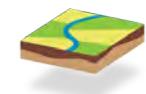




Modélisation et évaluation intégrées des systèmes agricoles à l'échelle du territoire



Olivier Therond (INRAE - MAELAB)



MAELAB

Séminaire technique de l'Observatoire de l'eau d'Alsace

19 novembre 2024

Agriculture et eau



Agriculture au cœur des enjeux :

- Consommation d'eau en période d'étiage
- Retenues collinaires
- Impacts qualitatifs sur l'eau

Variabilités intra et inter annuelles du climat et des prix

Processus en interaction :

- eau verte vs. eau bleue, production, économie, pollutions, GES...

Problème situé dans le temps et l'espace :

- Système, pédoclimat, ressources Nat. & Art., stratégies d'acteurs...
- Positions spatiotemporelles des opérations techniques

Large gamme de solutions possibles et discutées :

- Systèmes de culture (SdC) : incrémentale vs. reconception
- Gestion des ressources : optimisation vs. création
- ...

→ **Modélisation et évaluation intégrées des situations de gestion**

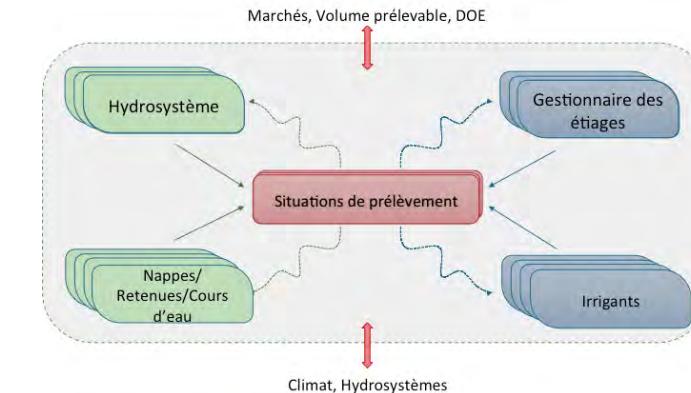


Enjeux de modélisation et évaluation



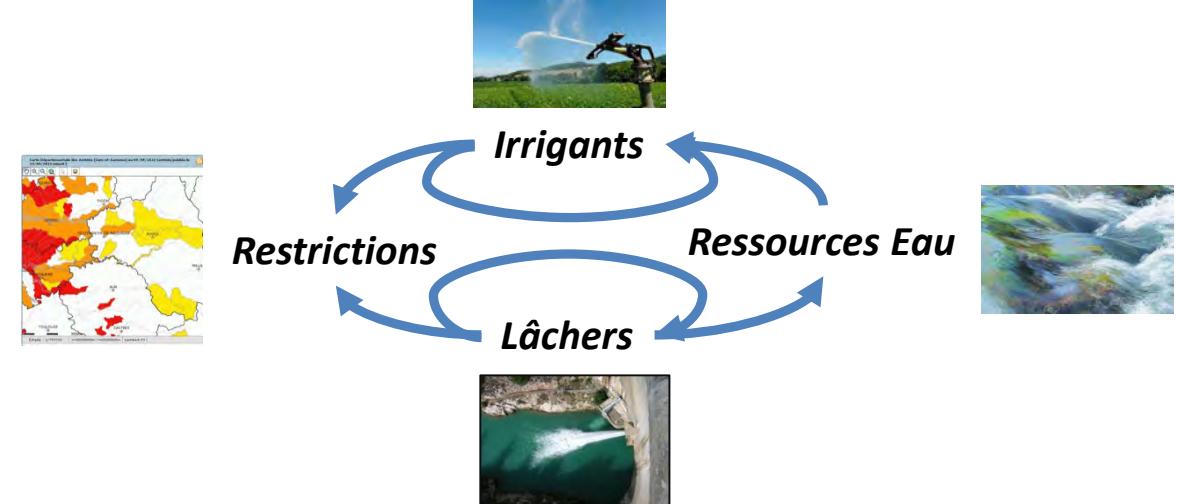
Modélisation :

- Structure du territoire : **hétérogénéité des situations d'action**
→ système culture/production x pédoclimat x ressource(s)...
- **Dynamiques** spatiotemporelles écologiques et humaines
→ **interactions et rétroactions spatiotemporelles**



Evaluation :

- **Indicateurs** environnementaux et socio-économiques aux **échelles temporelles et spatiales adaptés aux acteurs**

