



Une approche bio-économique pour évaluer les impacts du changement climatique sur la demande d'irrigation

Delphine BARBERIS, Pierre HUMBLLOT, Pierre-Alain JAYET*

¹UMR INRA-Agro Paris Tech Economie Publique, Centre INRA Versailles-Grignon, 78850 Grignon
*jayet@grignon.inra.fr



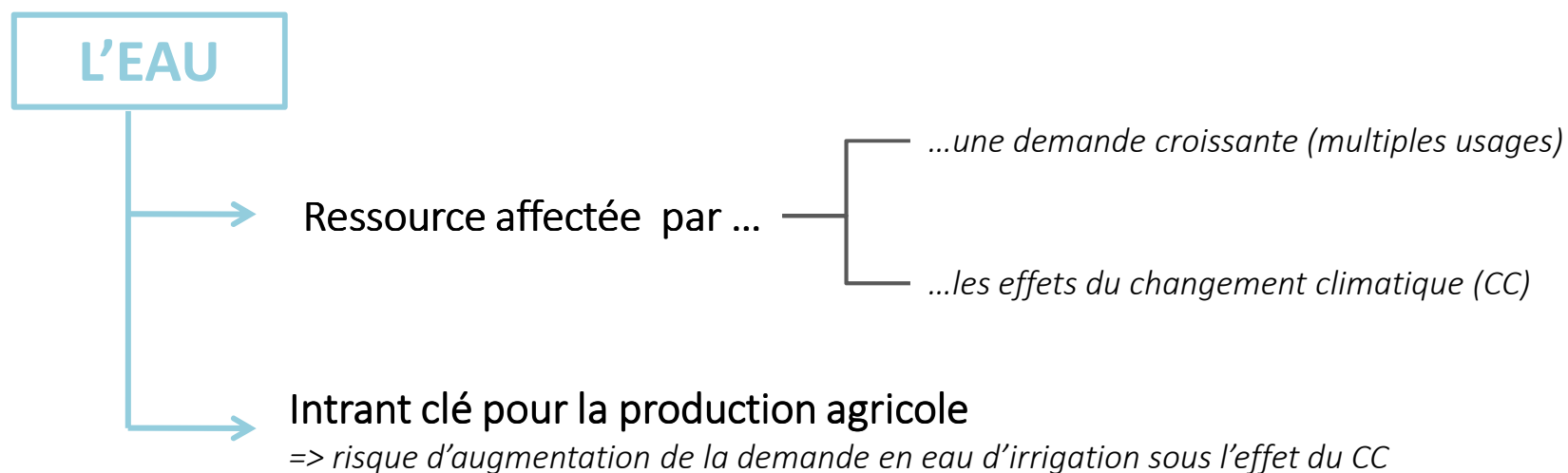
2016 colloque PIREN-Seine
6-7 octobre

© SIEGAG



INTRODUCTION

CONTEXTE :



Nombreuses études réalisées sur la relation inputs-rendements en climats actuel et futurs
(Godard et al. 2008, Leclère et al. 2013) **mais aucune ne considère l'eau comme intrant agricole**

INTRODUCTION

OBJECTIF

Disposer d'un modèle permettant une analyse prospective de la production agricole et de la demande en eau d'irrigation en climat futur

ENJEUX SCIENTIFIQUES :

- ▶ Rendre compte de la grande variabilité des systèmes agricoles et des conditions de production
- ▶ Surmonter les difficultés liées à un manque de données concernant les prix du marché (*=> nécessité d'un travail interdisciplinaire*)
- ▶ Gérer les niveau d'agrégation et les différentes échelles de restitution des résultats (*de la parcelle au niveau régional ; résolution/temps modélisation*)

METHODE GENERALE : SCHEMA

COUPLAGE AROPAJ-STICS TESTÉ SUR LES 170 GROUPES-TYPES DE LA FRANCE (RICA 2009)

DONNÉES D'ENTRÉE AROPAJ : (RICA 2009)

- Rendements cultures et élevages
- Coûts et prix



AROPAJ – MODÈLE D'OFFRE AGRICOLE

Unité spatiale pour les calculs : groupe-type (ferme virtuelle)
 Objectif : maximiser la marge-brute pour chaque groupe-type
 Durée de simulation : 92 ans (2009-2100)
 Nouveau bloc ajouté pour l'irrigation



DONNÉES DE SORTIE AROPAJ :

- Assolement
- Demandes en intrants (eau + engrais)
- Pertes en nitrates
- Marges brutes
- Rendements cultures / productions élevages

DONNÉES D'ENTRÉE STICS :

- Climats actuel (2009) et futurs (2010-2100) (ARPEGE-CLIMAT)
- Sol (BDD géographique des sols)
- Pratiques agricoles



STICS – MODÈLE DE CULTURE

Pour calibration de l'année 2009 : 2400 simulations
 Nombre de cultures simulées : 8



DONNÉES DE SORTIE STICS :

- Fonctions doses-réponses (inputs vs rendements)

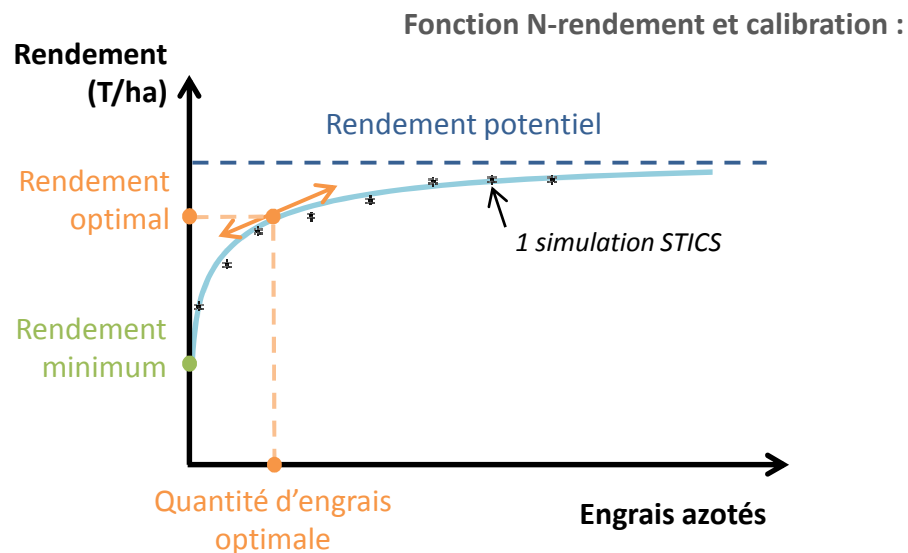


Schéma méthode générale couplage AROPAJ/STICS
 (d'après Jayet et al. 2015)

INTEGRATION INTRANT « EAU » : FONCTION DOSE-REPONSE

LA MÉTHODE EN 2D (SANS PRISE EN COMPTE DE L'EAU COMME INTRANT)

(GODARD ET AL. 2008)



Equation de la fonction N-rendement :

$$y(N; \theta) = \underbrace{\phi}_{\text{Rendement potentiel}} \underbrace{(1 - e^{-\tau(N_0 + N)})}_{\text{Rôle de l'intrant « azote »}} \quad (\text{with } \theta = \{\phi, N_0, \tau\}):$$

