

➤ Le Réservoir en Eau des Sols : concepts, évaluations, incertitudes, influence sur les flux d'eau verte et bleue

Isabelle Cousin, UR SOLS, Orléans
Dominique Arrouays, INFOSOL, Orléans



L'eau, le sol et l'agriculture
Académie d'Agriculture

01 décembre 2021

➤ De quoi parle-t'on ici ?

... du **Réservoir en Eau Utilisable**

- Des définitions variées ?
- De sa cartographie avec des incertitudes
- Des conséquences de l'incertitudes sur la modélisation



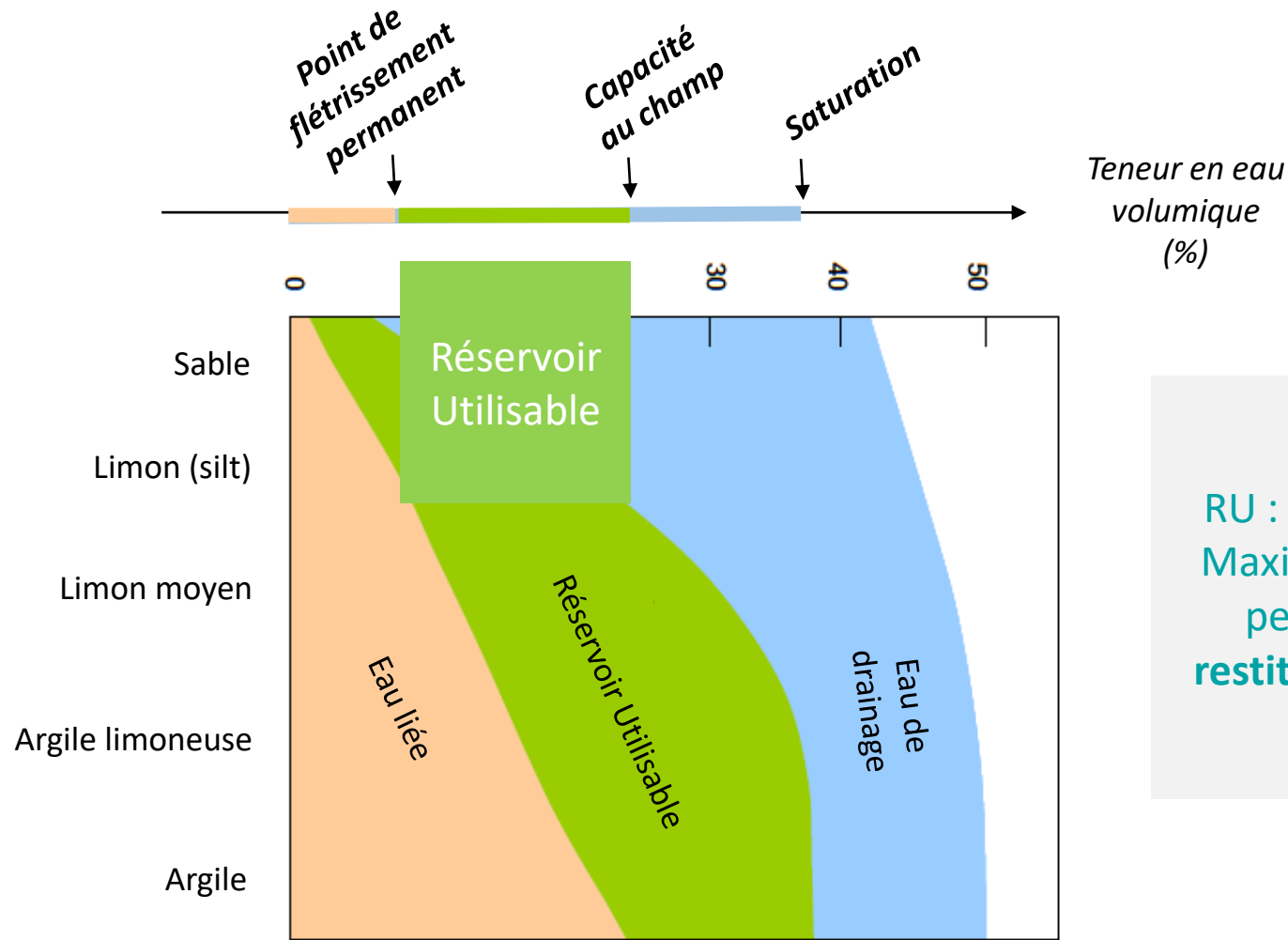
... des relations entre Flux d'**Eau verte** et Flux d'**Eau bleue**

- De leur évaluation en zone de grandes cultures
- De l'effet des pratiques agricoles sur ces relations

*Etude EFESE-EA
Thèse G. Obiang Ndong*



➤ Le RU, une caractéristique du sol...



RU : Quantité d'Eau Maximale que le sol peut **stocker** et **restituer** aux plantes

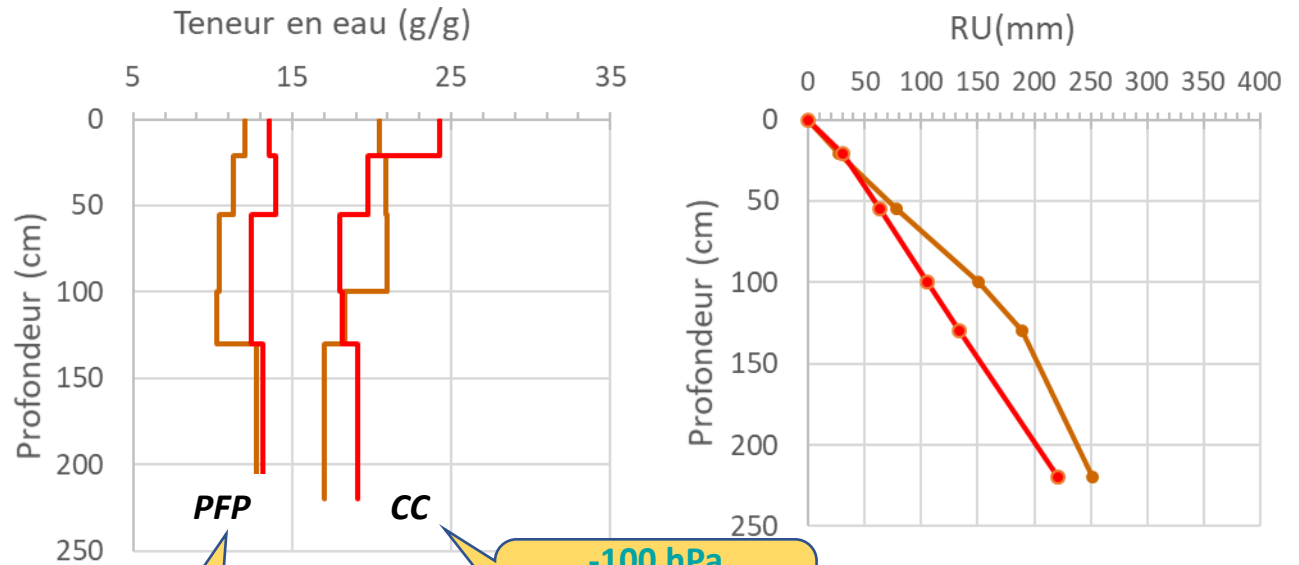
(Tunstall, Australie)

➤ Evaluation du « RU Maximal »

Expérimentations de laboratoire Presse à membrane de Richards



Soil alluvial, de texture fine (Avignon)