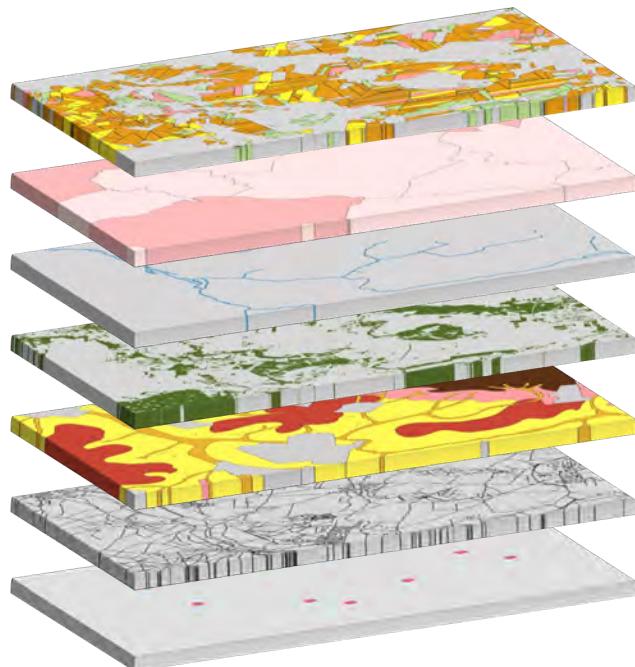


Plateforme de modélisation et simulation



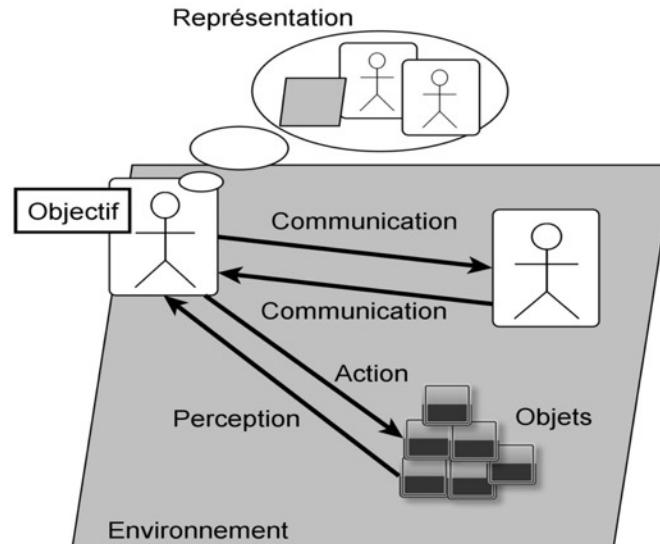
Système multi-agent spatialisé

Base de données géoréférencées
-> *structure*



+

Chaîne de modèles
-> *dynamique*



Modèles couplés :

- *Sol-plante*
- *Hydrologie*
- *Gestionnaire*
- ...

Therond et al. 2014

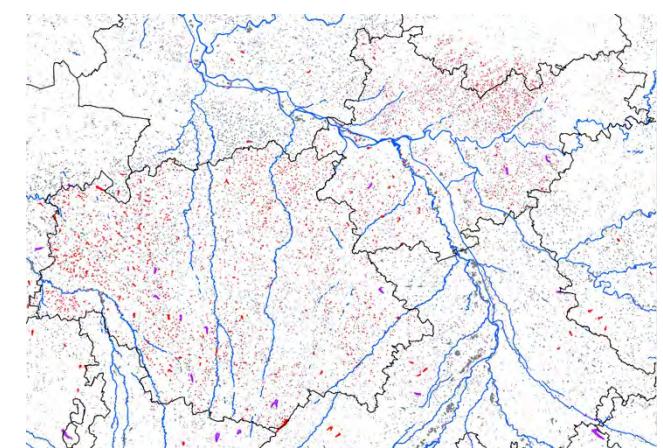
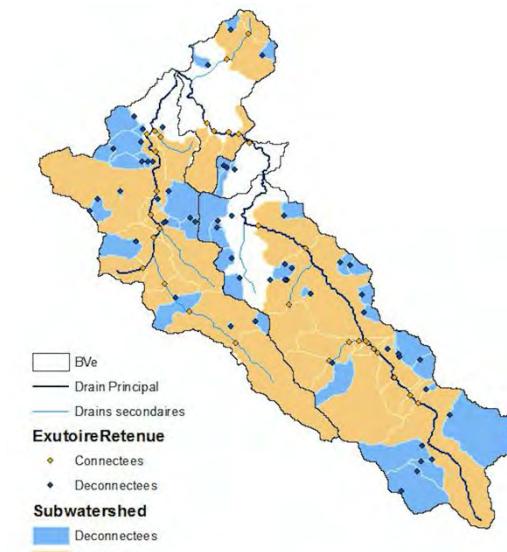
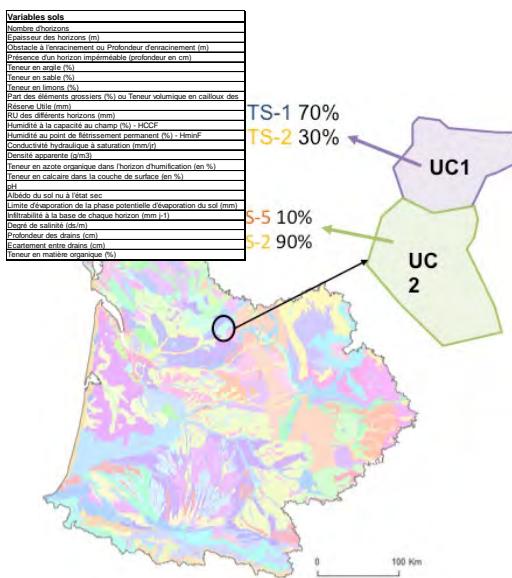
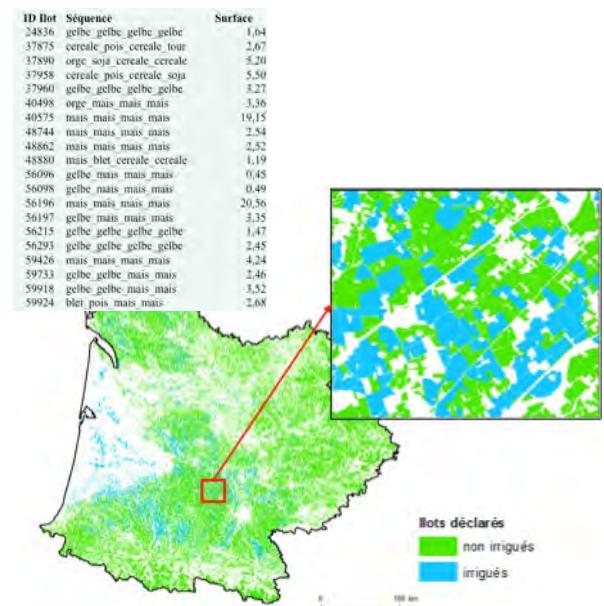


