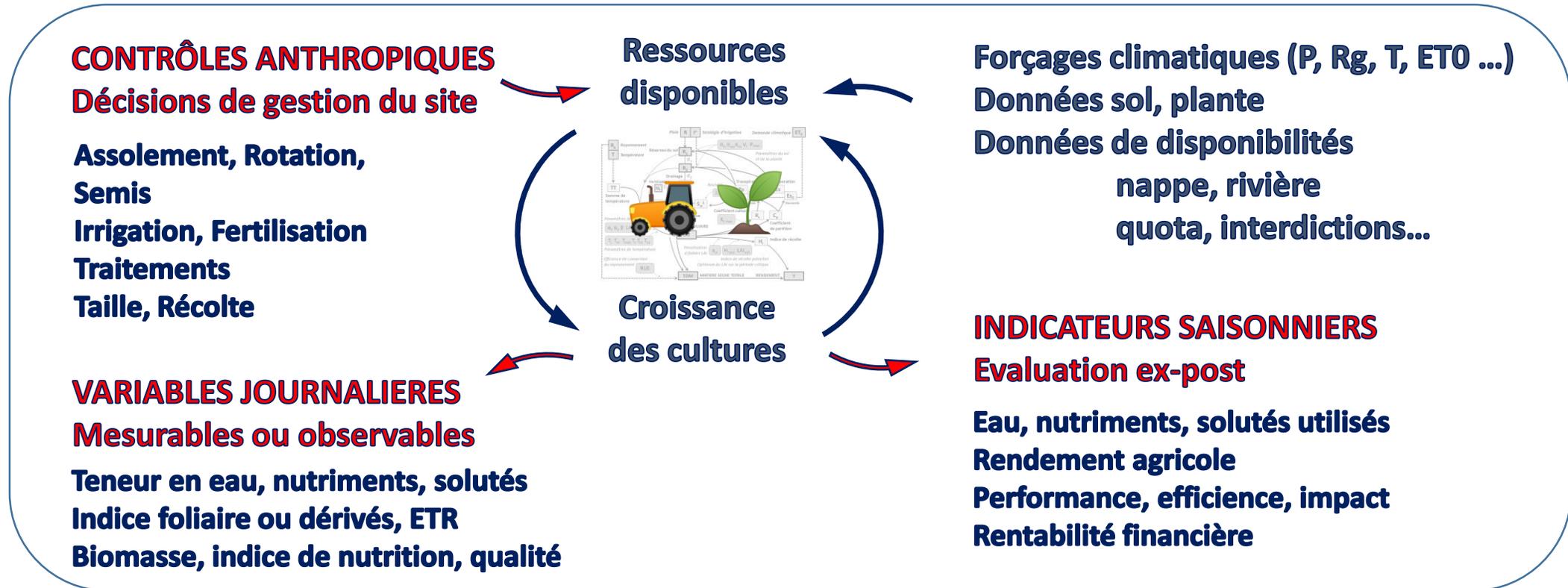


Culture

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...

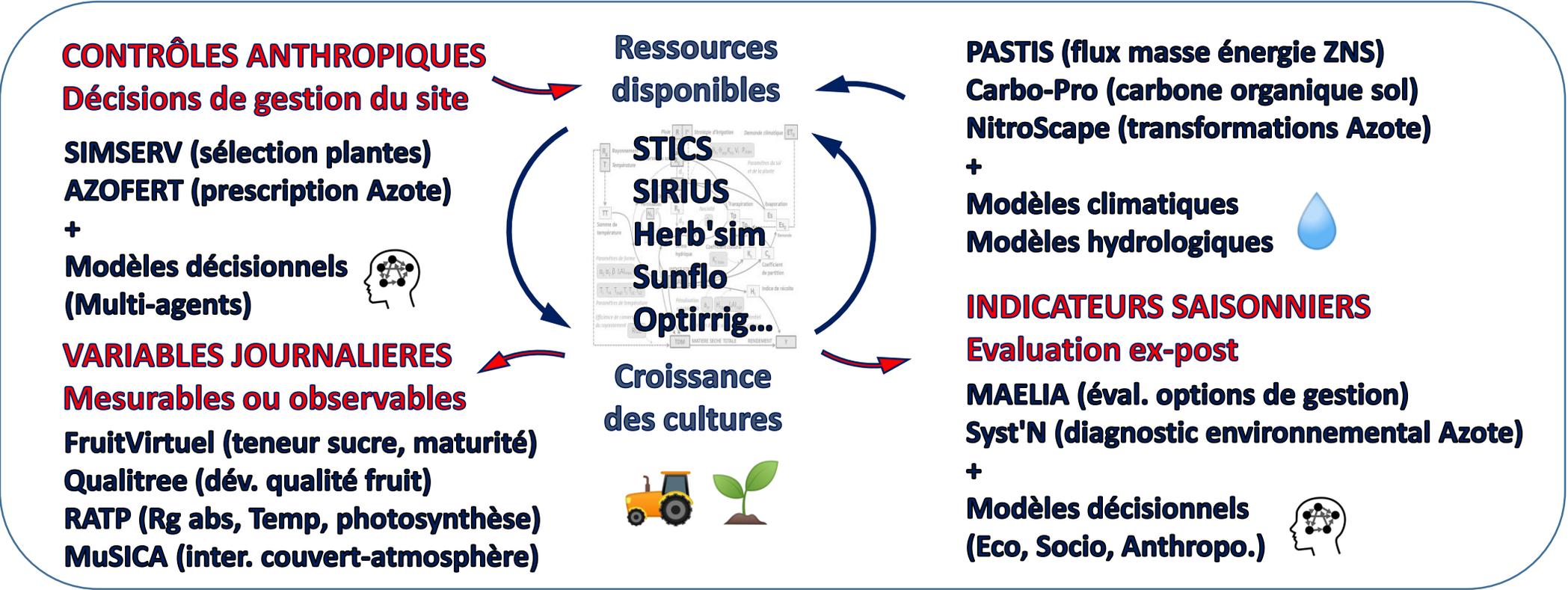


ITK, Irrigation Culture

Stratégies scénarisables et optimisables
→ Co-construction des paysages agricoles



Contextes agro-pédo-climatiques
→ Diversité des paysages agricoles



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



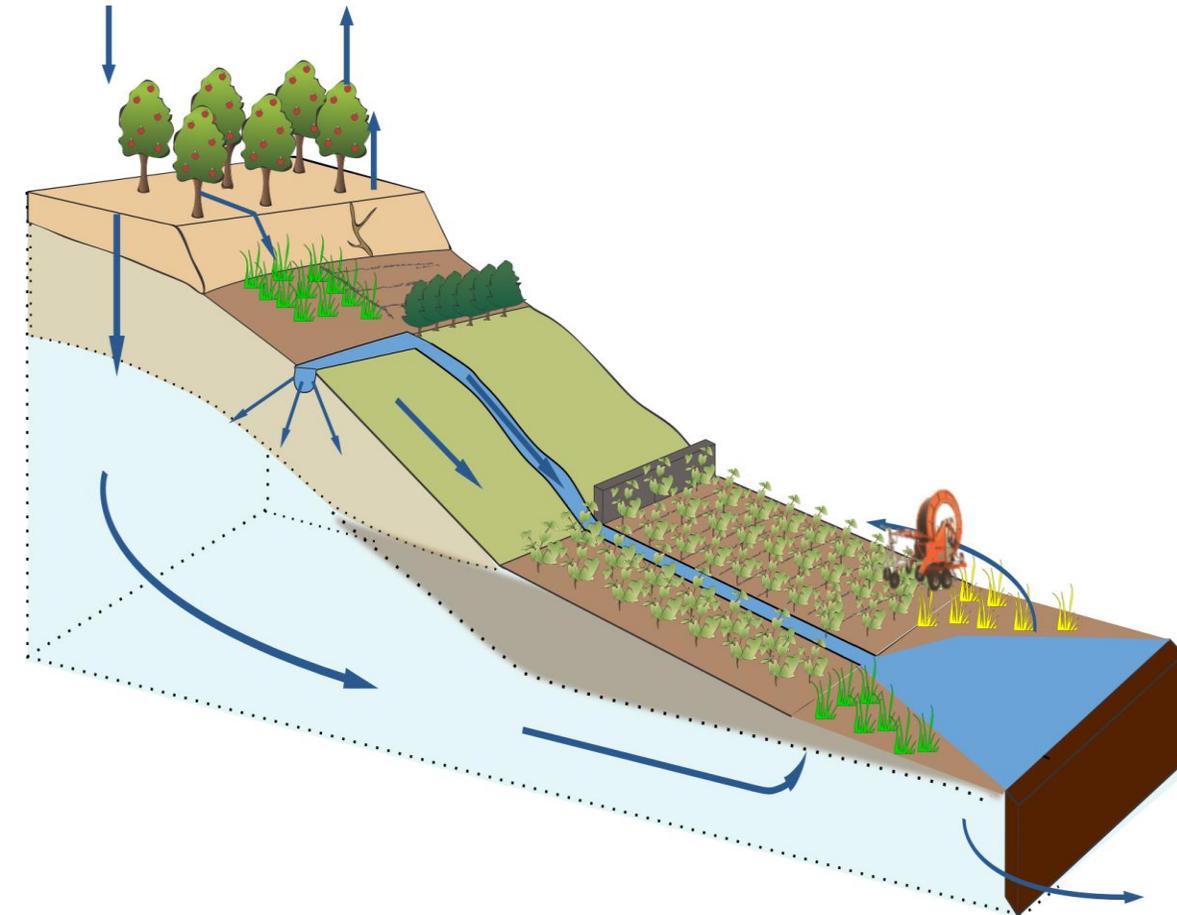
Variables de couplage avec modèles décisionnels
→ Optim. "Eau & Agriculture" ex post