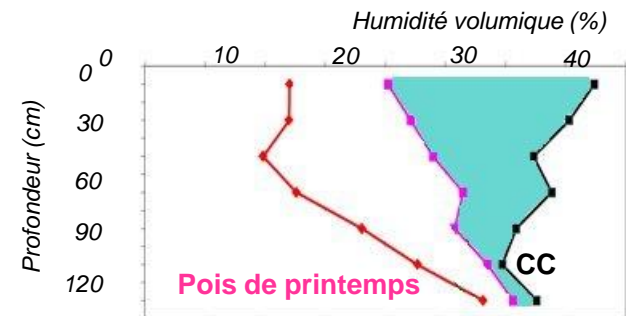
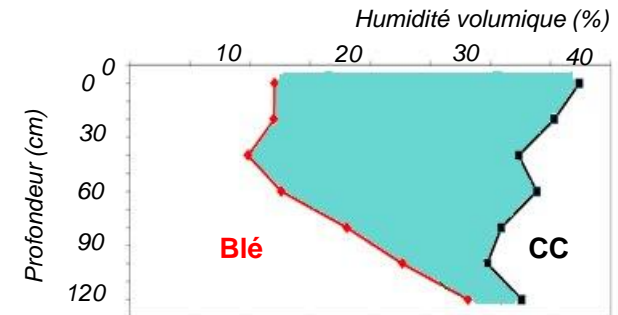
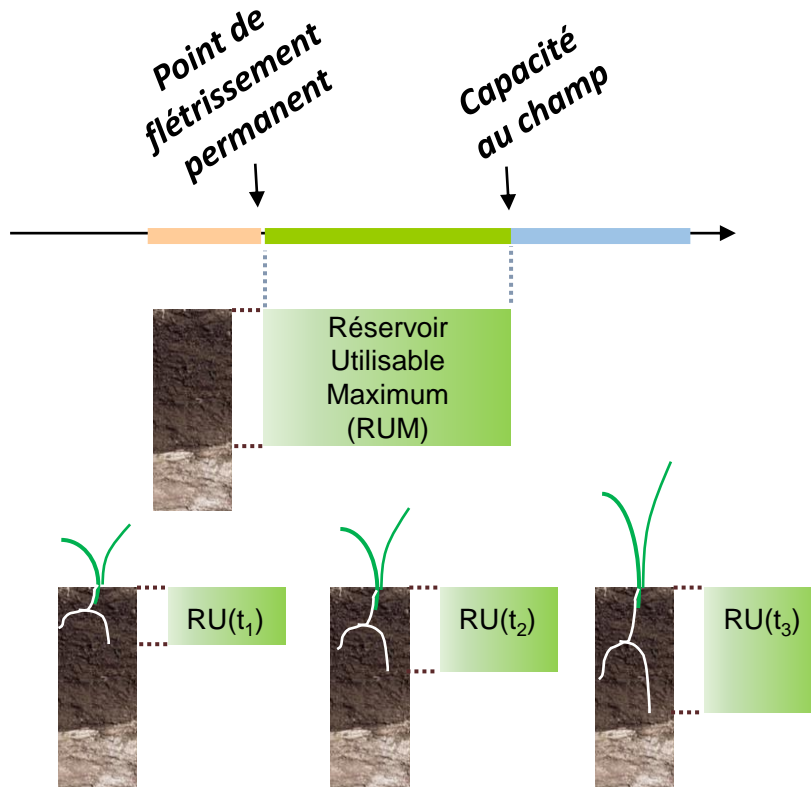
**-15 bars
(-80 bars)**

**-100 hPa
(-330 hPa)
-1000 hPa**

Fonction de pédotransfert Wösten et al. (1999)



➤ Le RU, une caractéristique du sol... et de la plante



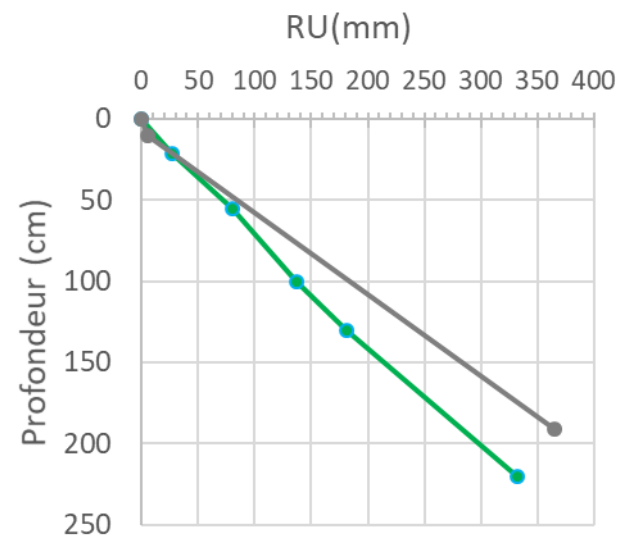
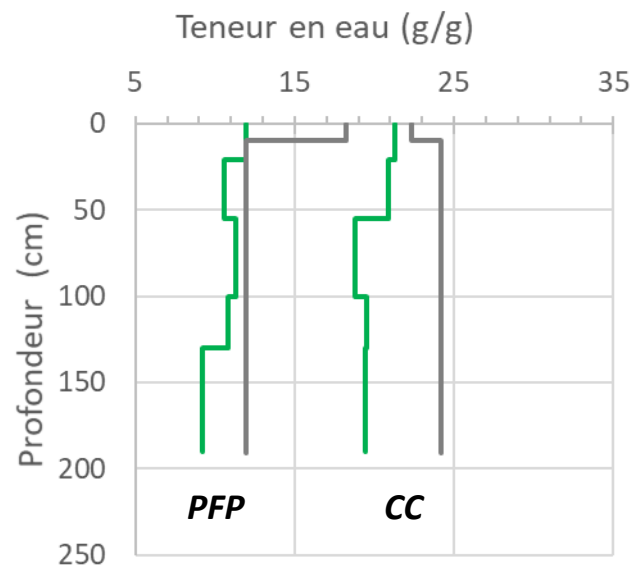
(Arvalis-Institut du Végétal)

➤ Evaluation de la Quantité d'Eau utilisée par la plante

Suivi de terrain
Mesures par sonde à neutrons (17 ans)



Soil alluvial, de texture fine
(Avignon)

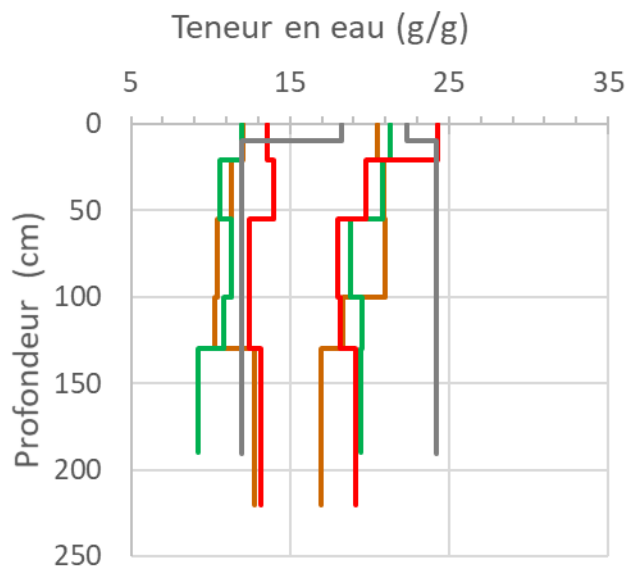


**Inversion de modèle de
culture (STICS)**
(Varella et al., 2010)

➤ Le RU, différents concepts ?

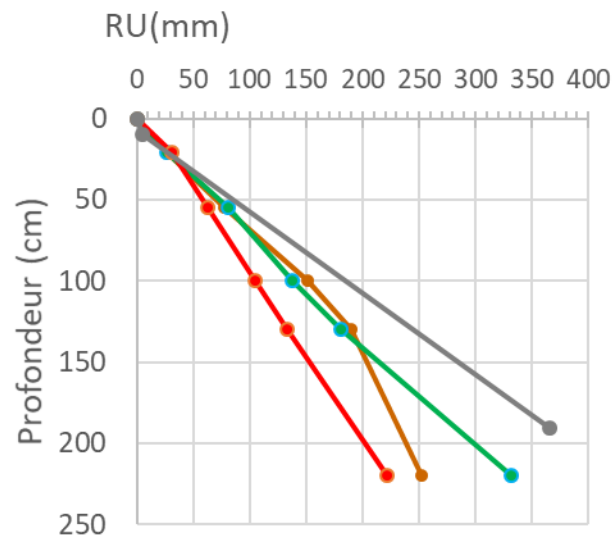
Expérimentations de laboratoire

Presse à membrane de Richards



Suivi de terrain

Mesures par sonde à neutrons (17 ans)



Fonction de pédotransfert

Wösten et al. (1999)

Inversion de modèle de culture (STICS)

(Varella et al., 2010)

➤ Le RU, différents concepts ?