Système d'information géographique



Intégration de données :

- **Sols** (cartes au 1/50 000 → 250 000) et **Climats** (grilles 8 km)
- **Registre Parcellaire Graphique (RPG)** et **Séquences de culture observées**
- **Ressources en eau** (Agences, IGN, BRGM...)
- **Stratégies de conduite des cultures** : enquêtes auprès des conseillers et/ou agriculteurs



SURFACE EAU bd Topo® x Données MISE

Spatialisation des conduites de culture

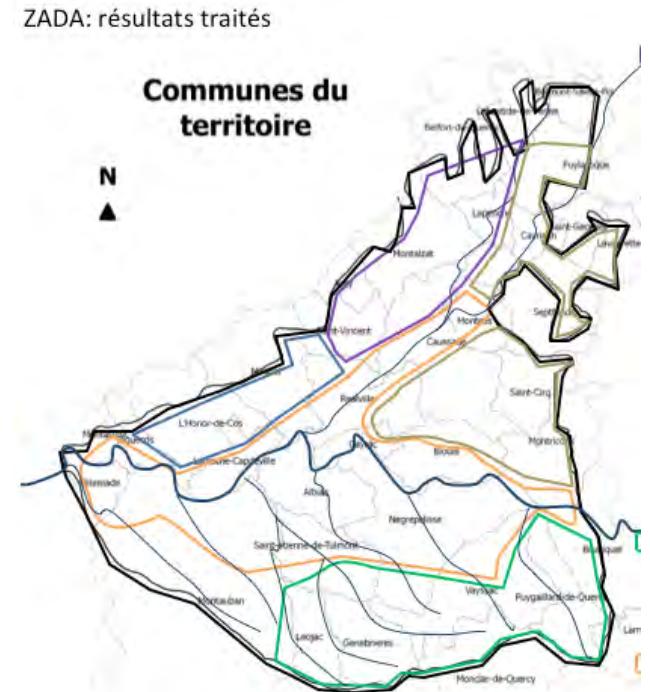


Objectif: Décrire et **spatialiser les stratégies de conduite des cultures** (Wsol, semis, ferti., phyto., irrigation, récolte) dans le territoire