Modélisation quantitative et qualitative de la ressource en eau



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
 - SVAT : Pastis, Watsfar, SiSPAT
 - Bilan d'énergie : Surfalm, PHOTEAU
 - Hydrodynamique/hydraulique : TNT, SIC, 1D-MAGE
 - Ecoulement lame mince : STREAM, FullSWOF, CALHY
 - Autres, e.g. ETR & télédétection : Indice S-SEBI
- 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



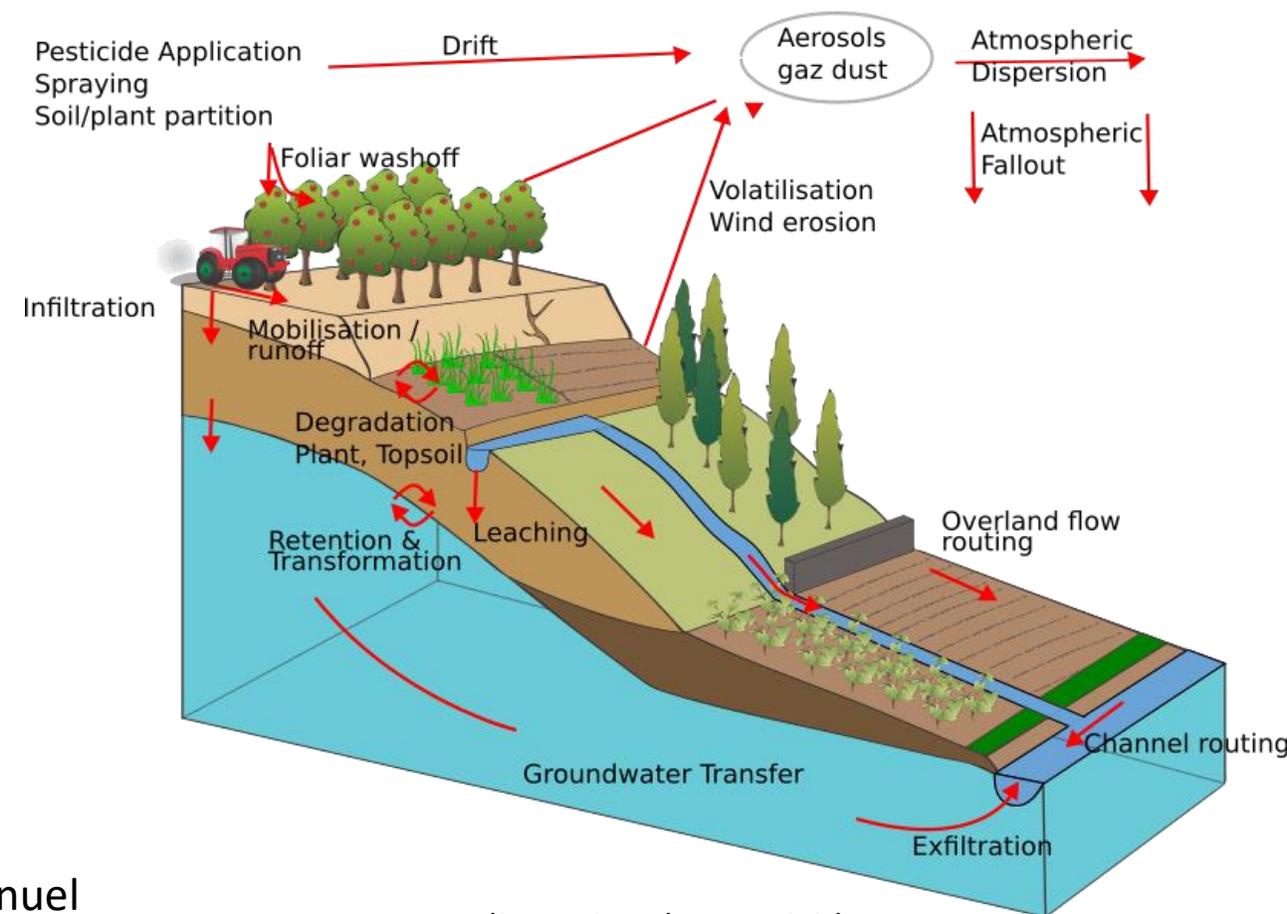
Modélisation quantitative et qualitative de la ressource en eau



Qualité

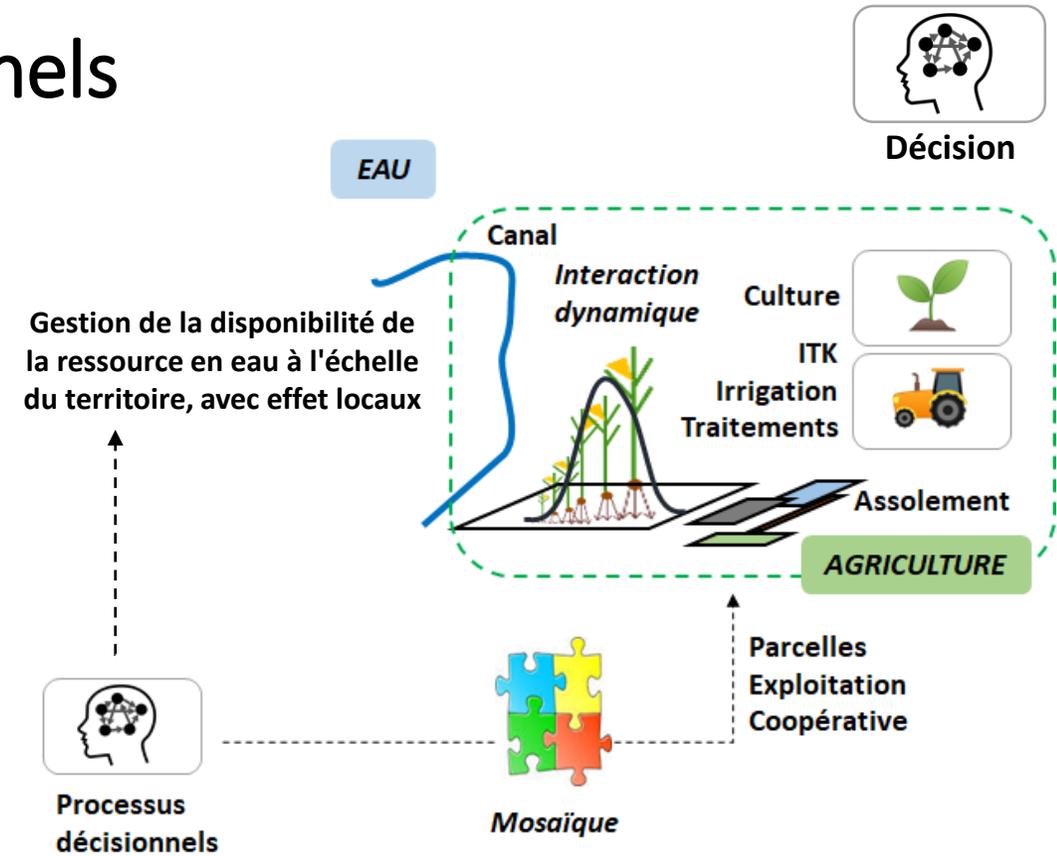
Représentation de tout ou partie du **devenir des intrants agricoles** dans les paysages agricoles, en lien avec les usages agricoles et les infrastructures