Approche « Sol »

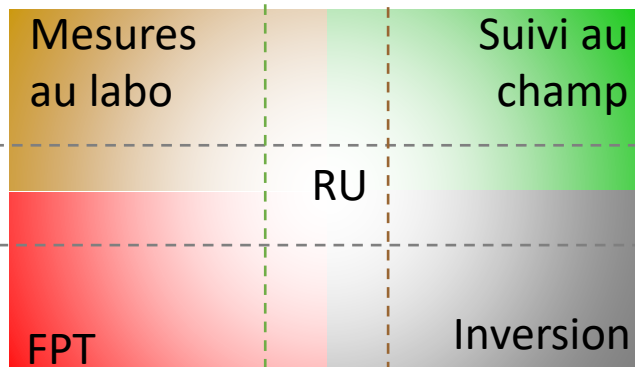
- Système à équilibre
- Réservoir fixé par la profondeur du sol

RU : quantité d'eau que le sol **peut stocker et restituer** aux plantes

(*potentialité du milieu pour une culture donnée*)

AWC : Available Water Content
AWC : Available Water Capacity

Mesures - Expérimentations



Approche « Plante »

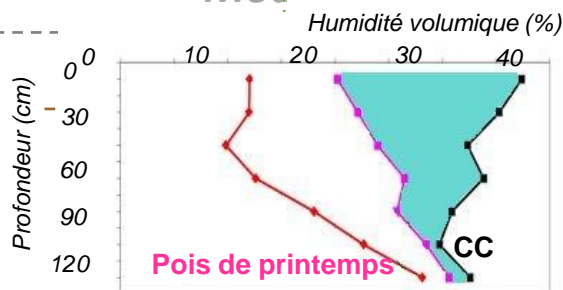
- Système hors équilibre
- Taille du réservoir fixé par la dynamique de la profondeur d'enracinement

RU : quantité d'eau que les plantes **utilisent** (?)

(*paramètre d'un modèle décrivant la **capacité réelle** du milieu*)

TTSW : Total Transpirable Soil Water
PAWC : Plant Available Water Content

Modélisation

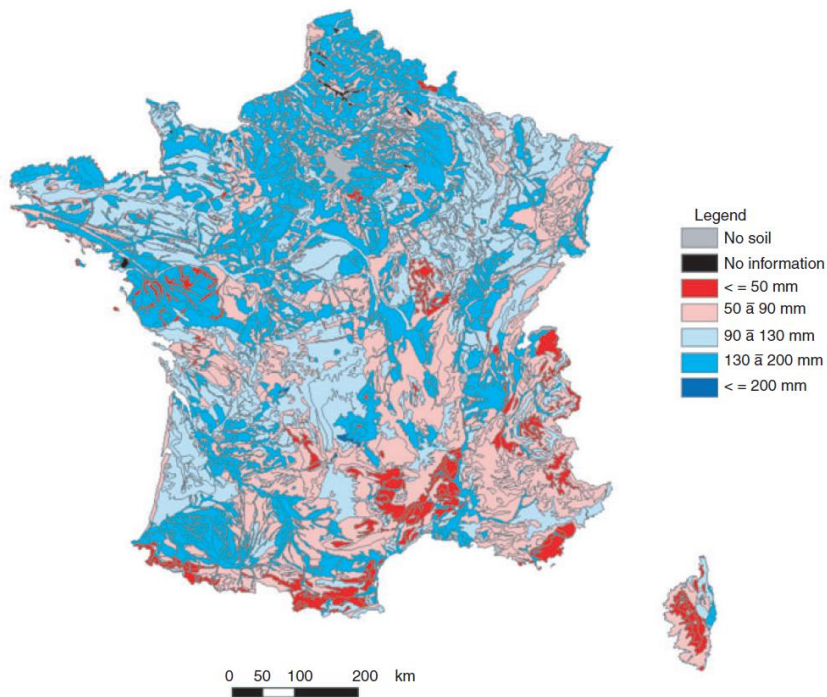


« Crop Lower Limit »

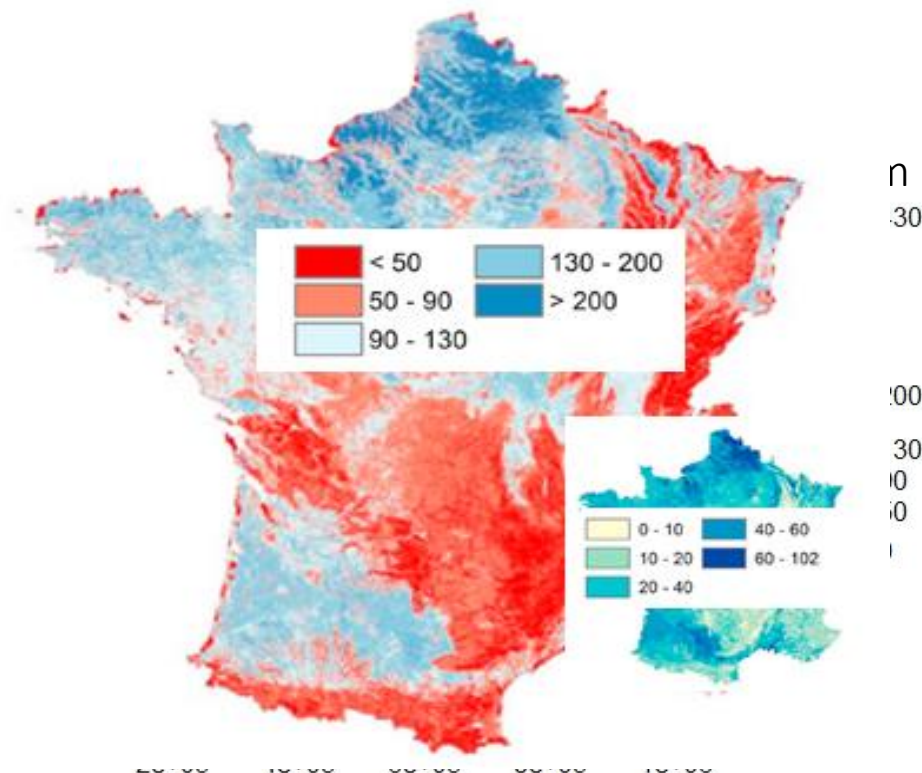
<>
PFP

➤ Evaluation du RU Maximum sur le territoire national

Format 1/1 000 000
(FTP Al Majou et al., 2008)

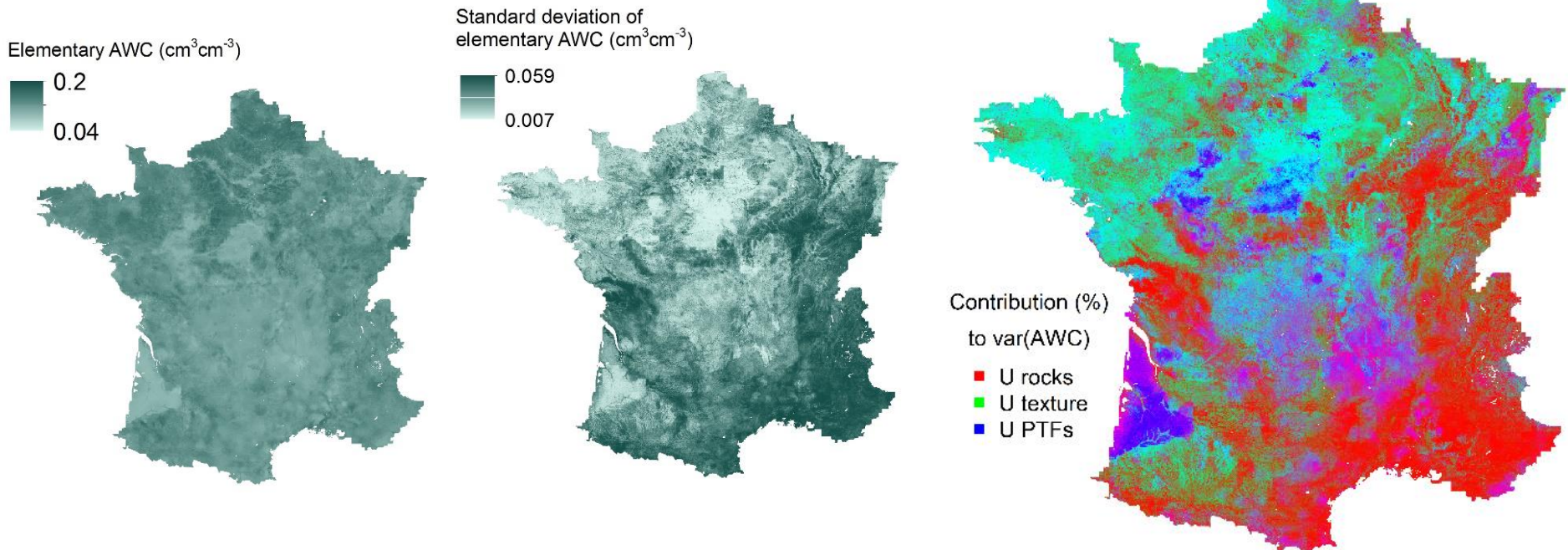


Format GlobalSoilMap
(FTP Roman Dobarco et al., 2019)