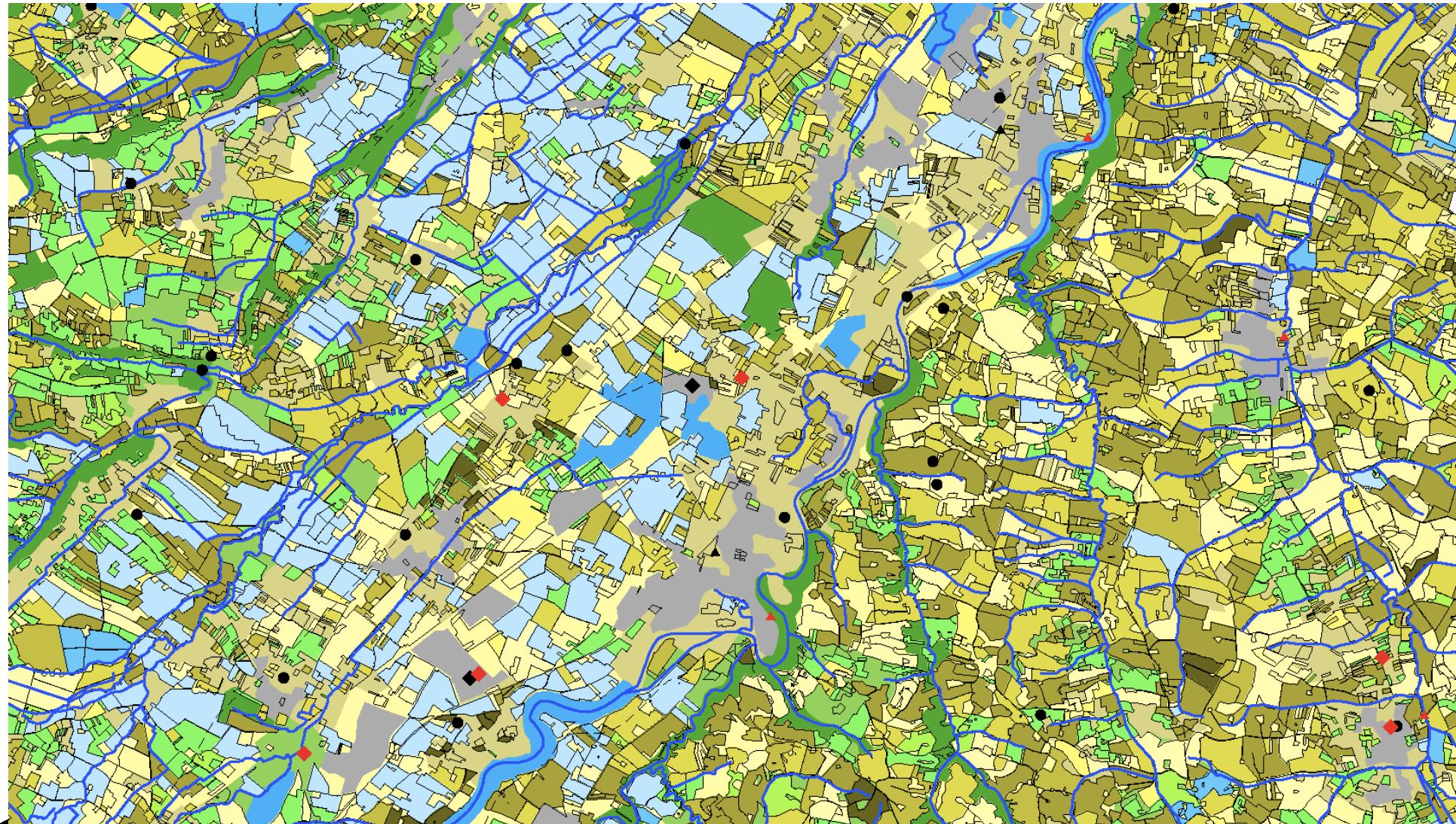
1- Zonage à dire d'acteurs des situations de production : sol - système de culture – système de production...

2- Echantillon d'exploitations et/ou dire d'experts -> **description des SdC par situation de production**

3- Traitement données spatialisées (sol, rotation, exploitation...) suivant règles d'allocation spatiale



Intégration des données → structure fine du territoire



Dynamiques spatiotemporelles



Intégration/développement de modèles « simple » et robuste :

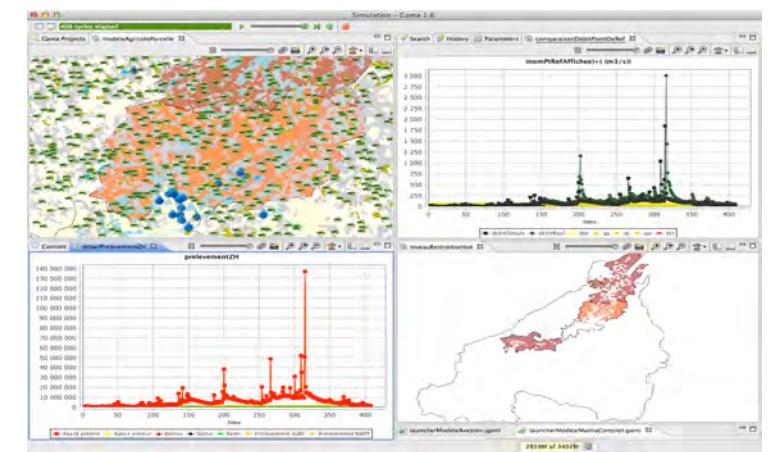
Processus écologiques :

- **Sol-plante** : modèle de culture **AqYield** et prairie **Herb'Sim**
- **Hydrologie** : modèle **SWAT®**
- ...