- Les intrants : nutriments, pesticides organiques, ETM, virus, produits vétérinaires
- Diversités des modèles : à base physique // indicateurs
 - BV : TNT2, MHYDAS-Pesticides, PeshMelba
 - 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

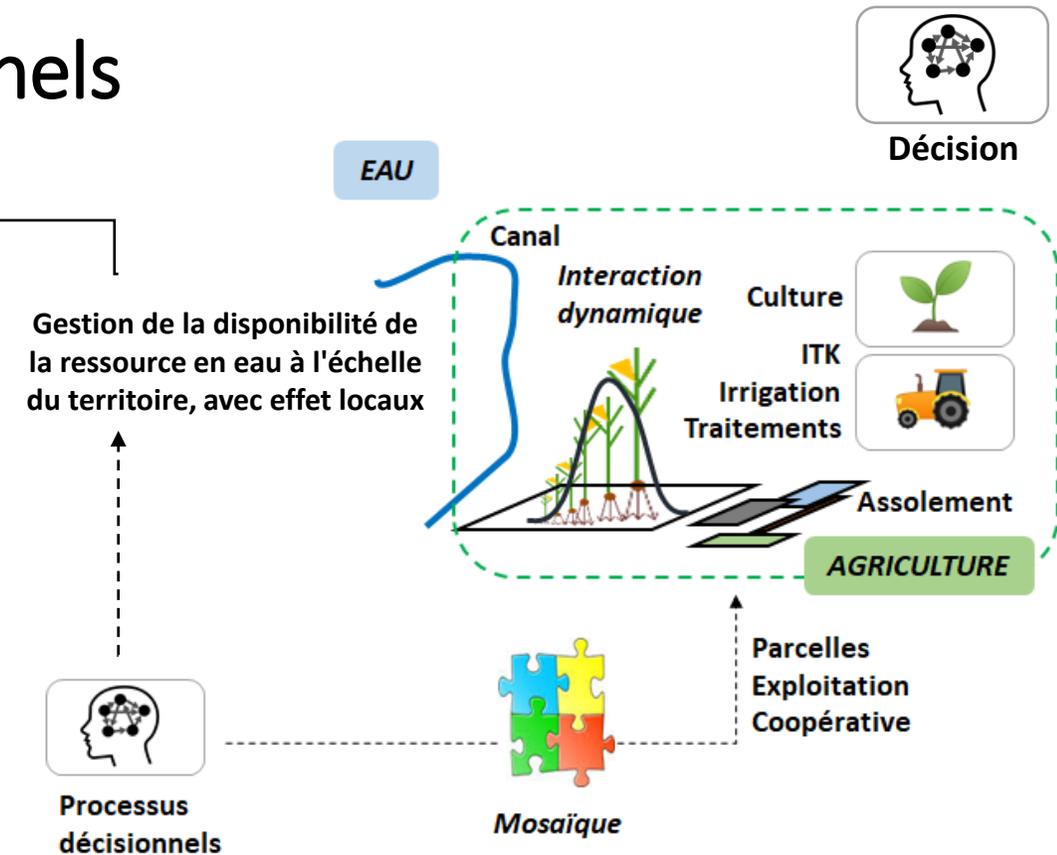
Modélisation des processus décisionnels



Modélisation des processus décisionnels

- Modélisation intégrée à l'échelle territoriale
- ✓ Scénarios, stats économiques et analyse de sensibilité (optim. des contrôles de gestion de la ressource)
- ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
- ✓ Paramètres et variables agrégés mais approches élaborées (équations différentielles, théorie de la viabilité)
- ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique (ACB)

10 km — Gestion — 100 km



Modélisation des processus décisionnels

• Modélisation intégrée à l'échelle territoriale

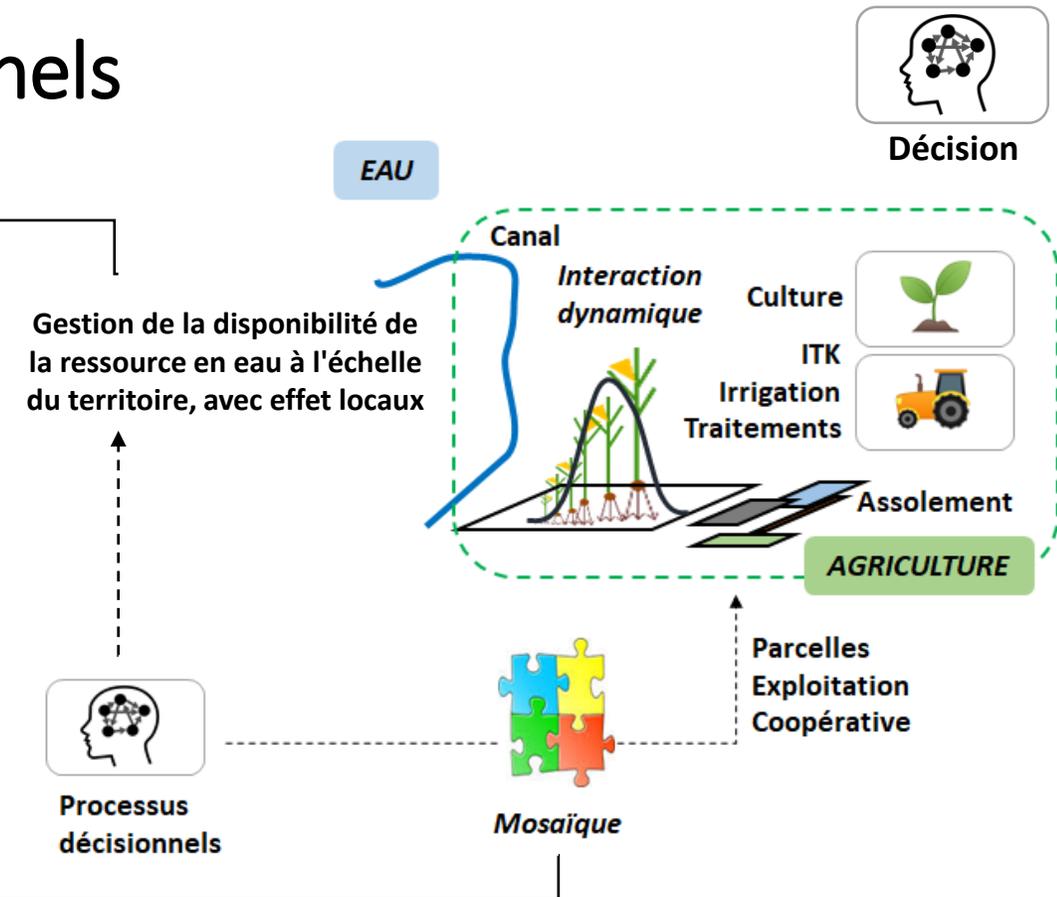
- ✓ Scénarios, stats économiques et analyse de sensibilité (optim. des contrôles de gestion de la ressource)
- ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
- ✓ Paramètres et variables agrégés mais approches élaborées (équations différentielles, théorie de la viabilité)
- ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique (ACB)

10 km — Gestion — 100 km

• Jeux de rôle

- ✓ Débat d'acteurs sur la gestion d'une ressource commune
- ✓ Expé. sociale : comportement dans une situation donnée
- ✓ Qualitatif ou semi-quantitatif pour la physique