➤ Sources d'incertitudes sur l'évaluation du RU au format GlobalSoilMap

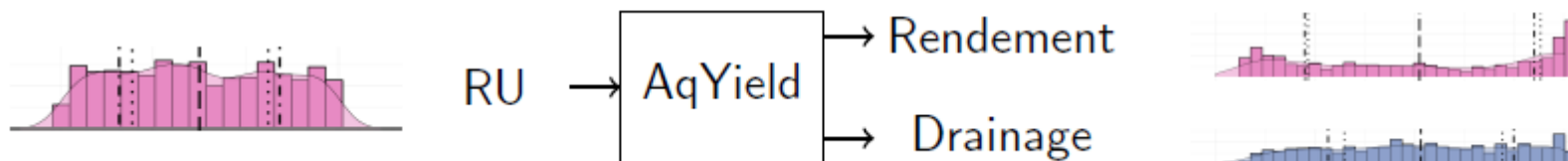
Variance du RU sur la couche 15-30 cm



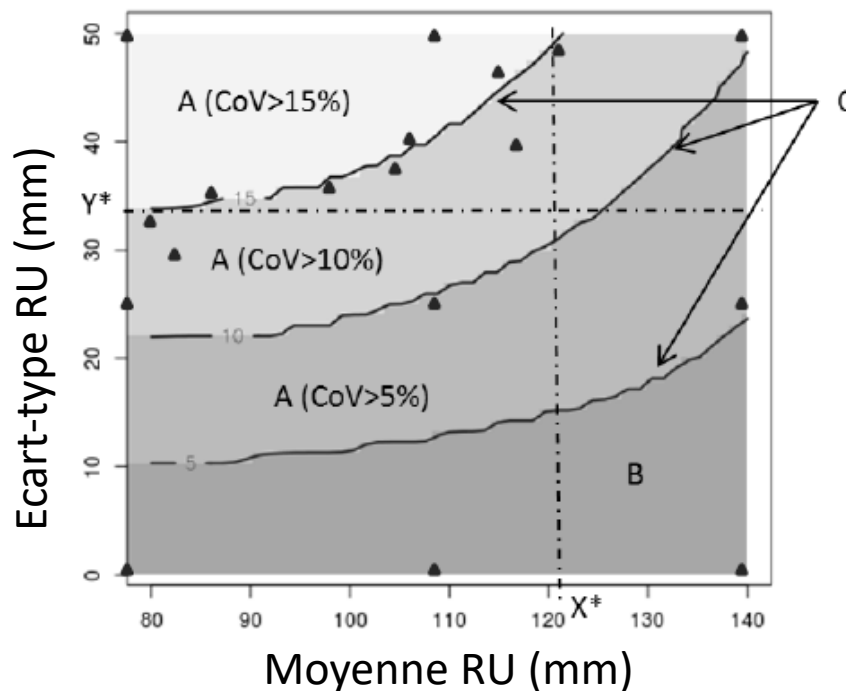
- Principale source d'incertitude : charges en **éléments grossiers**
- Zones avec variance globale faible :
 - Effet prépondérant des **FPT** (Sud-Ouest, Centre)
 - Effet prépondérant de la **granulométrie** (Nord)

➤ Propagation des incertitudes - Evaluation sur un jeu de données fictif

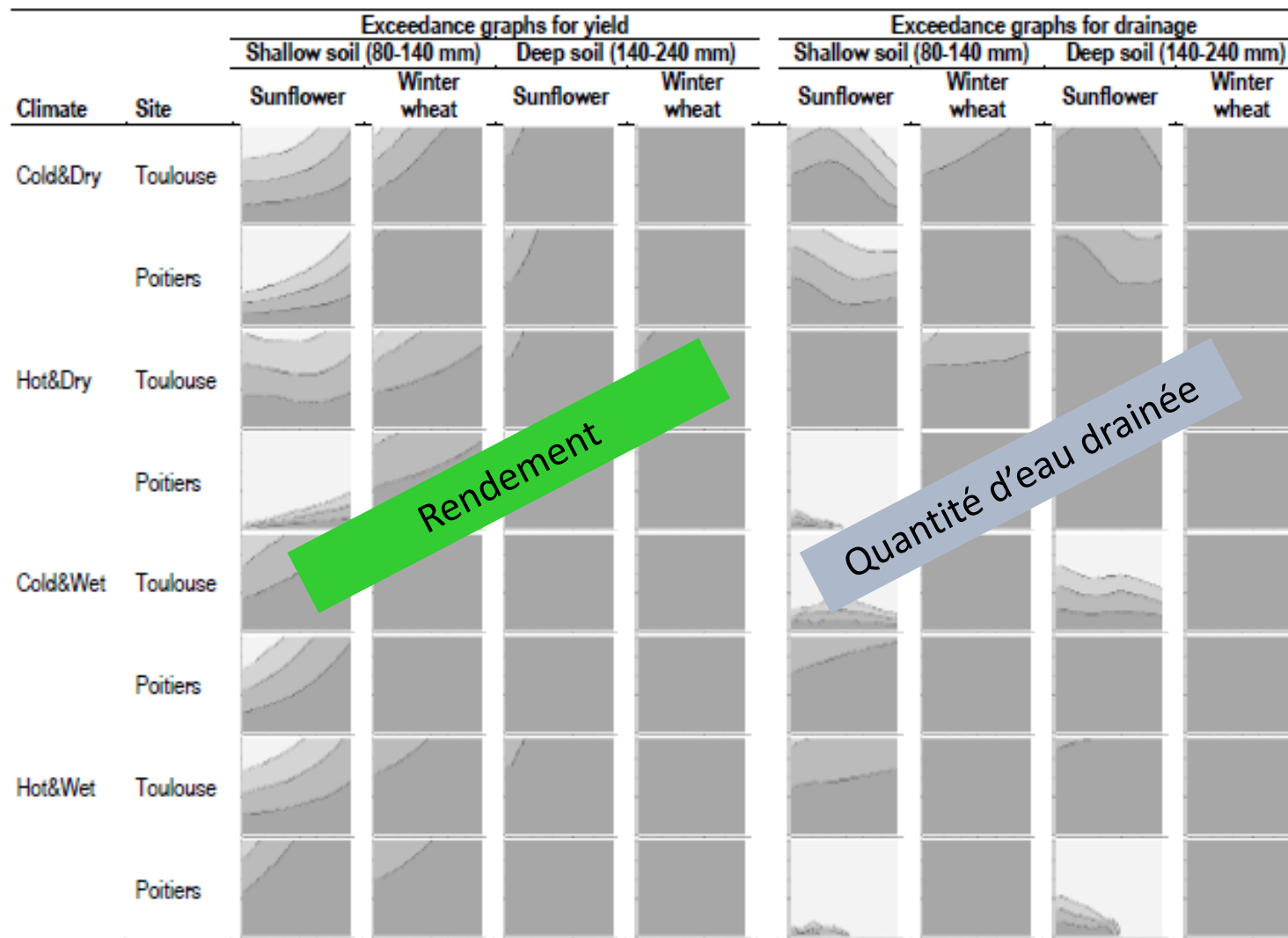
Propagation d'incertitude par simulation (Monte-Carlo)