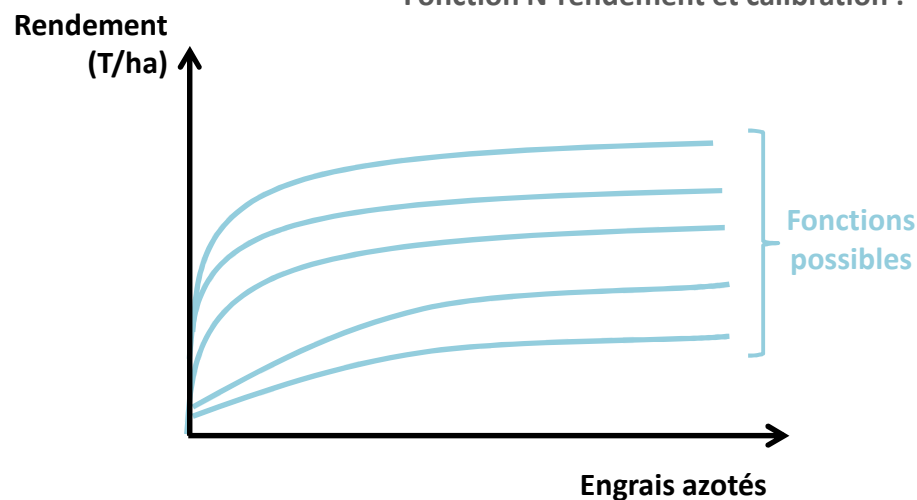
N : azote ajouté (T) N_0 : azote initial / sol (T) τ : efficacité (T⁻¹)
 y : rendement (T) ϕ : potentiel agronomique (T) y, ϕ, N : quantités par ha

INTEGRATION INTRANT « EAU » : FONCTION DOSE-REPONSE

LA MÉTHODE EN 2D (SANS PRISE EN COMPTE DE L'EAU COMME INTRANT)

(GODARD ET AL. 2008)

Fonction N-rendement et calibration :



Equation de la fonction N-rendement :

$$y(N; \theta) = \underbrace{\phi}_{\text{Rendement potentiel}} \left(1 - e^{-\underbrace{\tau(N_0 + N)}_{\text{Rôle de l'intrant « azote »}} \right) \quad (\text{with } \theta = \{\phi, N_0, \tau\}):$$

N : azote ajouté (T) N_0 : azote initial / sol (T) τ : efficacité (T⁻¹)
 y : rendement (T) ϕ : potentiel agronomique (T) y, ϕ, N : quantités par ha

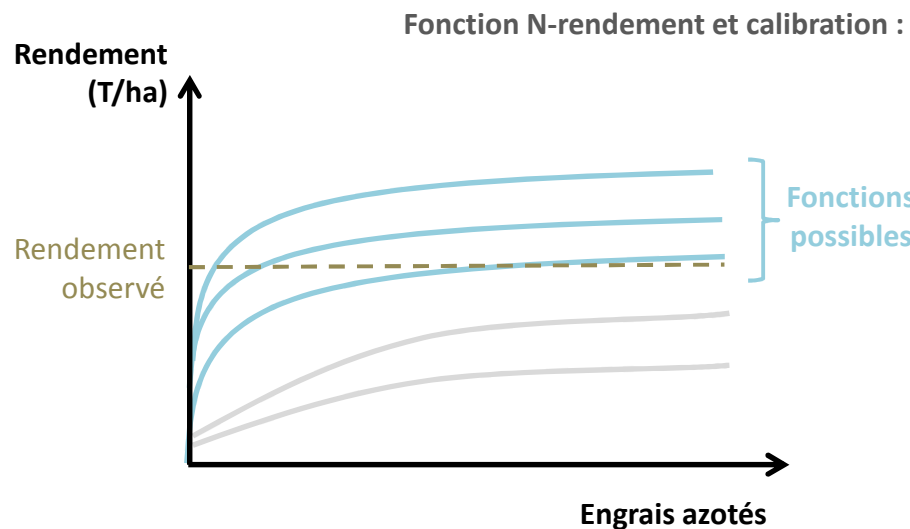
Sélection des fonctions de réponse en 2 étapes :

- 1 – Utilisation du rendement observé
- 2 – Utilisation d'un critère économique

INTEGRATION INTRANT « EAU » : FONCTION DOSE-REPONSE

LA MÉTHODE EN 2D (SANS PRISE EN COMPTE DE L'EAU COMME INTRANT)

(GODARD ET AL. 2008)



Equation de la fonction N-rendement :

$$y(N; \theta) = \underbrace{\phi}_{\text{Rendement potentiel}} \underbrace{(1 - e^{-\tau(N_0 + N)})}_{\text{Rôle de l'intrant « azote »}}$$

(with $\theta = \{\phi, N_0, \tau\}$):

N : azote ajouté (T) N_0 : azote initial / sol (T) τ : efficacité (T⁻¹)
 y : rendement (T) ϕ : potentiel agronomique (T) y, ϕ, N : quantités par ha

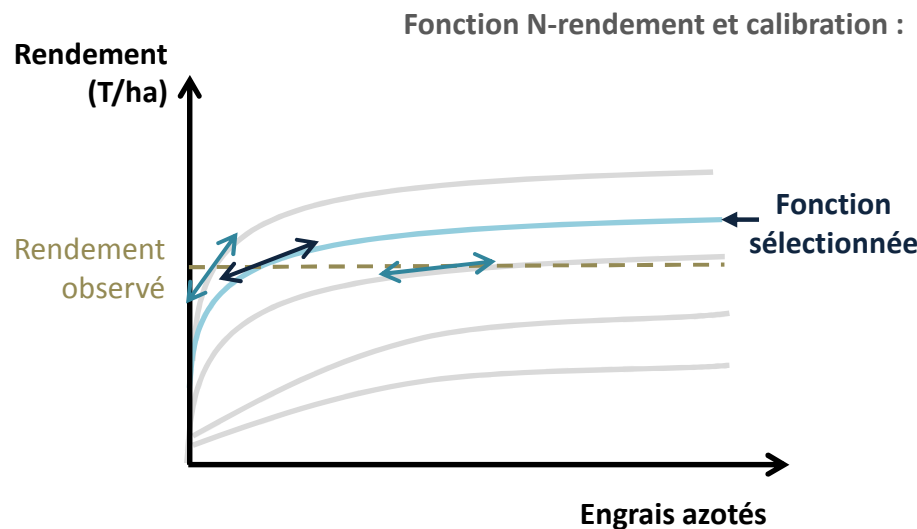
Sélection des fonctions de réponse en 2 étapes :

- 1 – Utilisation du rendement observé
- 2 – Utilisation d'un critère économique

INTEGRATION INTRANT « EAU » : FONCTION DOSE-REPONSE

LA MÉTHODE EN 2D (SANS PRISE EN COMPTE DE L'EAU COMME INTRANT)

(GODARD ET AL. 2008)