10 m — Contrôle, Optim. — 10 km — Gestion — 100 km



Modélisation des processus décisionnels



Décision

• Modélisation intégrée à l'échelle territoriale

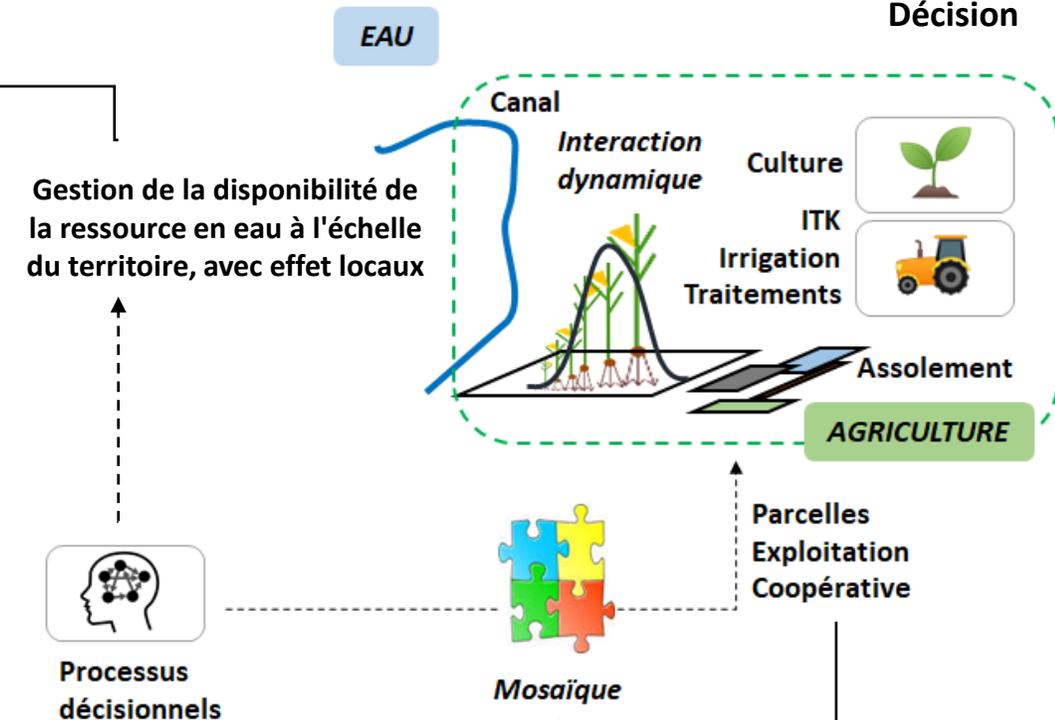
- ✓ Scénarios, stats économiques et analyse de sensibilité (optim. des contrôles de gestion de la ressource)
- ✓ Théorie des jeux de dilemme de gestion de la ressource
- ✓ Paramètres et variables agrégés mais approches élaborées (équations différentielles, théorie de la viabilité)
- ✓ Evaluation environnementale (ACV) et économique (ACB)

10 km — Gestion — 100 km

• Jeux de rôle

- ✓ Débat d'acteurs sur la gestion d'une ressource commune
- ✓ Expé. sociale : comportement dans une situation donnée
- ✓ Qualitatif ou semi-quantitatif pour la physique

10 m — Contrôle, Optim. — 10 km — Gestion — 100 km

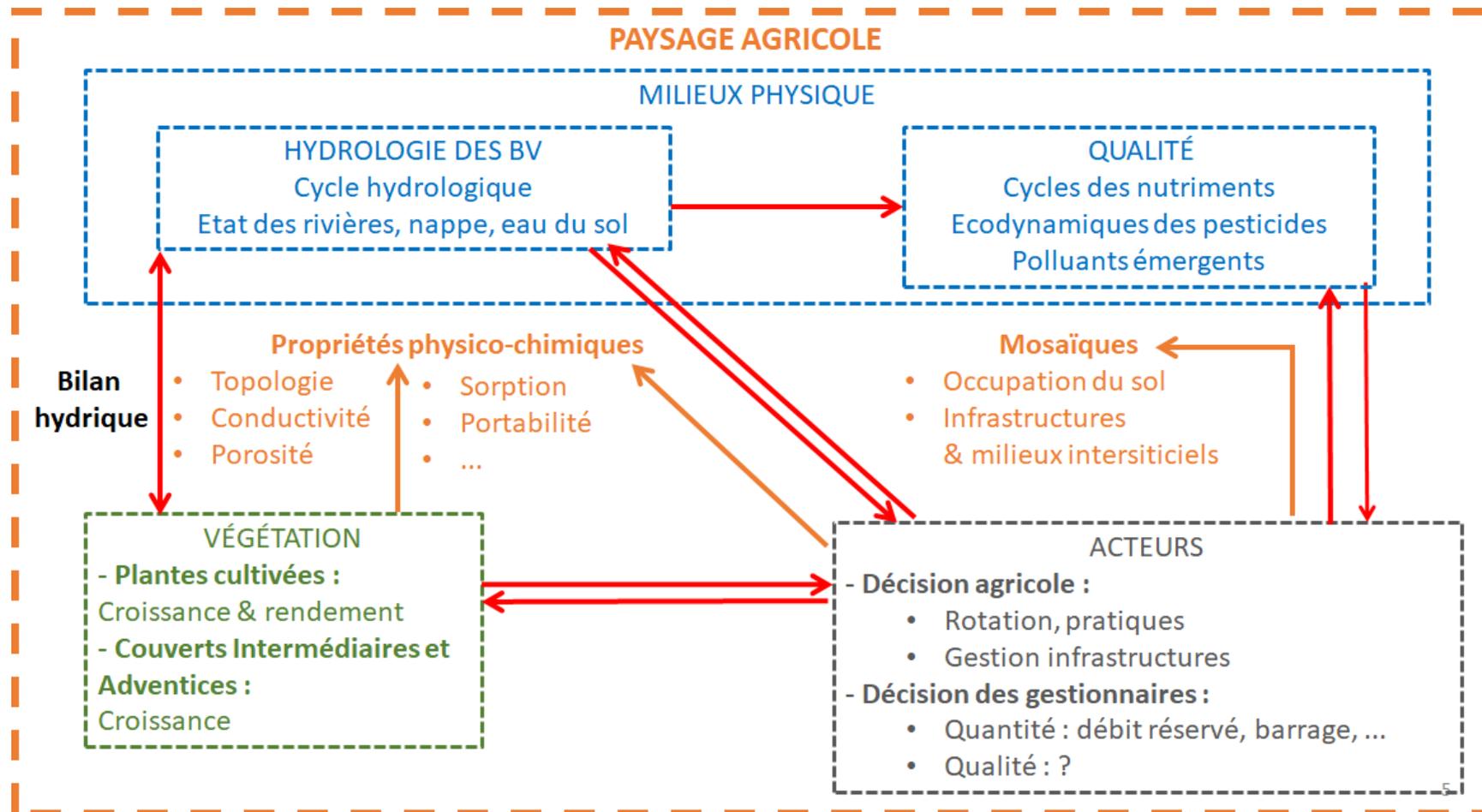


• Simulation multi-agents

- ✓ Physique simplifiée mais quantitative
- ✓ Règles de décision dans un ensemble prédéfini
- ✓ Couplage possible avec modèles hydro ou végétation