Processus décisionnels :

- **Agriculteur**
- **Gestionnaires de ressources**
- **Gouvernance des usages des ressources**



Agent agriculteur : conduite des cultures



Représentation des **stratégies de conduite des cultures** sous forme de règles SI – ALORS

- Règles fonction du climat passé & futur, sol, plante, ressource en eau, régulation...

Ex. Si pluie sur 7 derniers jours < 20 mm et RU < 75 % alors irrigation 40 mm

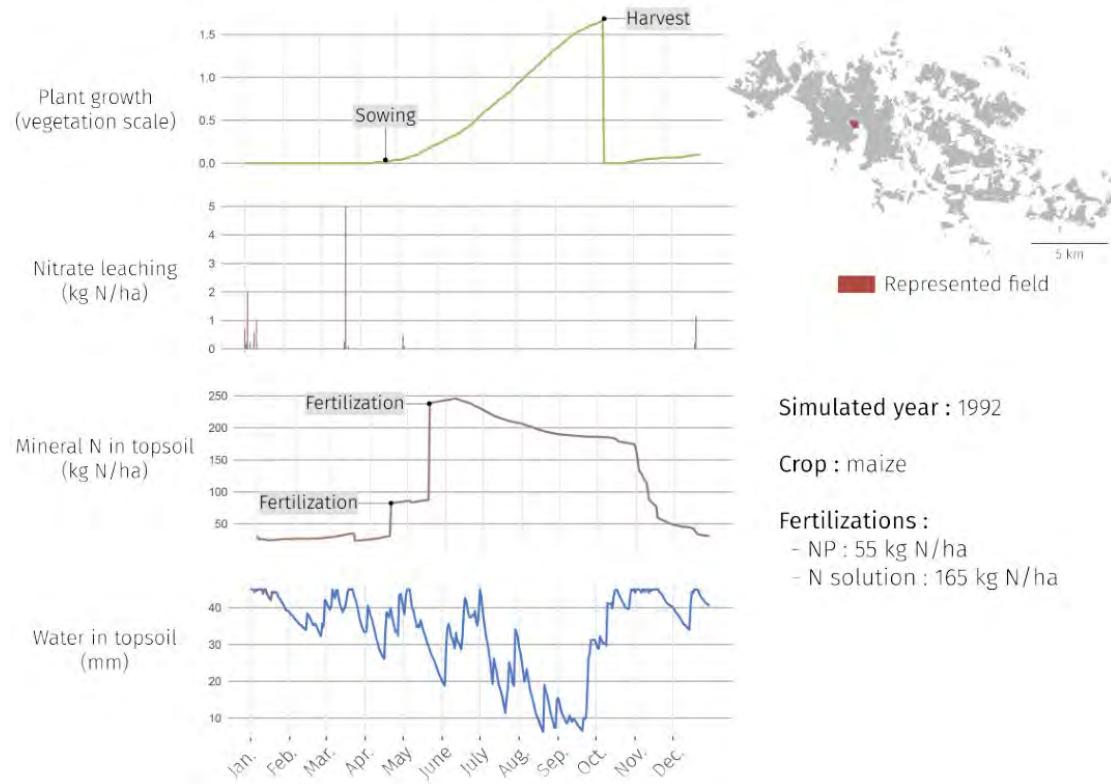


Représentation du **fonctionnement de l'exploitation** :

- Contraintes de disponibilité en travail : débit de chantier de chaque opération culturale
- Priorité entre les opérations techniques et entre ressources (eau)



Résultats temporels détaillés à la parcelle



Simulated year : 1992

Crop : maize

Fertilizations :

- NP : 55 kg N/ha
- N solution : 165 kg N/ha



- Chaque parcelle a une dynamique fonction de ses caractéristiques et de celles de l'exploitation
- Effets ad hoc des systèmes de culture sur les cycles eau, azote et carbone et... flux de biomasses

Scénarios

Factoriels et combinés

Contextes

Biophysique : climat, ressource

Economique : prix, primes

Social : contraintes sur le travail...

Entités (SdC, ressources, UT...)

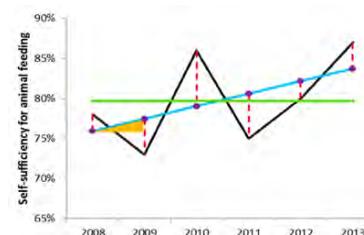
Nature

Distribution

Stratégies de gestion

Exploitations

UT, ressources...