Equation de la fonction N-rendement :

$$y(N; \theta) = \phi(1 - e^{-\tau(N_0 + N)}) \quad (\text{with } \theta = \{\phi, N_0, \tau\}):$$

Rendement potentiel Rôle de l'intrant « azote »

N : azote ajouté (T) N_0 : azote initial / sol (T) τ : efficacité (T⁻¹)
 y : rendement (T) ϕ : potentiel agronomique (T) y, ϕ, N : quantités par ha

Sélection des fonctions de réponse en 2 étapes :

- 1 – Utilisation du rendement observé
- 2 – Utilisation d'un critère économique

INTEGRATION INTRANT « EAU » : FONCTION DOSE-REPONSE

EXTENSION DE LA METHODE *Godard et al, 2008* :

<i>Godard et al, 2008</i>	<i>Humblot et al, 2016</i>
FONCTION N-RENDEMENT	FONCTION N-H ₂ O-RENDEMENT
PRIX/COÛTS CONNUS	MANQUE DE DONNEES SUR L'EAU
Y* = 1 POINT SUR LA COURBE	Y = 1 COURBE SUR 1 SURFACE
30-60 COMBINAISONS DE MODALITES PAR CULTURE POUR CRÉER LES COURBES DE REPONSE (<i>CLIMAT ACTUEL</i>)	2400 COMBINAISONS DE MODALITES PAR CULTURE POUR CRÉER LES COURBES DE REPONSE (<i>CLIMAT ACTUEL</i>)

* Y = rendement

INTEGRATION INTRANT « EAU » : FONCTION DOSE-REPONSE

PASSAGE À DEUX VARIABLES: AJOUT D'UNE DIMENSION

Equation de la fonction de Mitscherlich-Baule :

$$Y = Y_{max} \times (1 - e^{-\sigma(W+W_0)}) \times (1 - e^{-\tau(N+N_0)})$$

Rendement potentiel

Rôle de l'intrant « eau »

Rôle de l'intrant « azote »

Plusieurs millions de simulations STICS

W : eau ajoutée (m^3)

W_0 : eau initiale / précipitation (m^3)

σ : efficacité (m^{-3})

N : azote ajouté (T)

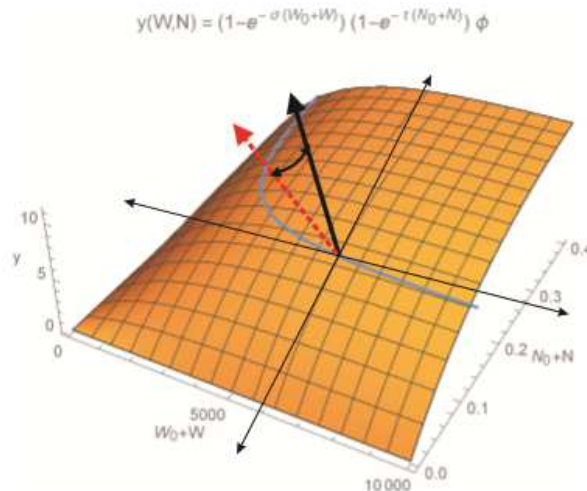
N_0 : azote initial / sol (T)

τ : efficacité (T^{-1})

Y : rendement (T)

Y_{max} : potentiel agronomique (T)

Y, Y_{max}, W, N : quantités par ha



Estimation des paramètres à partir d'une régression sur résultats issus de STICS

Réponse du rendement aux intrants eau et azote :

représentation graphique du vecteur de prix et du vecteur «gradient» perpendiculaire au plan tangent à la surface de production, pour un niveau de rendement observé

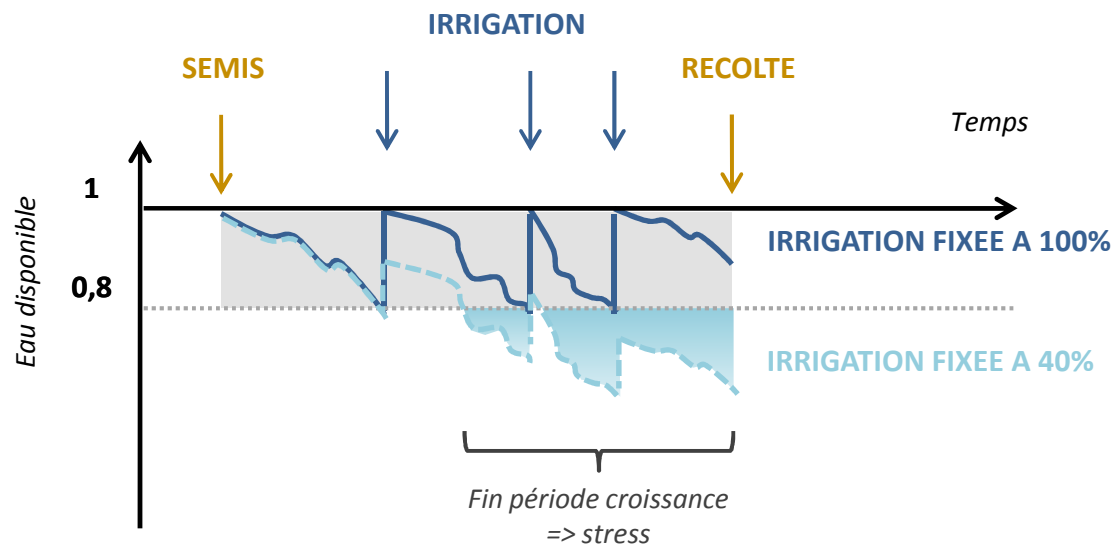
Courbe rouge : isoquante

1 point sur la figure = 1 simulation STICS

(d'après Pierre Humblot 2016)

INTEGRATION INTRANT « EAU » : FOCUS STICS

OBTENTION DES RENDEMENTS POUR DIFFERENTES APPLICATIONS D'EAU D'IRRIGATION



Méthodologie utilisée pour simuler l'impact des différents montants totaux d'irrigation sur les rendements (d'après Pierre Humblot, 2016)

METHODOLOGIE:

- 1^{ère} simulation : quantités d'eau et dates d'applications fixées par STICS
- Autres simulations : mêmes dates mais quantité décroissante d'eau d'irrigation

INTEGRATION INTRANT « EAU » : NOUVELLE TYPOLOGIE

Pour des raisons techniques et propre à la confidentialité des données, il est nécessaire de procéder à un regroupement des exploitations

AJOUT D'UN NOUVEAU CRITERE DE CARACTERISATION DES GROUPES TYPES :

1

TYPE D'EXPLOITATION
(OTEX RICA)

2

PART SURFACES IRRIGUEES
(en % de la surface totale)