10 m — Contrôle, Optim. — 10 km

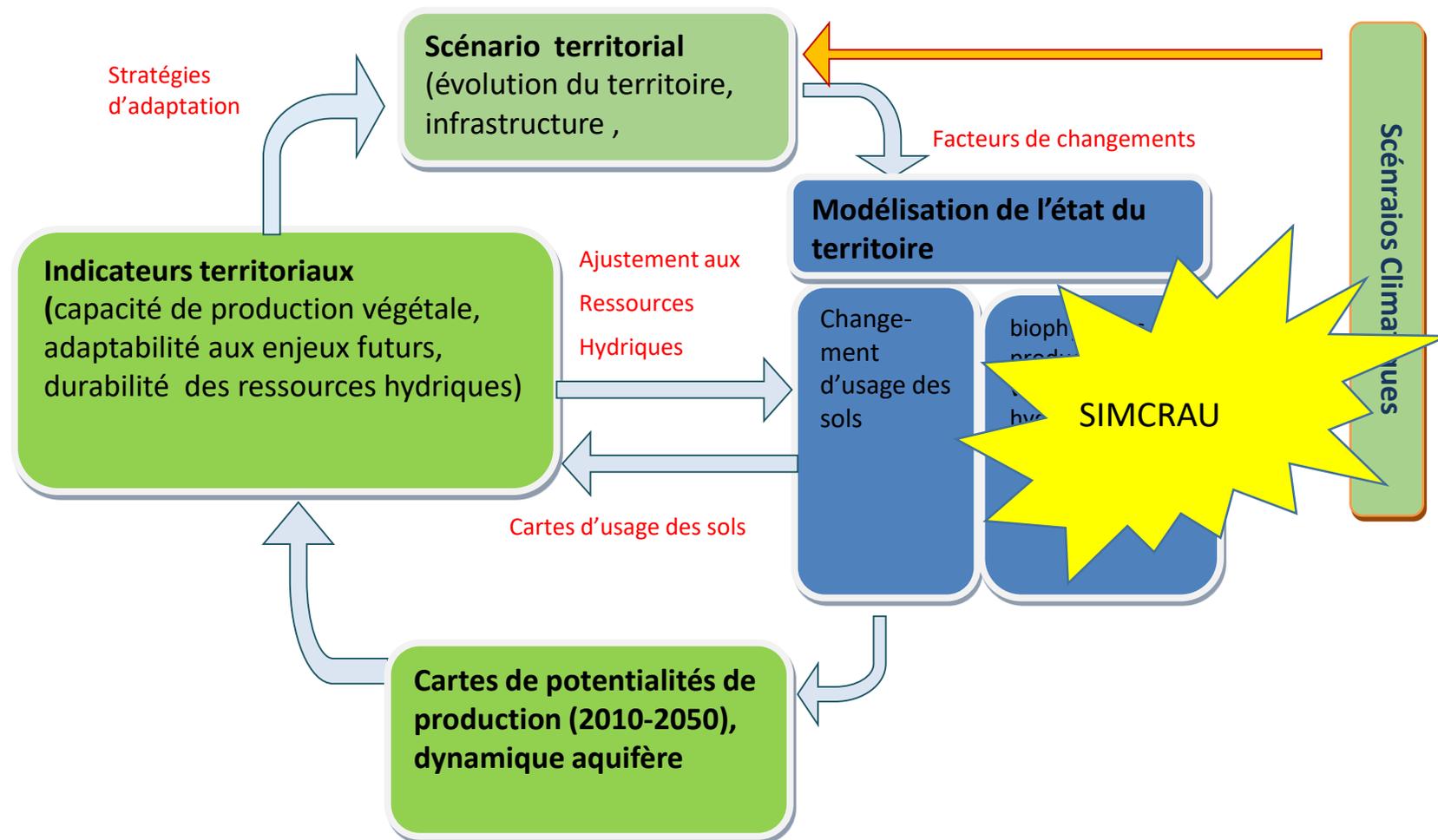
Position des types de modèles dans la représentation proposée



MIPP

Marc Voltz

SIMCRAU : Un module dans une logique de modélisation plus globale



- **Entité spatiale géographique** (BV, Aquifère) et/ou **socio-économique** (bassin de production, périmètre irrigué) et/ou **administrative** (département).
- **Entité spatiale** caractérisée par des **enjeux communs de gestion** (production agricole, ressource hydrique)

→ 10 -100000 km²

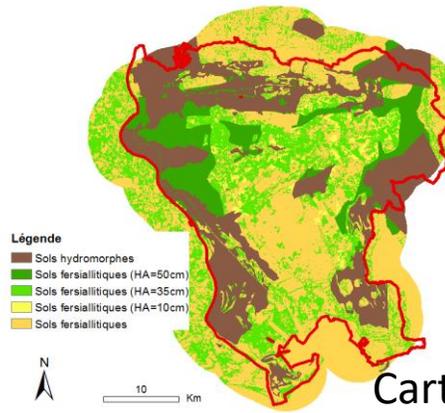
→ **Approche intermédiaire**

> aux approches paysage où les entités fonctionnelles peuvent être décrites de manière explicite
< aux approches régionales/continentales où on développe des indicateurs sans interactions spatiales

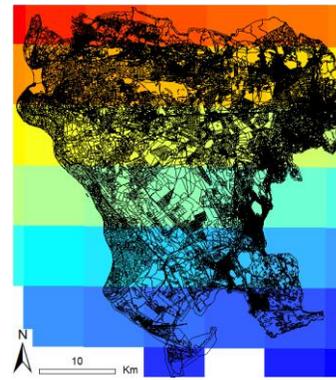
- Prise en compte de la variabilité pédoclimatique
- Prise en compte de la variabilité des systèmes de culture et des pratiques agricoles en interaction avec les pédoclimats et les ressources hydriques
- Interactions production agricole et les ressources hydriques
 - Nappes (recharges, prélèvements)
 - Eaux de surface (prélèvements)
- Interactions spatiales
 - Nappes
 - Dynamique des systèmes de production.



SIMULATEUR TERRITORIAL



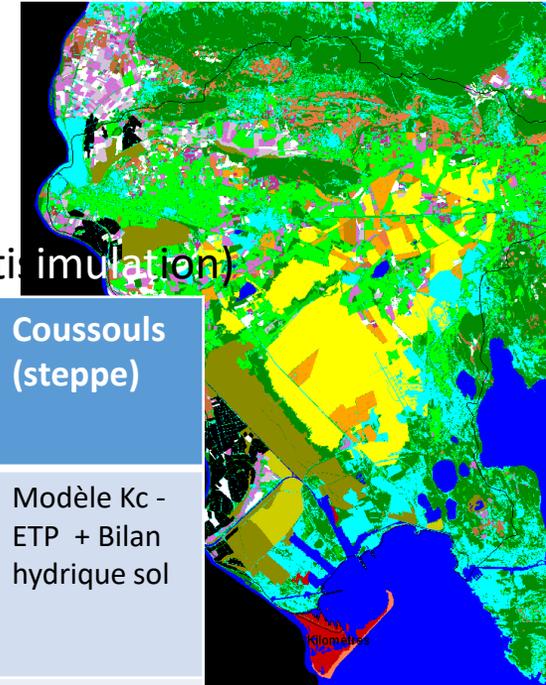
Carte Sols Fonctionnelle



Climat (maille SAFRAN 8km)

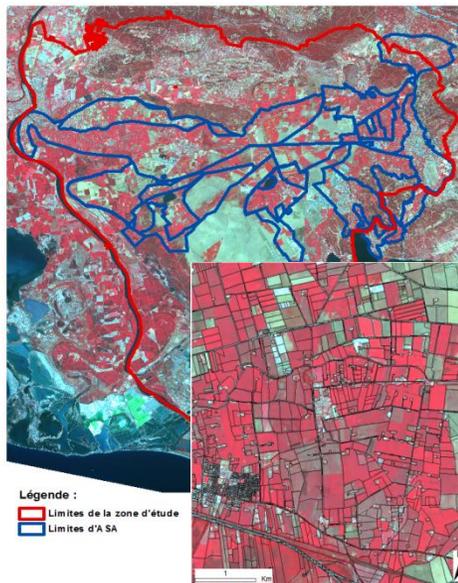
Climat

Simulateur surface (multi simulation)



Paramétrage Unité de simulation

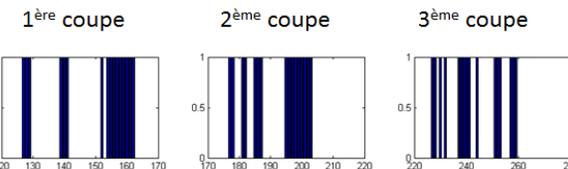
Prairies, Gdes cultures	Vergers, zone humide, foret	Coussouls (steppe)
	Modèle Kc -ETP + Bilan hydrique sol	Modèle Kc -ETP + Bilan hydrique sol
production		
Irrigation		
Recharge + flux minéraux		