Résultats à différents niveaux
d'organisation
(parcelle, SdC, SdP, zone)
et de temps (jour --> années)

Analyse des synergies et
antagonismes

Indicateurs

Performances et résiliences

Biophysiques

Cycle eau, N et C, fertilités des sols

Rendements

Services écosystémiques, biodiversité

Economiques

Marges brutes et semi-nette

Production, efficience

Sociaux

Nature/volume/pic de travail

Réseaux sociaux...



Application de MAELIA avec les acteurs

1- Co-construction d'un modèle de la situation actuelle



2- Co-conception d'alternatives de structure/fonctionnement



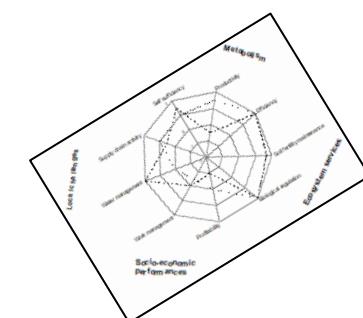
Alternative 1

Alternative 2

Alternative...

Simulations

Robustesse à la variabilité climatique



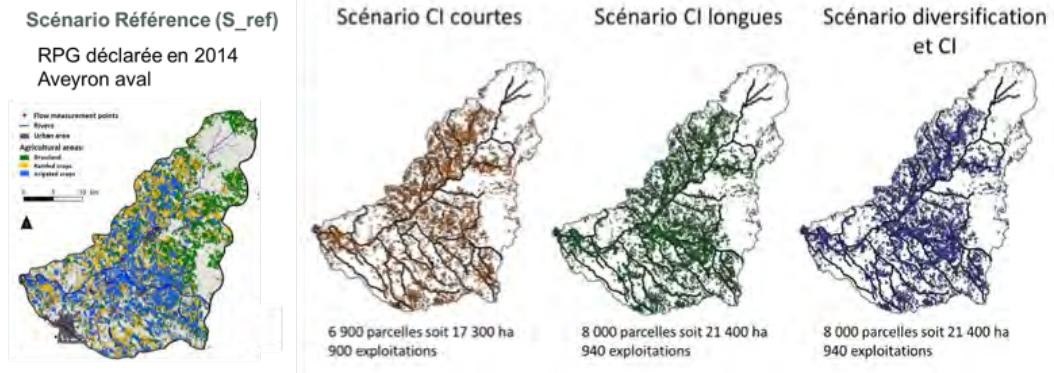
3- Co-analyse de l'évaluation intégrée de ces alternatives

Exemples de scénarios évalués : enjeu eau



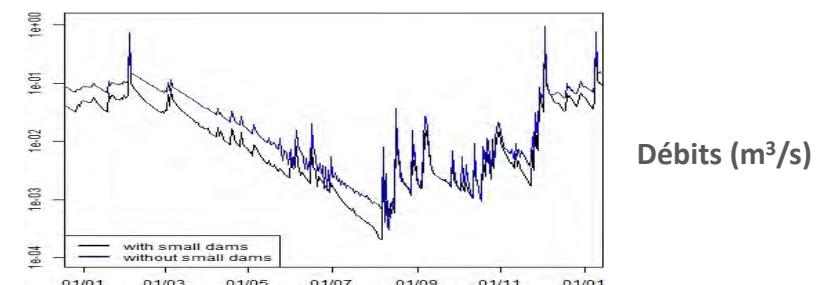
Co-construits :

- Optimisation irrigation
- Evitement : maïs précoce semé tôt
- Diversification des rotations : Maïs-blé
- Retenues de substitution vs. collinaires
- ...



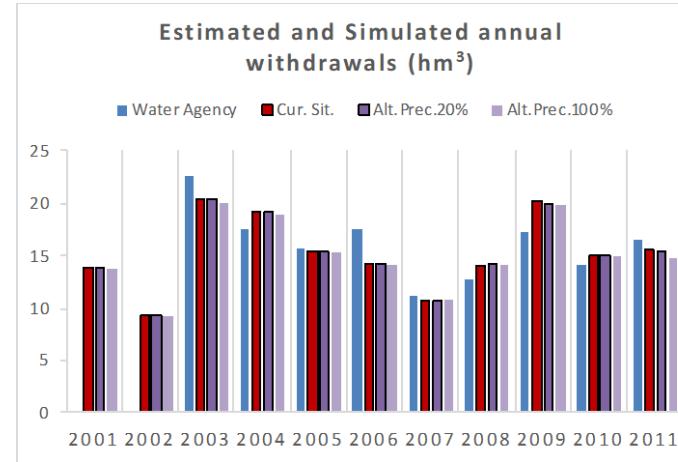
Demandes services/agences de l'état :

- Effets cumulés des retenues collinaires
- Impacts des cultures Intermédiaires (CI) courtes, longues
- Impacts agroécologie : CI longues et rotations diversifiées
- Stratégies d'atténuation et d'adaptation