3

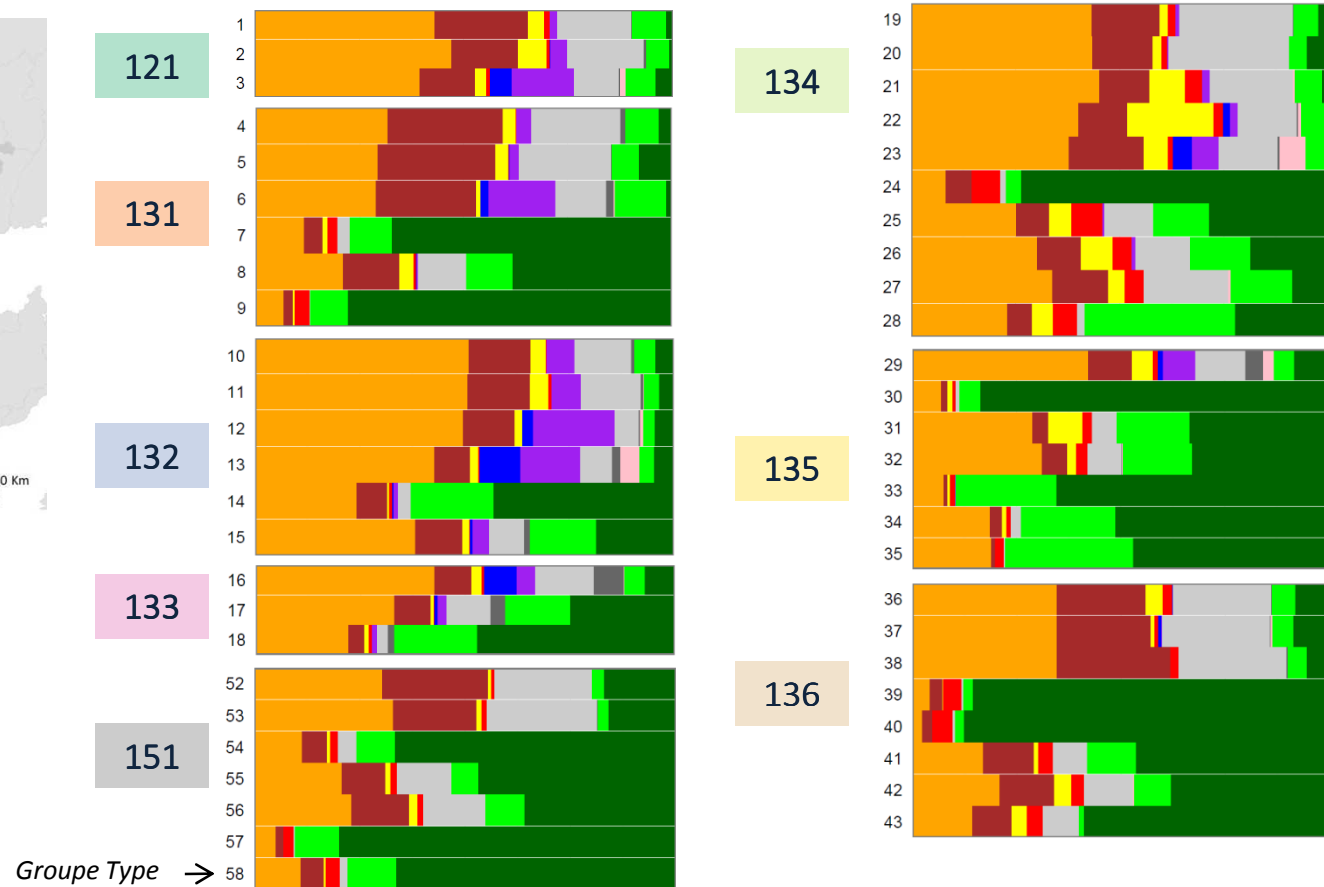
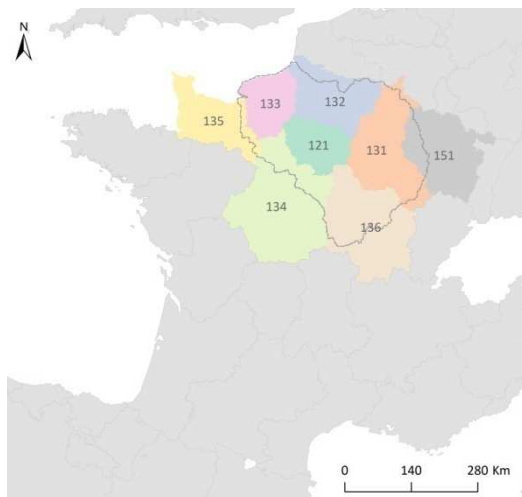
TAILLE ECONOMIQUE
(variable discrète de 1 à 9)

4

ALTITUDE
(variable discrète de 1 à 3)

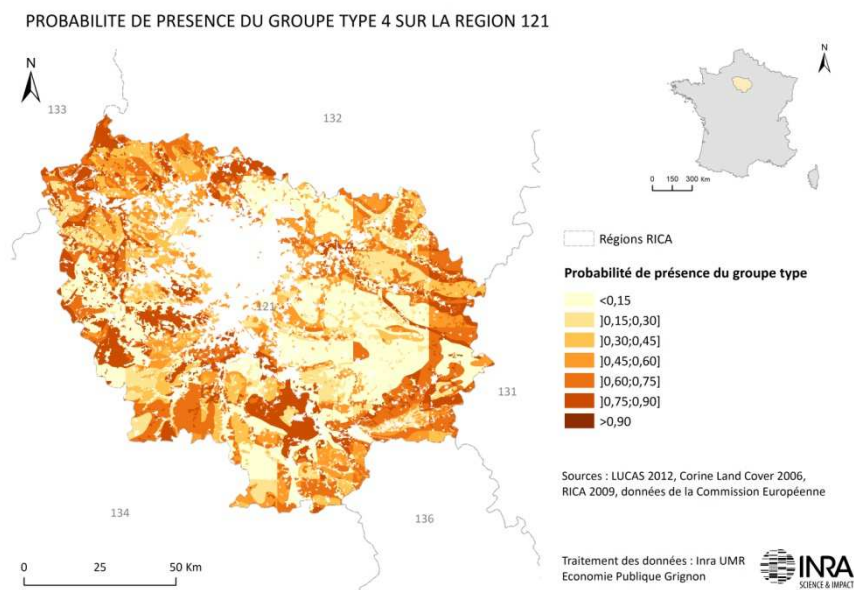
INTEGRATION INTRANT « EAU » : NOUVELLE TYPOLOGIE

AJOUT D'UN NOUVEAU CRITÈRE DE CARACTÉRISATION DES GROUPES TYPES



SPATIALISATION DES RESULTATS AROPAJ

Pas d'accès à une localisation précise des groupes types au sein d'une région
=> indispensable pour la spatialisation des résultats AROPAJ



A partir des différentes caractéristiques des groupes types
=> **possibilité d'estimer la contribution de chacun de ces groupes à l'activité agricole à l'échelle du pixel**
(*Cantelaube et al. 2012, Chakir et al. 2009*)

3 ETAPES :

1

Calcul de probabilité de présence d'une activité pour tout pixel d'une région

2

Ré-estimation des probabilités à partir du RICA (*méthode de cross entropy*)