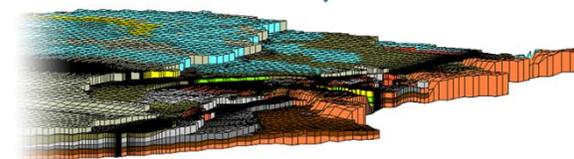
Irrigation [calendrier, doses=f(sol, longueur de la parcelle)]

Itinéraires Techniques

Calendrier de coupes = f(cahier des charges, biomasse, Pluie)



Modflow



Niveau nappe

CHANGEMENT CLIMATIQUE
A1B 2025-2035

CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL
-12% de surface de prairies

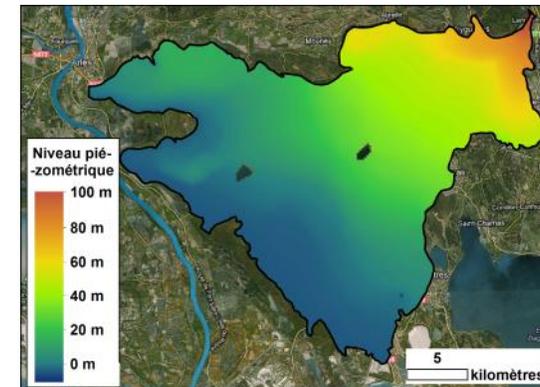
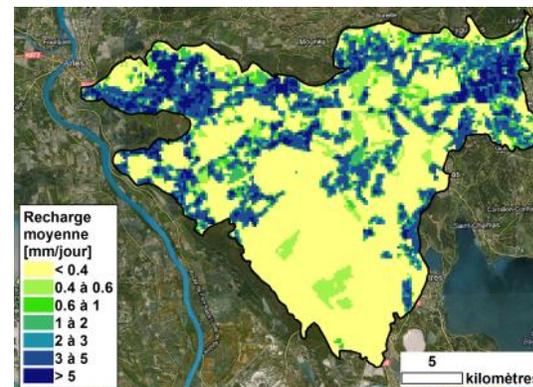
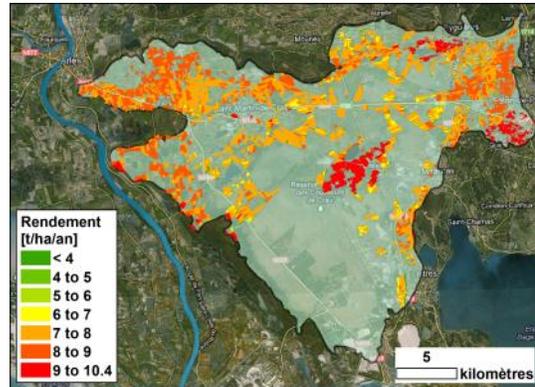
CHANGEMENT DE LA DOTATION EN EAU
-30% d'eau pour l'irrigation

Rendement (t/ha)

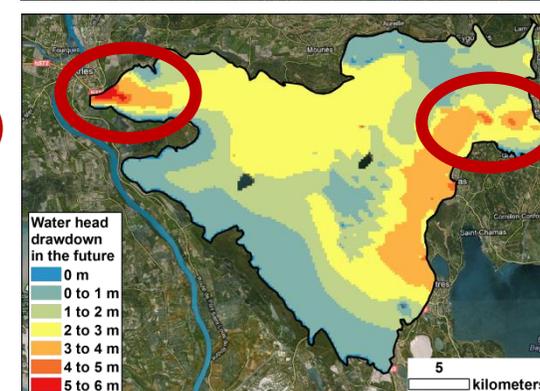
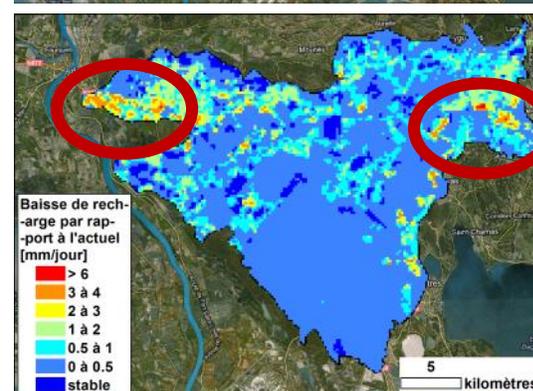
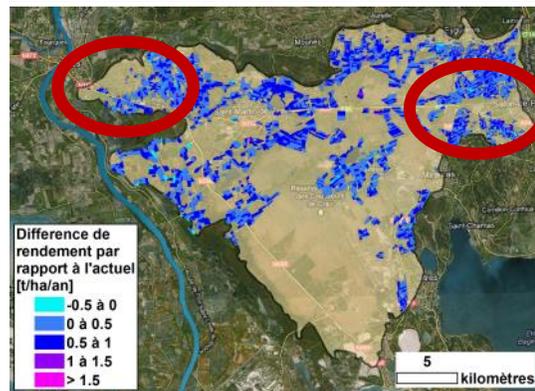
Drainage =
Recharge (mm/j)

Piézométrie (m)

Présent



Futur – Présent



(rond principalement du à l'urbanisation)

Projet

Légende

- Sols hydromorphes
- Sols fersiallitiques (HA=50cm)
- Sols fersiallitiques (HA=35cm)
- Sols fersiallitiques (HA=10cm)
- Sols fersiallitiques



10 Km

Diversification des cas d'études et des questions traitées

- Investissement sur le Vaucluse
- Gestion des tensions sur l'eau et réévaluation des droits d'eau
- Services climatiques : déclinaison territoriale

Fonctionnelle

Paramétrage
Unité de
simulation

Gagner en genericité sur la manière de décliner les itinéraires techniques :

- Spatialisation (données Sentinel, données administrative)
- Interactions avec le climat
- Diversification des systèmes de cultures

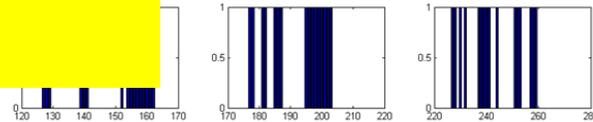
endrier,
longueur de la

itinéraires
techniques

de coupes = f(cahier des
biomasse, Pluie)

2^{ème} coupe

3^{ème} coupe

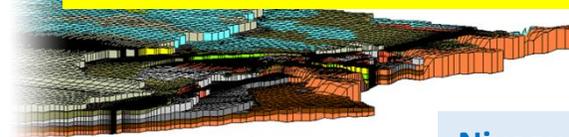


Simulateur surface (multisimulation)

Evaluation des modèles en condition d'implémentation territoriale (STICS)

Gagner en genericité :
Palettes de modèles en fonction des écosystèmes et des questions traitées (STICS, ISBA-gs, Castanea, Aquacrop)