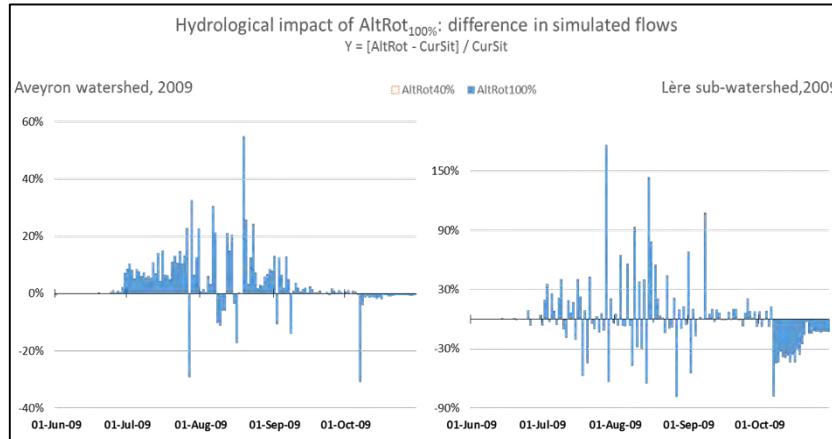


→ Effets dépendent des situations d'action : sous-bassins, SdC, périodes

Pratiques agricoles et gestion de l'eau



1. Semi var. et semis précoces maïs : très faible effet, voire contre-effet, suivant les situations



2. Rotation blé-maïs vs. maïs : effets différenciés sur les débits suivant les bassins versant, voire contre-effet !

→ Besoin d'itérations conception-évaluation !



Conception et évaluation de nouveaux



Indicator	Calculation	Period considered	Reference situation	Alternatives				
				Inter-annual mean	1. Reduced irrigated area	2. Decision-support tool	3. Large reservoirs	4. Crop rotation
Water management	CW	Sum of daily withdrawals	Entire year	13.4 hm ³	- 12%	- 33%	+ 24%	- 42%
	RR	Sum of daily reservoir releases	Entire year	5.3 hm ³	- 2%	- 18%	- 6%	- 26%
	CR	Number of days below LWRF	Entire year	43 days	- 1%	- 11%	- 6%	- 14%
Environment and hydrology	M	Mean of daily flows	Low flow (June-Sept.)	11.8 m ³ /s	+ 0.1%	+ 1.7%	+ 1.3%	+ 2.7%
	RE	Annual value of D + R-I	Entire year	274 mm	+ 1.1%	+ 2.3%	- 1.8%	+ 6.0%
Agriculture	P	Sum of field-crop production	Entire year	119,030 t	- 11%	- 0.4%	+ 3.5%	- 12.0%
	Y	Annual value of P/A	Entire year	5.6 t/ha	- 3.9%	- 0.4%	+ 3.5%	- 12.0%
	GMH	Annual value of GM/A	Entire year	505 €/ha	- 2%	- 1%	+ 9%	- 9%

$RE = \text{balance of water entering water bodies} = \text{drainage (D)} + \text{runoff (R)} \text{ from fields minus irrigation withdrawals (I)}$

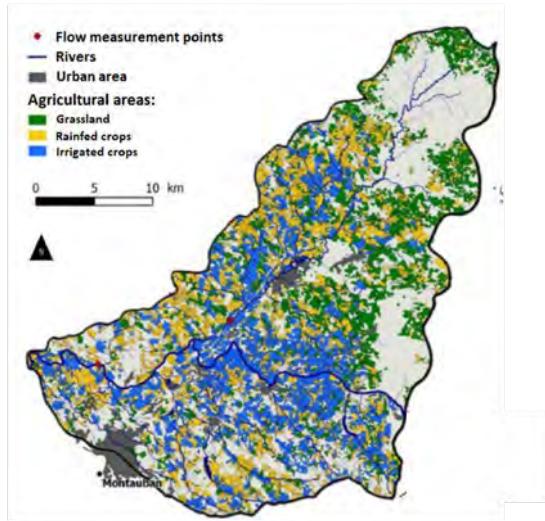
Allain et al. 2018



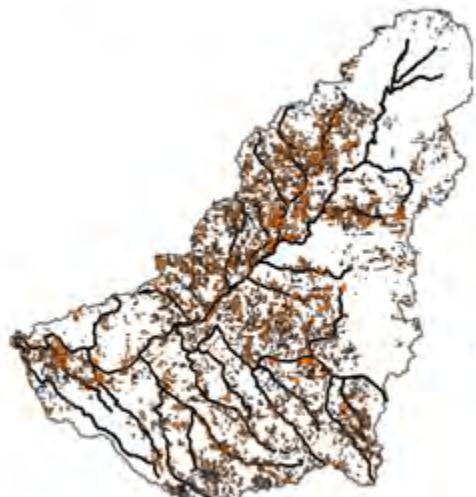
Cultures intermédiaires et flux d'eau

Scénario Référence (S_ref)