3

Assignation des groupes types à chaque pixel

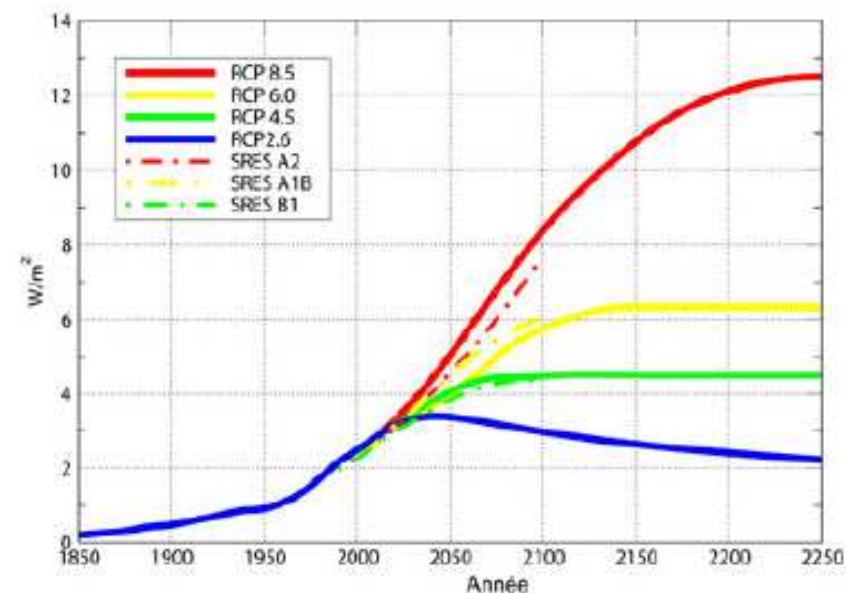
FOCUS SCENARIOS EN CLIMAT FUTUR :

SRES/ IPCC (www.cccma.ec.gc.ca/diagnostics/)

	Global integration	Regionalism
Economic emphasis	A1B (balanced energy) A1FI (fossil-fuel intensive) A1T (high-tech renewables)	A2
Environment emphasis	B1	B2

Données climatiques journalières futures obtenues à l'aide du modèle ARPEGE-CLIMAT (Grille spatiale 8×8 km², pas de temps < 1 heure)

Seuls les résultats du scénario A1B sont disponibles (A2 en cours de traitements)



Représentation simplifiée de l'évolution du bilan radiatif de la terre ou forçage radiatif (enW/m²) sur la période 1850-2250 selon les différents scénarios socio-économiques standard utilisés dans la modélisation du climat futur

Source : météo france

FOCUS SCENARIOS EN CLIMATS FUTUR : HYPOTHESE

HYPOTHESE DE TRAVAIL :

Changement climatique suffisamment progressif pour que les exploitants en prennent conscience « en temps réel »

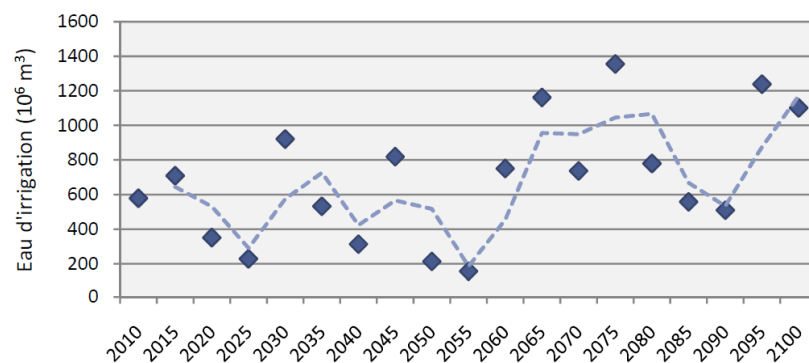
=> les agriculteurs choisissent la répartition de leurs surfaces en supposant « connus » les rendements finaux des cultures

=> forme d'adaptation autonome dans la mesure où la marge par unité de surface d'une culture donnée est optimisée sur la base de la nouvelle fonction de rendement, et dans la mesure où l'assolement maximise le profit de l'exploitation agricole

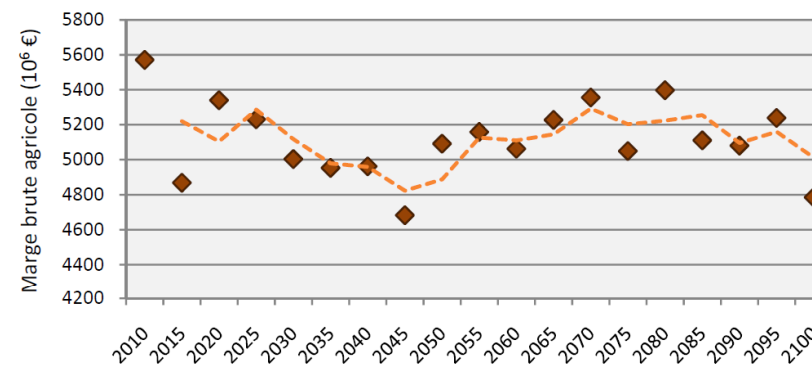
MOYENNES PONDEREES VARIABLES « IRRIGATION », « MARGE BRUTE » ET « ENGRAIS » PAR DECENNIE



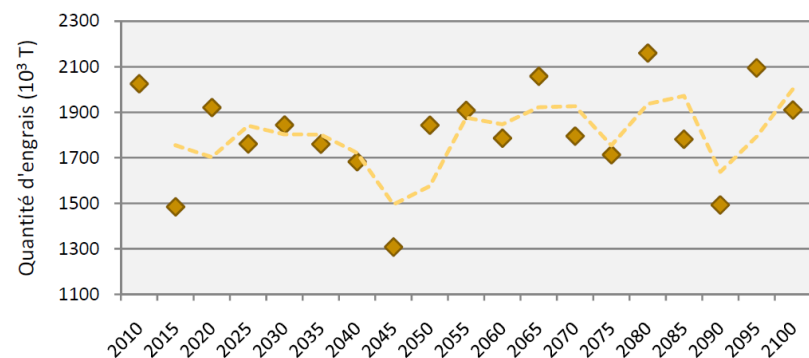
DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE



MARGE BRUTE AGRICOLE SUR LE BASSIN DE LA SEINE



DEMANDE EN ENGRAIS SUR LE BASSIN DE LA SEINE



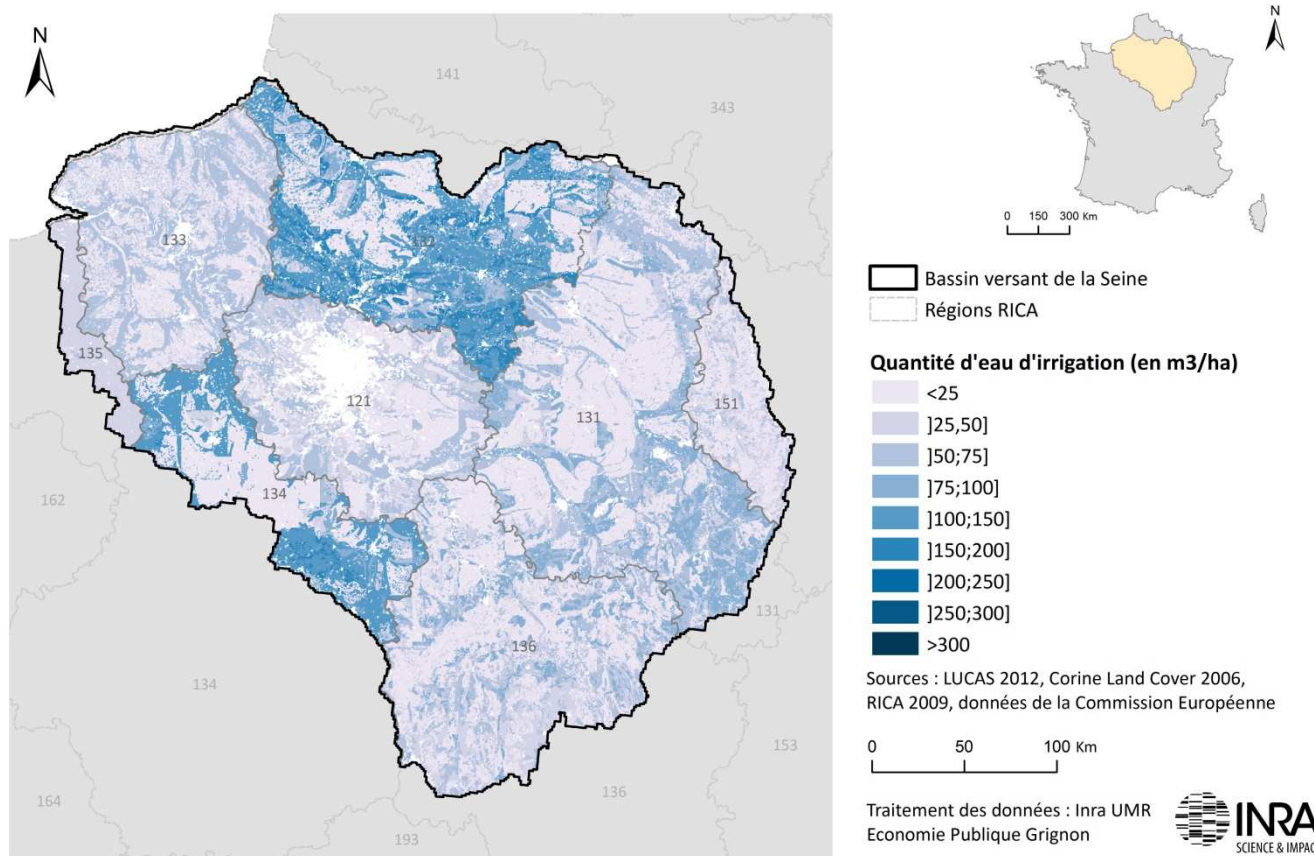
Courbes en pointillées : moyenne mobile (période 10 ans)

AROPAJ met l'accent sur les terres cultivées et les fourrages (> 90%) mais ne tient pas compte les vignes, vergers etc.