Renforcement de la géochimie et les aspects qualité des eaux

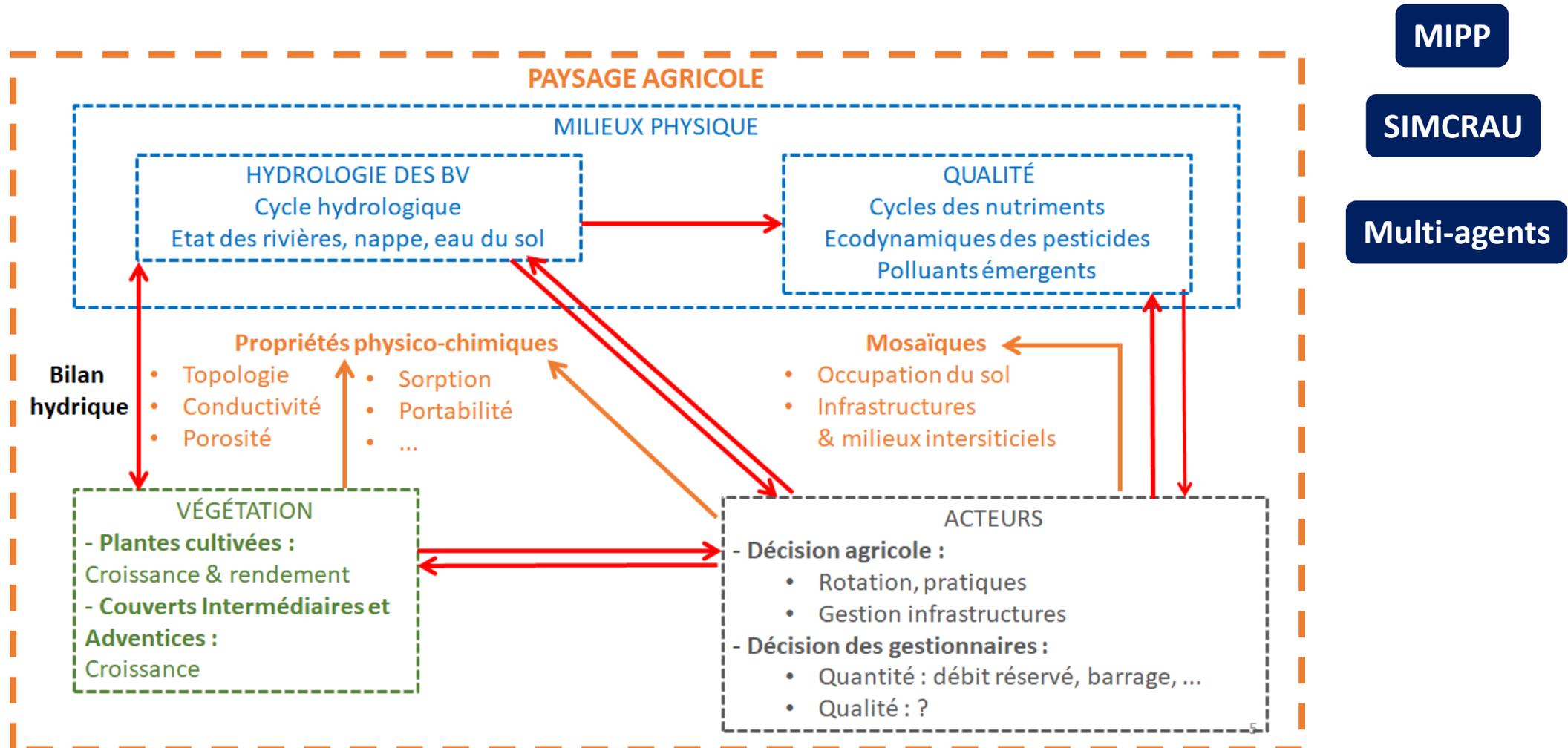


Niveau
nappe

Multi-agents

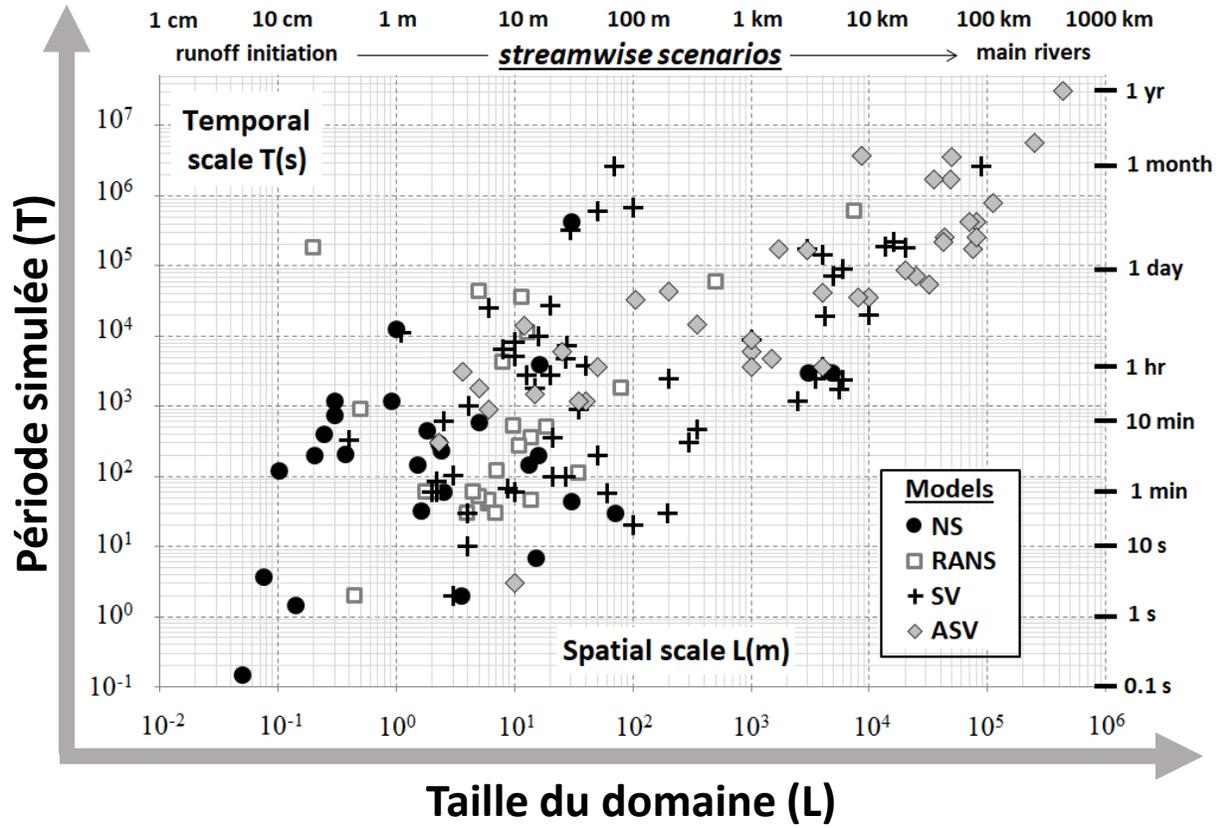
Olivier Barreteau

Position des focus dans la représentation proposée



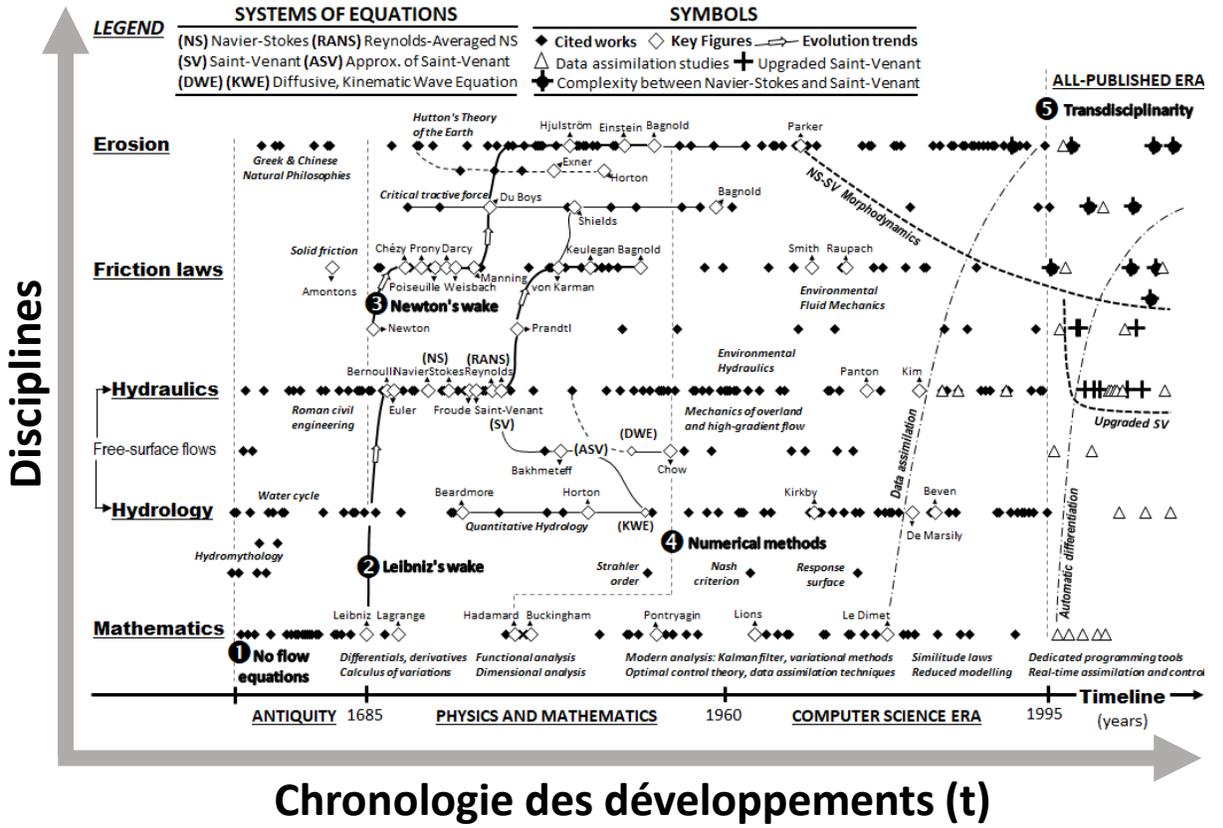
Position des modèles dans les diagrammes espace-temps