RPG déclarée en 2014
Aveyron aval



Scénario CI courtes



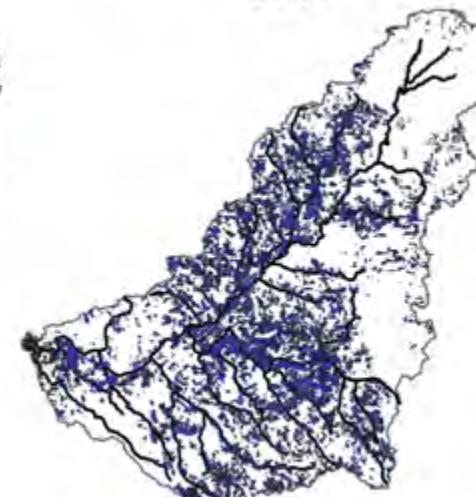
6 900 parcelles soit 17 300 ha
900 exploitations

Scénario CI longues



8 000 parcelles soit 21 400 ha
940 exploitations

Scénario diversification et CI



8 000 parcelles soit 21 400 ha
940 exploitations



- **Peu d'effets sur les prélèvements et les débits, malgré un effet sur le drainage de -5 à -10 mm mais situations avec - 40 mm (-20%)**
- **Peu d'effets sur les rendements sauf dans situations à sols superficiels non irrigués**
- **Attention aux années sèches → Effet du CC ?**

→ **Effets dépendent des situations d'action : sous-bassins, SdC, périodes**

Autres domaines d'application

Gestion territoriale des ressources organiques : quels PRO, pour quels systèmes de culture, pour quelles multi-performances ?

- Plaines de Versailles, Alsace...

Misslin et al., 2019, 2020, 2022



Système culture-élevage territorial : quels échanges pour quelles performances et résiliences ?

- Collectif exploitations en Vendée

Catarino et al. 2020, 2021a,b, Dardonville et al. 2023

Collectif de méthanisation agricole : quels systèmes de culture pour une méthanisation durable et la neutralité carbone

- Méthaniseurs en Meuse et Vosges

Colas et al. 2023

Relation entre bioéconomie et agroécologie : quels systèmes de culture et quelle(s) transformation(s) de biomasse pour le territoire

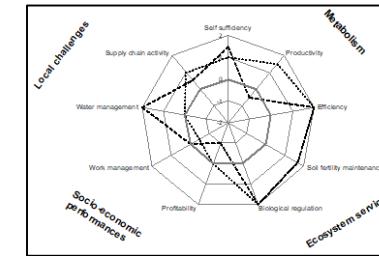
- Alsace, OPE



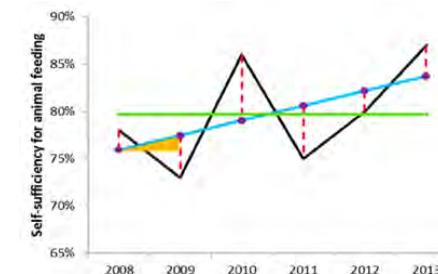
MAELIA : avancées



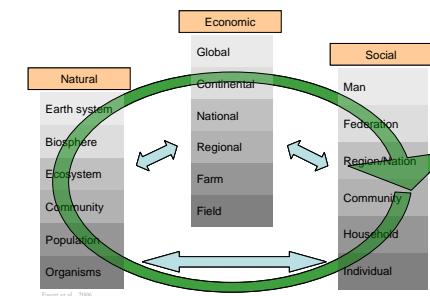
Catarino et al.
2021



Dardonville et al.
2020, 2021



Ewert et al.
2011



Murgue et al.
2015, 2016



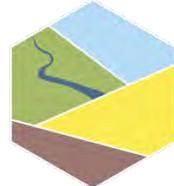
- **Intégrer les enjeux** : dépasser les approches en « silos », eau, phyto, azote, C...
→ prendre en compte de manière cohérente les grands enjeux de l'agriculture environnementaux et socio-économiques (SSE)
- **Hétérogénéités & dynamiques** : dépasser les bilans standardisés et statiques
→ prendre en compte les hétérogénéités spatiotemporelles et les dynamiques à l'origine des variabilités
- **Multiniveau** : dépasser les approches « multi points/locales »
→ prendre en compte les interactions spatiales (flux de matières et d'énergie) et contraintes de fonctionnement entre niveaux d'organisation (Sdc, exploitation...)
- **Intégration des connaissances génériques et locales**
→ prendre en compte les spécificités et contraintes locales pour assurer le réalisme des solutions





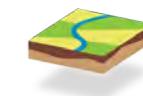
Merci de votre attention

MAELIA



lae
laboratoire
agronomie et
environnement

INRAe



MAELAB