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2011-2020

!
 Les surfaces
 AROPAJ
 diffèrent des
 surfaces
 géographiques

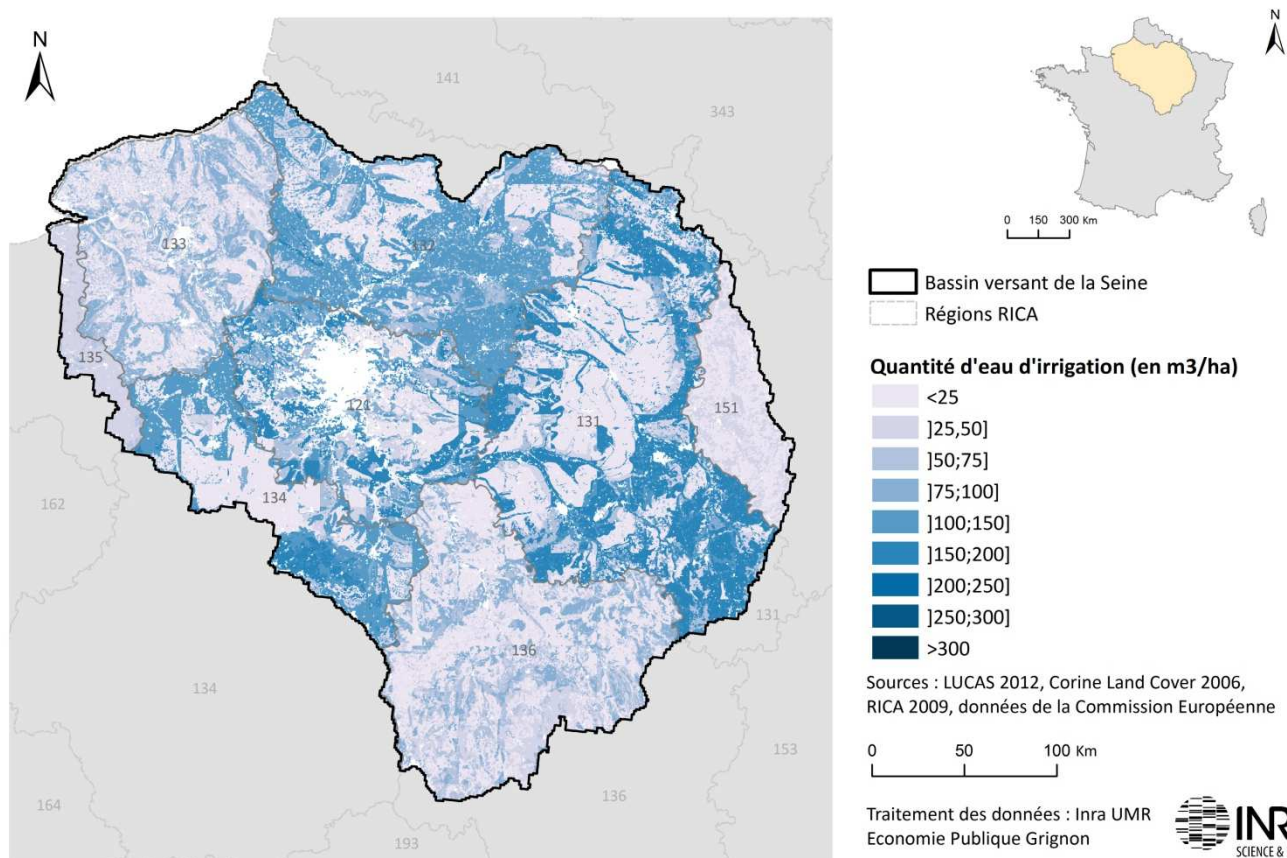


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2021-2030

!
 Les surfaces
 AROPAJ
 diffèrent des
 surfaces
 géographiques

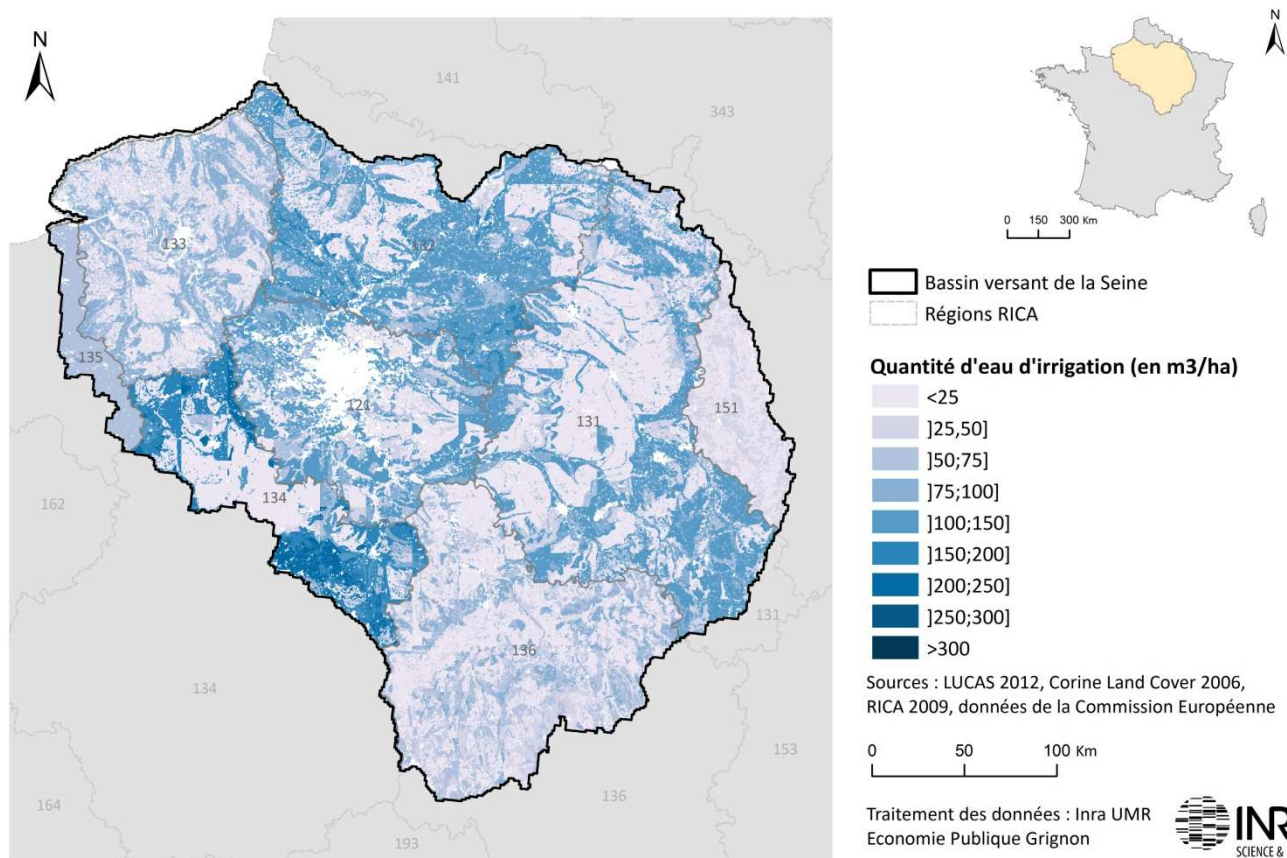


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2031-2040

!
 Les surfaces
 AROPAJ
 diffèrent des
 surfaces
 géographiques