Carte de criticité



➤ Propagation des incertitudes Evaluation sur un jeu de données fictif



Rendement

Quantité d'eau drainée



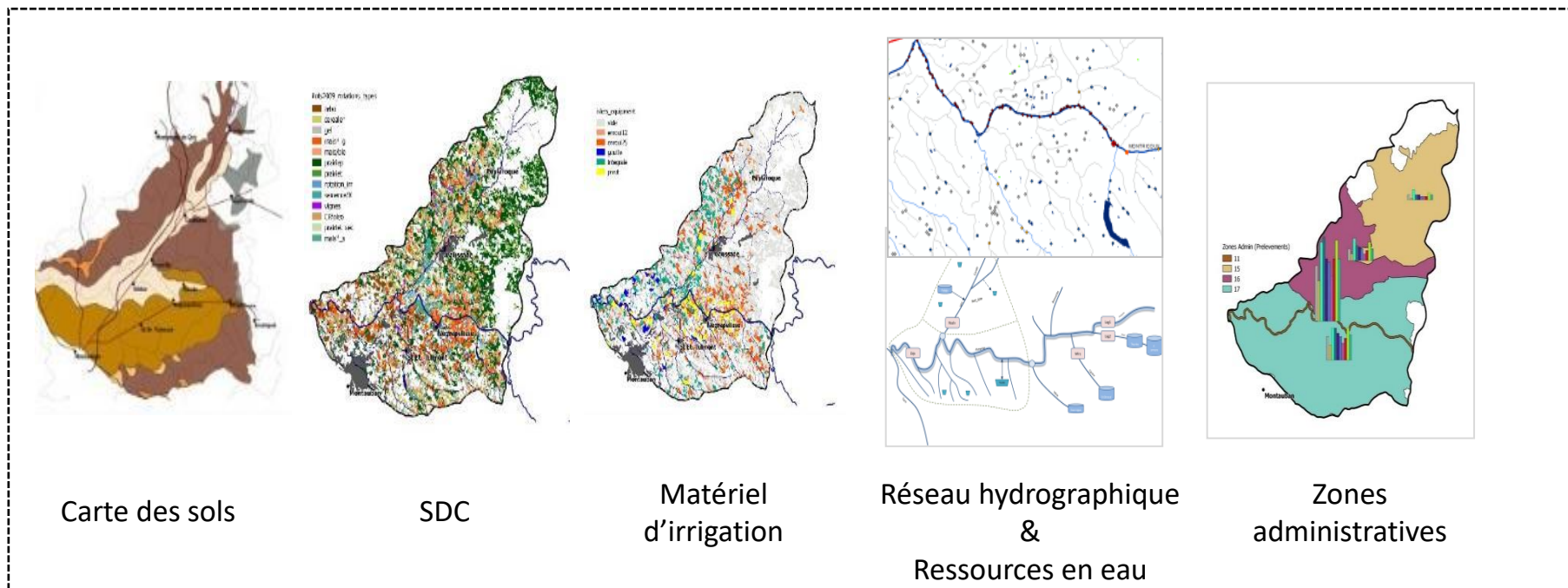
➤ Propagation des incertitudes

Evaluation sur le BV Aveyron-Aval (MAELIA)

MAELIA : Modèle agro-hydrologique de bassin versant, spatialisé, dynamique et fonctionnel

- Rendement
- Débits des cours d'eau
- Restriction pour l'irrigation
- Prélèvement d'eau pour l'irrigation

Zones agricoles -> AqYield
Zones non agricoles -> SWAT



➤ Propagation des incertitudes

Evaluation sur le BV Aveyron-Aval (MAELIA)

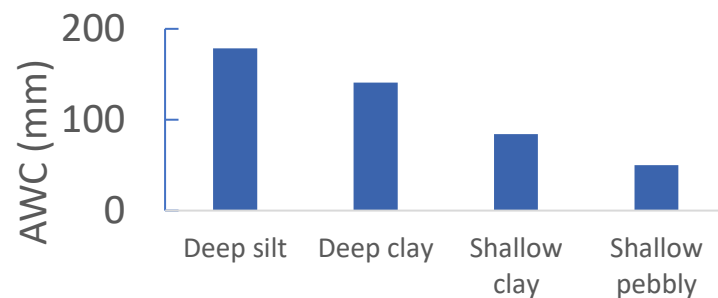
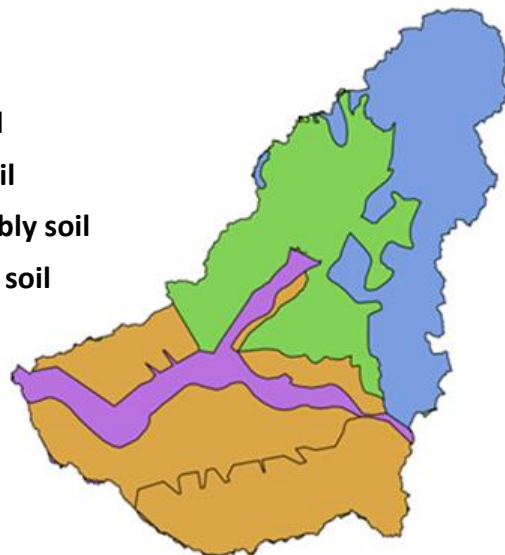
MAELIA : Modèle agro-hydrologique de bassin versant, spatialisé, dynamique et fonctionnel

- Rendement
- Débits des cours d'eau
- Restriction pour l'irrigation
- Prélèvement d'eau pour l'irrigation