- Adaptations de Cheviron & Moussa (2016, 2018)



Taille du domaine (L)

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

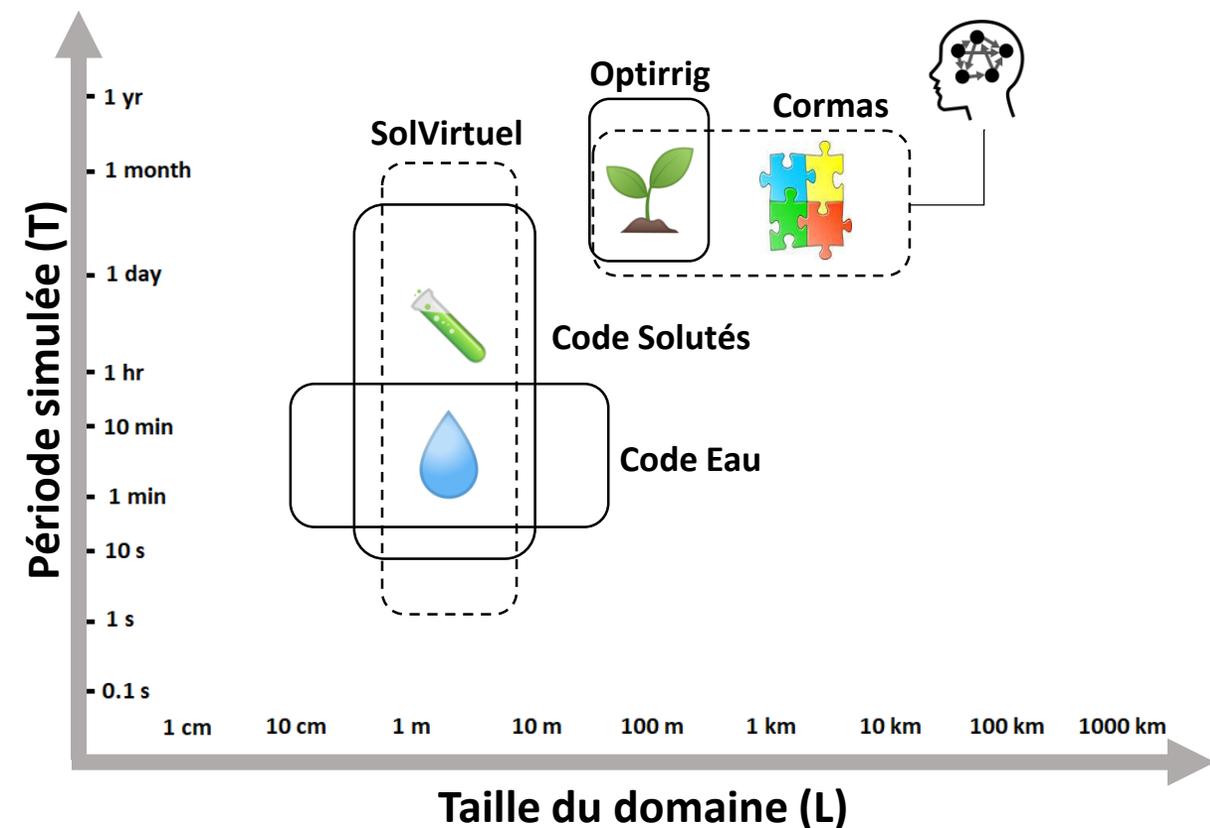


Chronologie des développements (t)

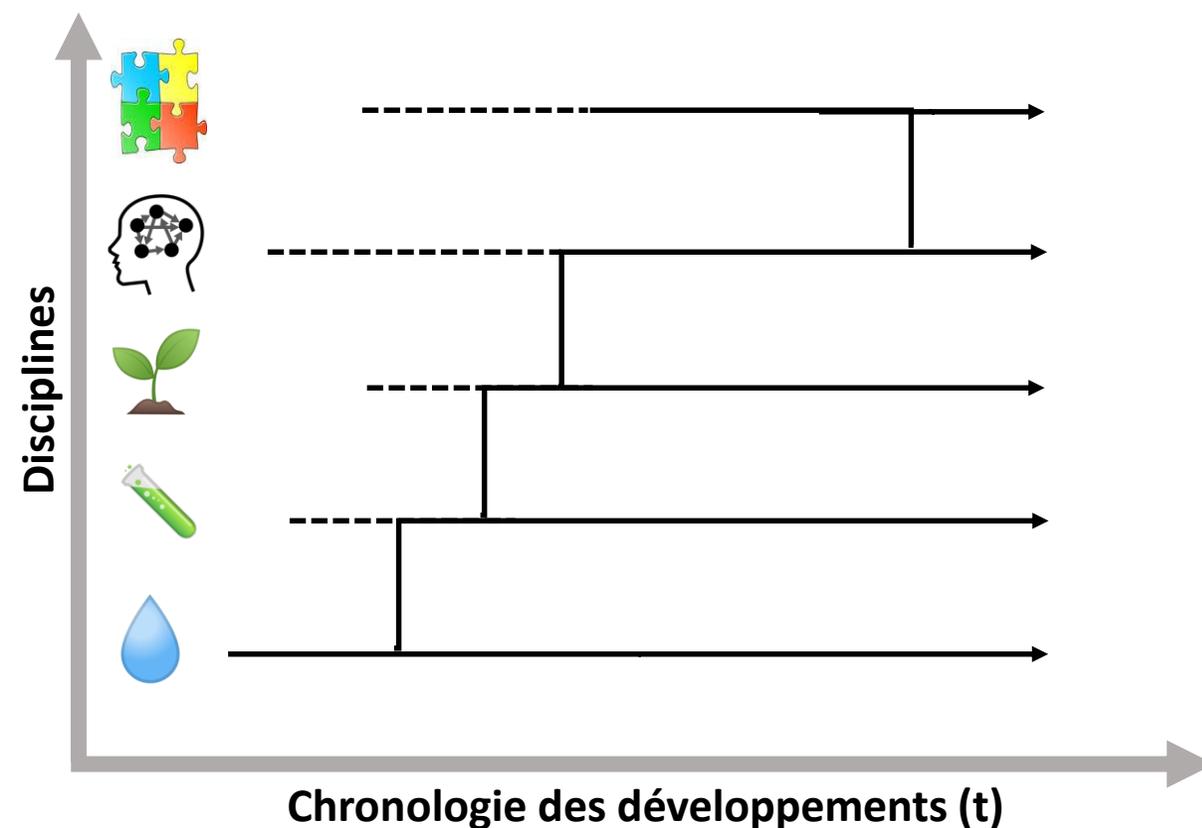
- ✓ Dév. Maths, Hydrologie, Hydraulique, Erosion
- ✓ Filiations entre modèles et ponts entre disciplines

Position des modèles dans les diagrammes espace-temps

- Adaptations de Cheviron & Moussa (2016, 2018)



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



- ✓ 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