Zones agricoles -> AqYield
Zones non agricoles -> SWAT

Soil types

- Deep silt soil
- Deep clay soil
- Shallow pebbly soil
- Shallow clay soil

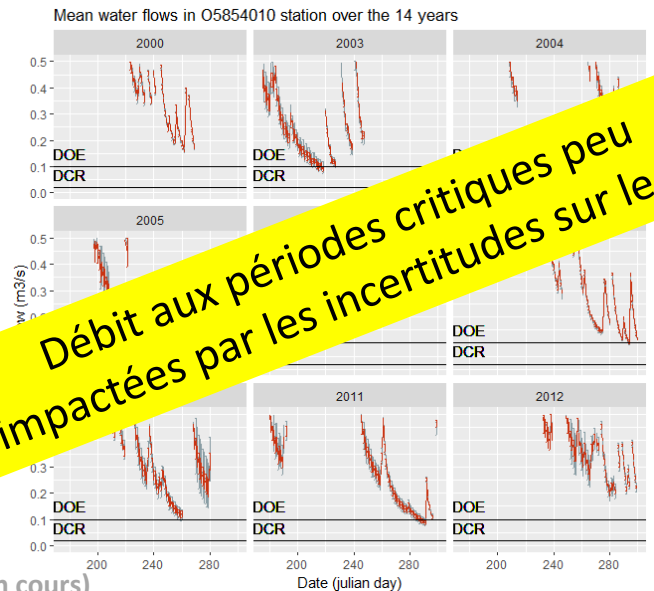
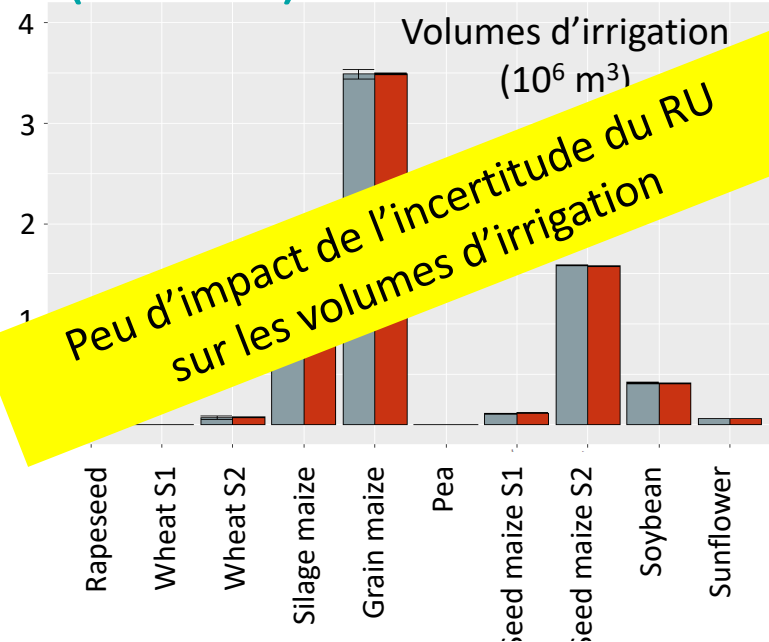
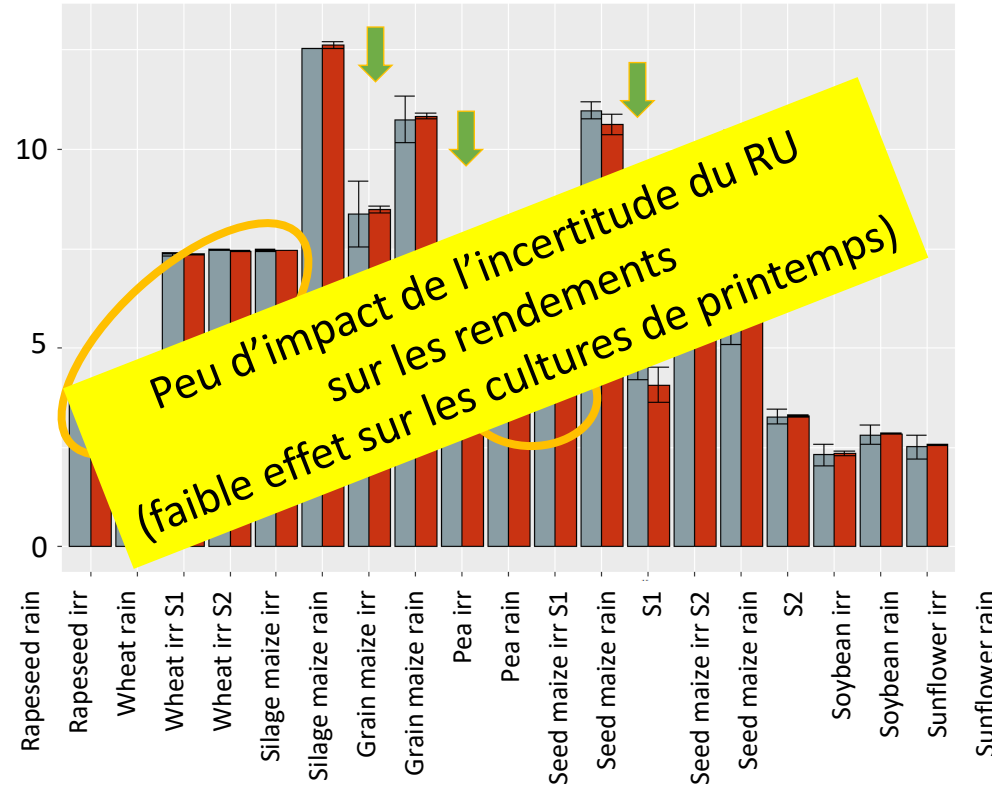


Carte 1/1 000 000^e (INRA, 1998)
RU = 54 - 178 mm

➤ Propagation des incertitudes

Evaluation sur le BV Aveyron-Aval (MAELIA)

Rendement (t/ha)



RU par zone pédologique
 RU par unité simulation

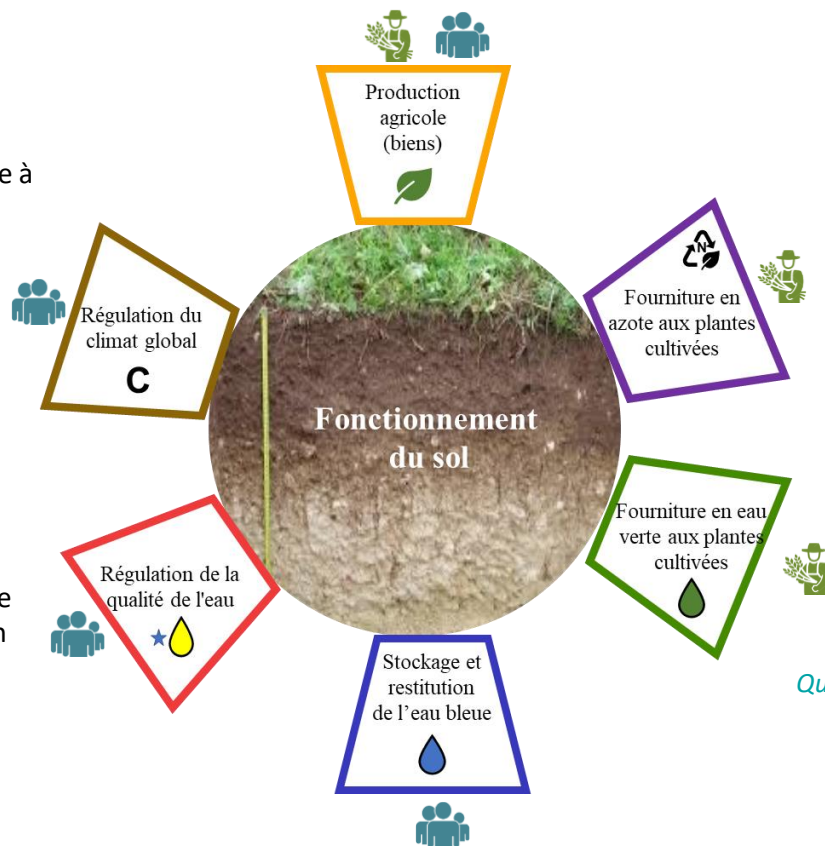
➤ SE et fonctionnement du sol (Thèse G. Obiang Ndong)

- Revenus issus de la vente de la production.
- Usage de la production pour la consommation alimentaire des sociétés humaines.

Sources d'énergie à base de biomasse
($10^7 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)

Stabilisation du climat favorable à la stabilisation des sociétés humaines.

Δ annuelle relative (%) du stock de carbone organique du sol (horizon 0-30cm) (adimensionnel)



Economie en intrants azotés d'origine minérale pour maintenir le niveau de production.

Quantité d'N minéral fournie par l'écosystème pendant le cycle de culture (kg N $\text{ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)

Préservation de la qualité chimique et écologique des eaux bleues/Bon état écologique des eaux bleues.

Proportion d'N non lessivé (adimensionnel)

Réduction de la quantité d'eau à apporter par irrigation pour maintenir le niveau de production

Quantité d'eau restituée par le sol pendant le cycle de culture en fonction des besoins d'ETM des cultures (adimensionnel)

Rendement en eau annuel moyen (adimensionnel)

Usage d'eau bleue pour des activités agricoles, domestiques, industrielles ou récréatives.

➤ Méthodologie d'évaluation

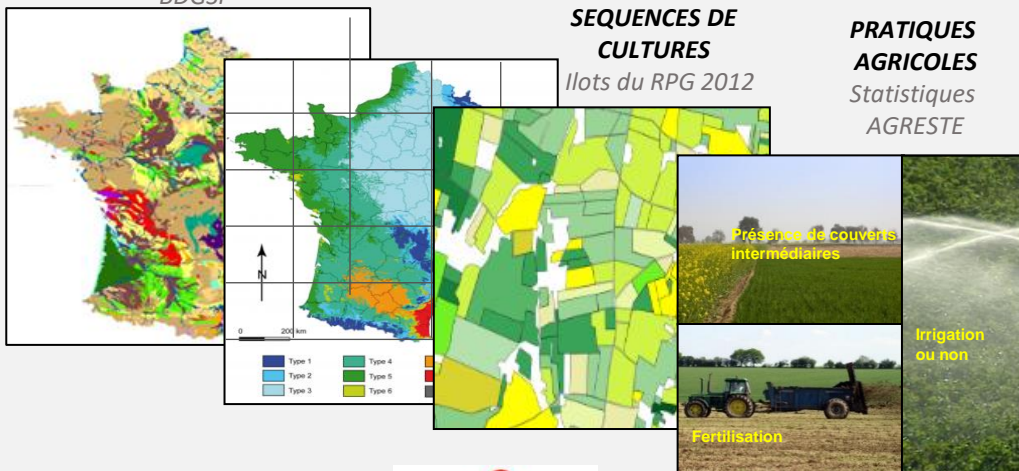
➤ Méthode de l'étude EFESE-EA et 4p1000

TYPES DE SOL
Echelle 1:1 000 000
BDGSF

CLIMAT
Grille SAFRAN
(8 km x 8 km)
Météo France

SEQUENCES DE CULTURES
Ilots du RPG 2012

PRATIQUES AGRICOLES
Statistiques
AGRESTE

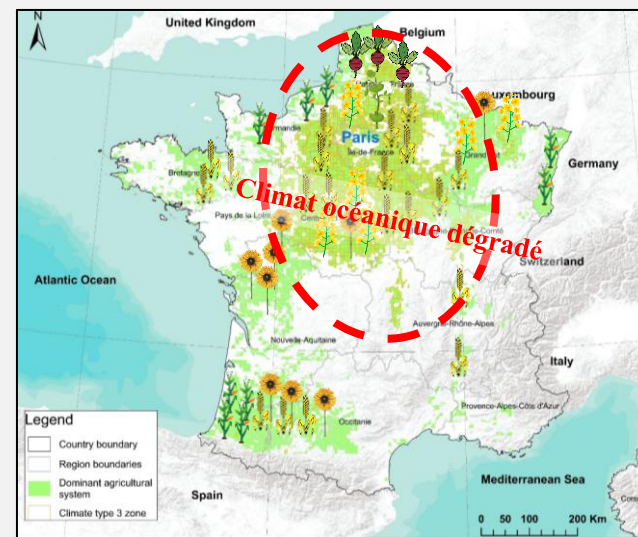


15296 situations de production en Grandes Cultures



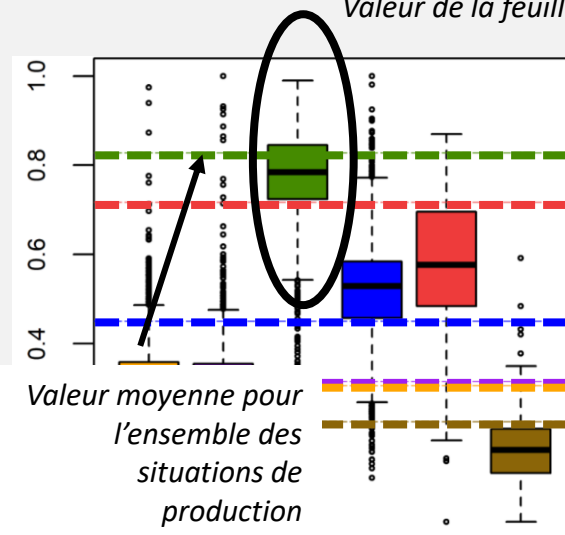
Modélisation sur 30 ans
(1983 – 2013)

➤ Focus sur le climat océanique dégradé « Nord »

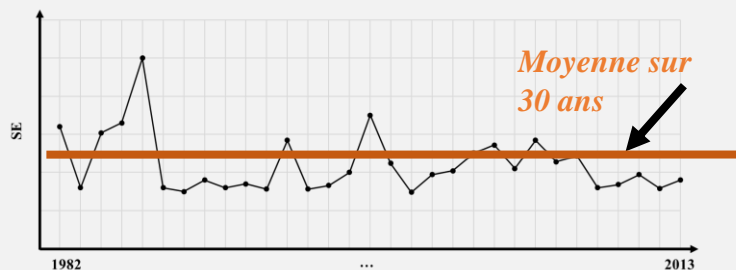


➤ Arbre de régression multivarié

Valeur de la feuille



➤ Pour chaque situation de production

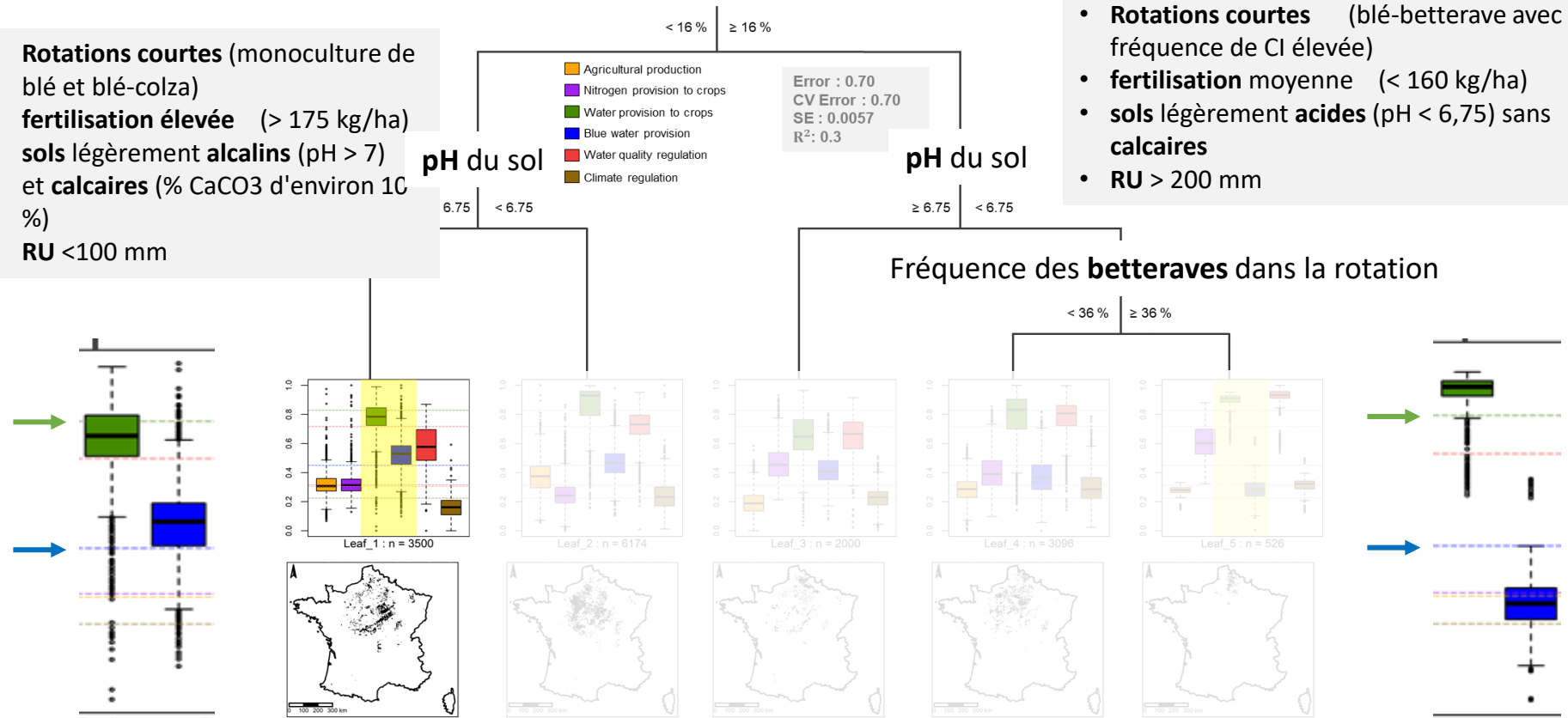


➤ Des situations d'antagonismes entre les flux d'eau verte et les flux d'eau bleue

Fréquence des cultures intermédiaires dans la rotation

- **Rotations courtes** (monoculture de blé et blé-colza)
- **fertilisation élevée** (> 175 kg/ha)
- **sols légèrement alcalins** (pH > 7) et **calcaires** (% CaCO₃ d'environ 10 %)
- **RU < 100 mm**

- **Rotations courtes** (blé-betterave avec fréquence de CI élevée)
- **fertilisation moyenne** (< 160 kg/ha)
- **sols légèrement acides** (pH < 6,75) sans **calcaires**
- **RU > 200 mm**



▶ **Antagonisme entre flux d'eau verte et d'eau bleue marqué, notamment dans les situations avec fréquence élevée de CI**

➤ Evaluer le rôle des cultures intermédiaires sur les synergies et antagonismes entre SE rendus par les sols

Simulations (locales) de différents scénarios de cultures intermédiaires

3 types de sol

- Luvisol
- Cambisol
- Fluvisol

2 rotations

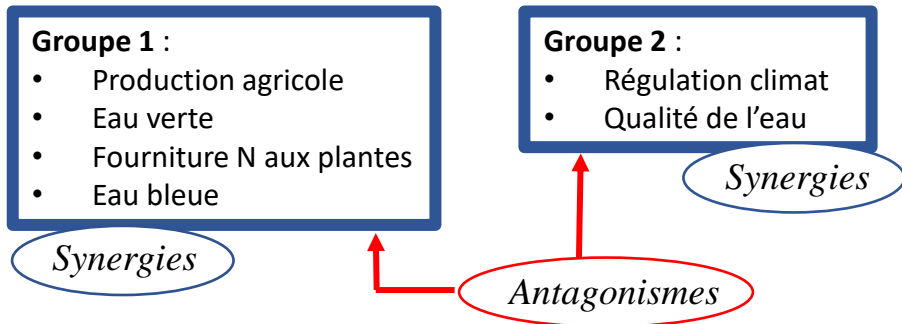
- Blé – CI - Maïs
- Blé – Blé – CI – Bet.

3 types de couverts

- Mélange d'espèces
- Moutarde blanche
- Ray-Grass d'Italie

3 modes de gestion des résidus

- Enfouissement
- Mulch
- Exportation



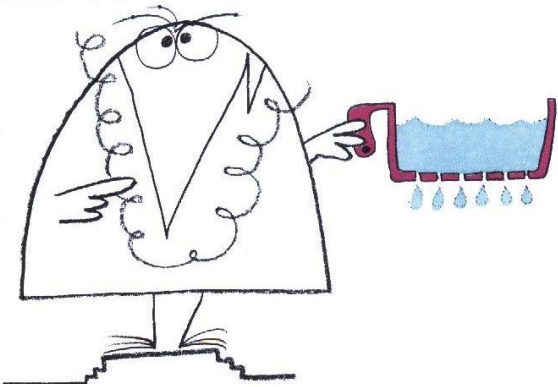
Mélange d'espèces

- ▶ **entretient les synergies**, au fil du temps, entre les SE du Groupe 1
- ▶ **favorise les synergies entre flux d'eau verte et flux d'eau bleue** (ce n'est pas le cas pour les autres CI)

- ▶ Résultats à confronter avec **des données de terrain**
- ▶ Possibilité de réaliser les simulations en **climat futur**

➤ Pour conclure – entre « trop d'eau » et « pas assez »

Quelques pistes pour des pratiques agricoles permettant d'optimiser l'utilisation de l'eau par la culture



1. Favoriser un réservoir de « grande taille »

- ☛ (Apporter des Matières Organiques)
- ☛ Promouvoir des cultures qui favorisent la structuration du sol
- ☛ Favoriser (allonger ?) les rotations

2. Favoriser le remplissage du réservoir

- ☛ Limiter le ruissellement
- ☛ Apporter de l'eau par irrigation, au bon moment, avec parcimonie

3. Limiter les pertes en eau

- ☛ Limiter l'évaporation

4. Valoriser l'utilisation de l'eau sur toute la profondeur du réservoir

- ☛ Tenir compte du potentiel des éléments grossiers
- ☛ Promouvoir des cultures à enracinement profond
- ☛ Réaliser des associations à enracinement différencié

5. Tenir compte des apports d'eau au-delà du RU

- ☛ Remontées capillaires, nappes superficielles

➤ Pour en savoir plus...

Le RU : définitions, concepts, évaluations

Bouthier A., Baudoin N., Cousin I., Deschamps T., Fort J.L., Lagacherie P., Sauter J., Scheurer O., Seger M., 2021. *Guide d'estimation du Réservoir en eau du sol Utilisable (RU) par les cultures*. Publication Arvalis

Cousin I., Buis S., Lagacherie P., Doussan C., Le Bas B., Guéris M., 2022?. *he Available Water Capacity, from a multidisciplinary and multiscale standpoint. A review*. (Agronomy for Sustainable Development)

Carte nationale du RU, Fonctions de pédotransfert

Geoderma 344 (2019) 14–30

Contents lists available at ScienceDirect

Geoderma

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geoderma

Uncertainty assessment of *GlobalSoilMap* soil available water capacity products: A French case study

M. Román Dobarco^a, Hocine Bourennane^b, Dominique Arrouays^a, Nicolas P.A. Saby^a, Isabelle Cousin^a, Manuel P. Martin^{a*}

^a INRA, UR13106 Unité Infoléol, 2163 Avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, France
^b INRA, UR62272 Unité de Science du Sol, 2163 Avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, France

Geoderma 336 (2019) 81–95

Contents lists available at ScienceDirect

Geoderma

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geoderma

Pedotransfer functions for predicting available water capacity in French soils, their applicability domain and associated uncertainty

Mercedes Román Dobarco^{a*}, Isabelle Cousin^b, Christine Le Bas^a, Manuel P. Martin^a

^a INRA, UR13106 Unité Infoléol, 2163 Avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, France
^b INRA, UR62272 Unité de Science du Sol, 2163 Avenue de la Pomme de Pin, CS 40001 Ardon, F-45075 Orléans Cedex 2, France

Incertitudes sur le RU et modélisation

Received: 20 December 2017 | Revised: 12 August 2019 | Accepted: 15 August 2019
 DOI: 10.1111/ajpa.12878

ORIGINAL ARTICLE

European Journal of
Soil Science WILEY

A method to assess the impact of soil available water capacity uncertainty on crop models with a tipping-bucket approach

Julie Constantin¹ | Victor Picheny² | Lina H. Nassar² | Jacques-Eric Bergez¹

Services écosystémiques et sols

Antagonismes et synergies entre flux d'eau verte et flux d'eau bleue

ST université de TOURS | INSA ORLÉANS

UNIVERSITÉ D'ORLÉANS

ÉCOLE DOCTORALE ÉNERGIE, MATÉRIAUX, SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

INRAE – UR Science du Sol

THÈSE présentée par :

Gregory C.S. OBIANG NDONG

soutenue le : **29 janvier 2021**

pour obtenir le grade de : Docteur de l'Université d'Orléans

Discipline/Spécialité : Sciences de l'Environnement

Analyse des relations entre services écosystémiques en lien avec le fonctionnement du sol dans les écosystèmes cultivés

THÈSE dirigée par :

Isabelle COUSIN Directrice de recherche, INRAE Science du Sol, Orléans
 Olivier THEROND Ingénieur de recherche, INRAE LAE, Colmar

RAPPORTEURS :

Adrienne GRET-REGAMEY Professeur, ETH, Zürich
 Christian WALTER Professeur, Agrocampus Ouest, Rennes

JURY :

Ary BRIUAND Professeur, Université d'Orléans, Président du jury
 Isabelle COUSIN Directrice de recherche, INRAE Science du Sol, Orléans
 Adrienne GRET-REGAMEY Professeure, ETH, Zürich
 David MONTAGNE Maître de conférences, AgroParisTech, Paris
 Guy RICHARD Directeur de Recherche, INRAE, DEPE, Paris
 Olivier THEROND Ingénieur de recherche, INRAE LAE, Colmar
 Christian WALTER Professeur, Agrocampus Ouest, Rennes

Science of the Total Environment 764 (2021) 142815

Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv

Using a multivariate regression tree to analyze trade-offs between ecosystem services: Application to the main cropping area in France

Gregory Obiang Ndong^{a*}, Jean Villerd^b, Isabelle Cousin^a, Olivier Therond^c

^a INRAE, UR1306, F-45075 Orléans, France
^b Université de Lorraine, INRAE, LAE, F-54000 Nancy, France
^c Université de Lorraine, INRAE, LAE, F-68000 Colmar, France

INRAE

Sol, RU, flux d'eau verte et bleue - I. Cousin

1^{er} décembre 2021 - Académie d'Agriculture

➤ Le Réservoir en Eau des Sols : concepts, évaluations, incertitudes, influence sur les flux d'eau verte et bleue

Isabelle Cousin, UR SOLS, Orléans
Dominique Arrouays, INFOSOL, Orléans

Merci pour votre attention !



L'eau, le sol et l'agriculture
Académie d'Agriculture

01 décembre 2021