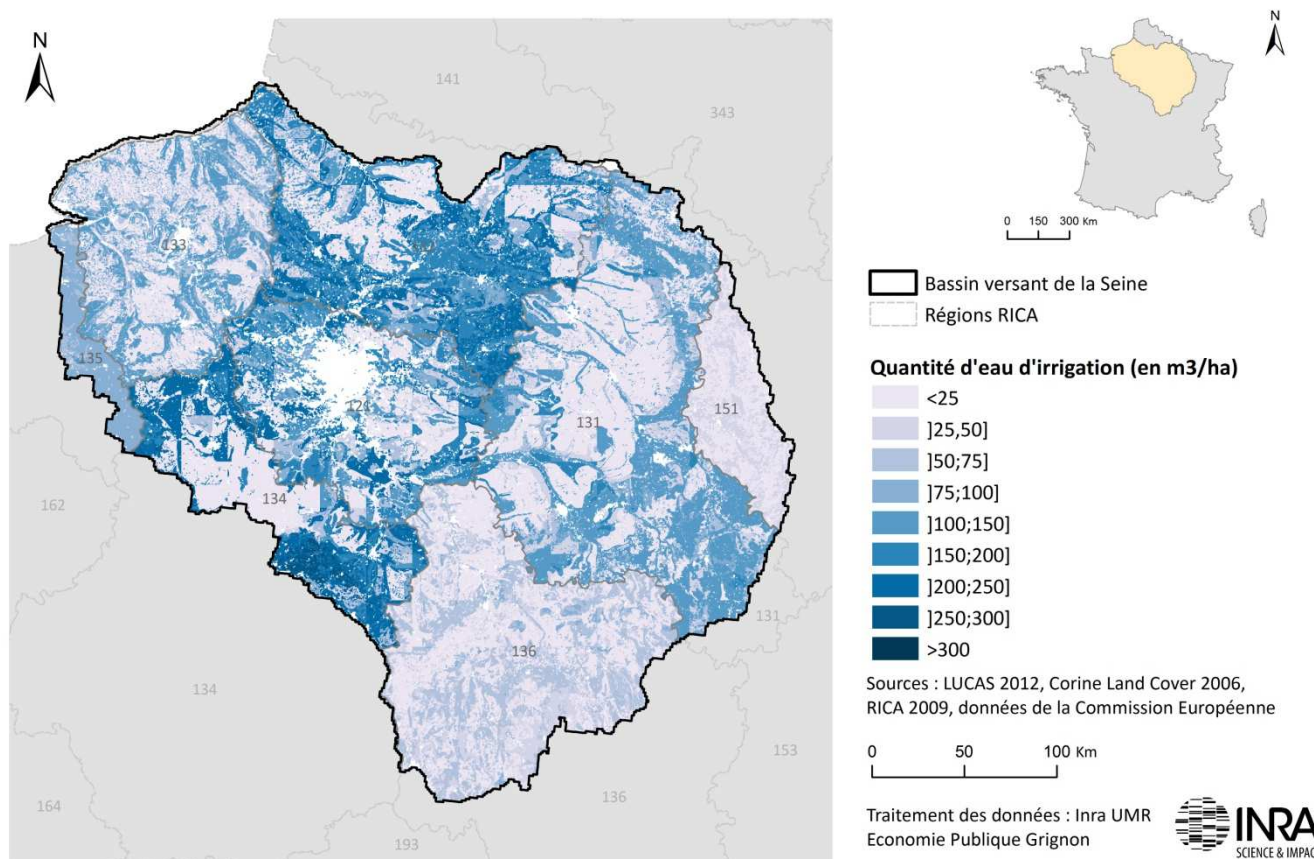


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2041-2050

!
 Les surfaces AROPAJ diffèrent des surfaces géographiques

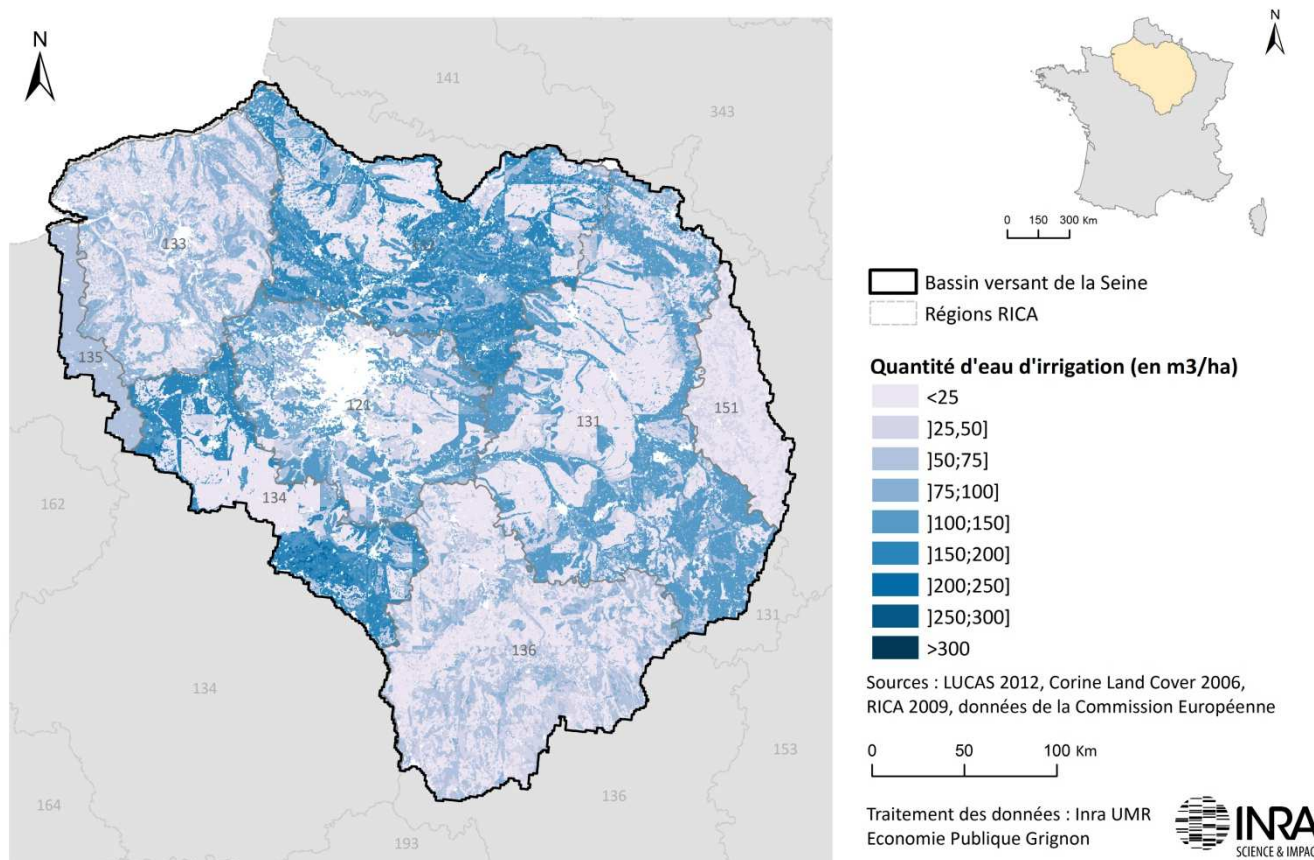


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2051-2060

!
 Les surfaces
 AROPAJ
 diffèrent des
 surfaces
 géographiques

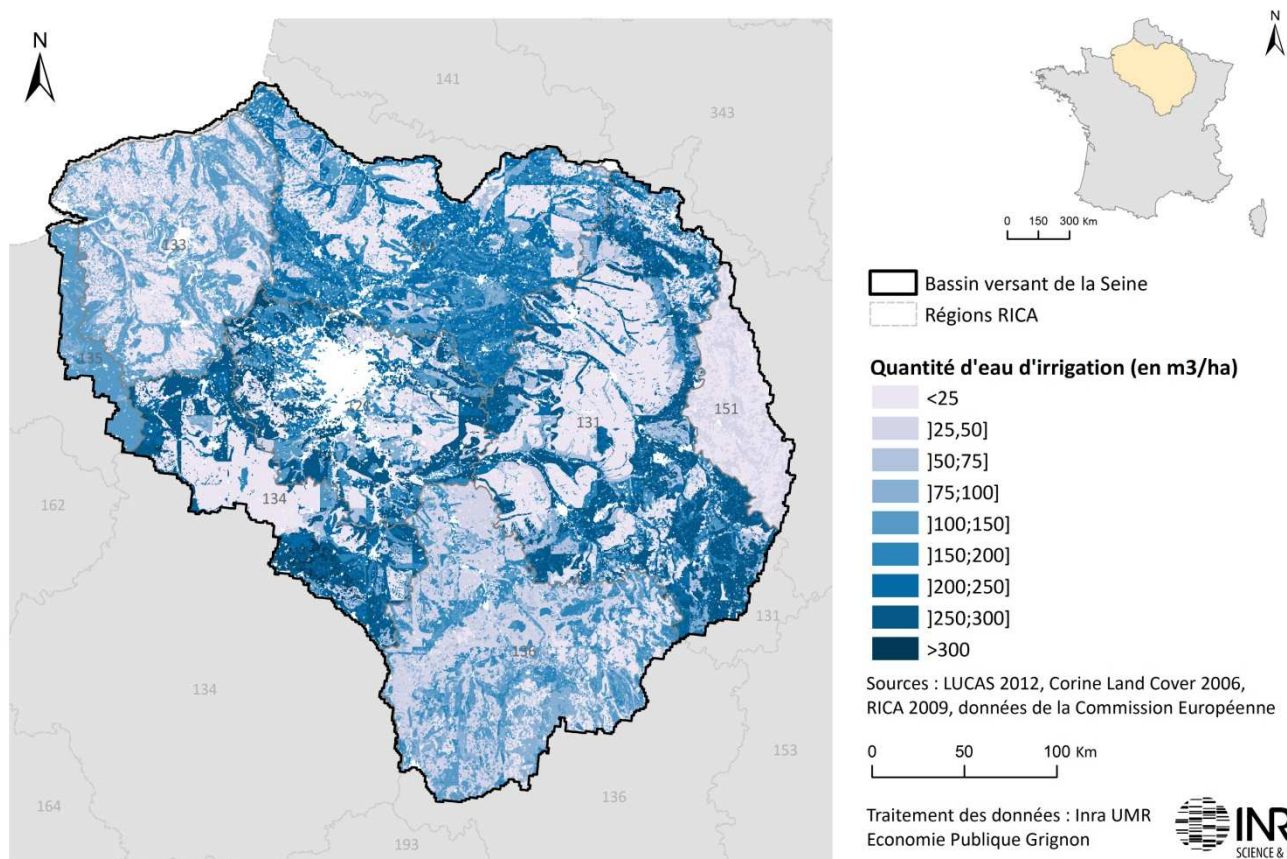


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2061-2070

!
 Les surfaces AROPAJ diffèrent des surfaces géographiques

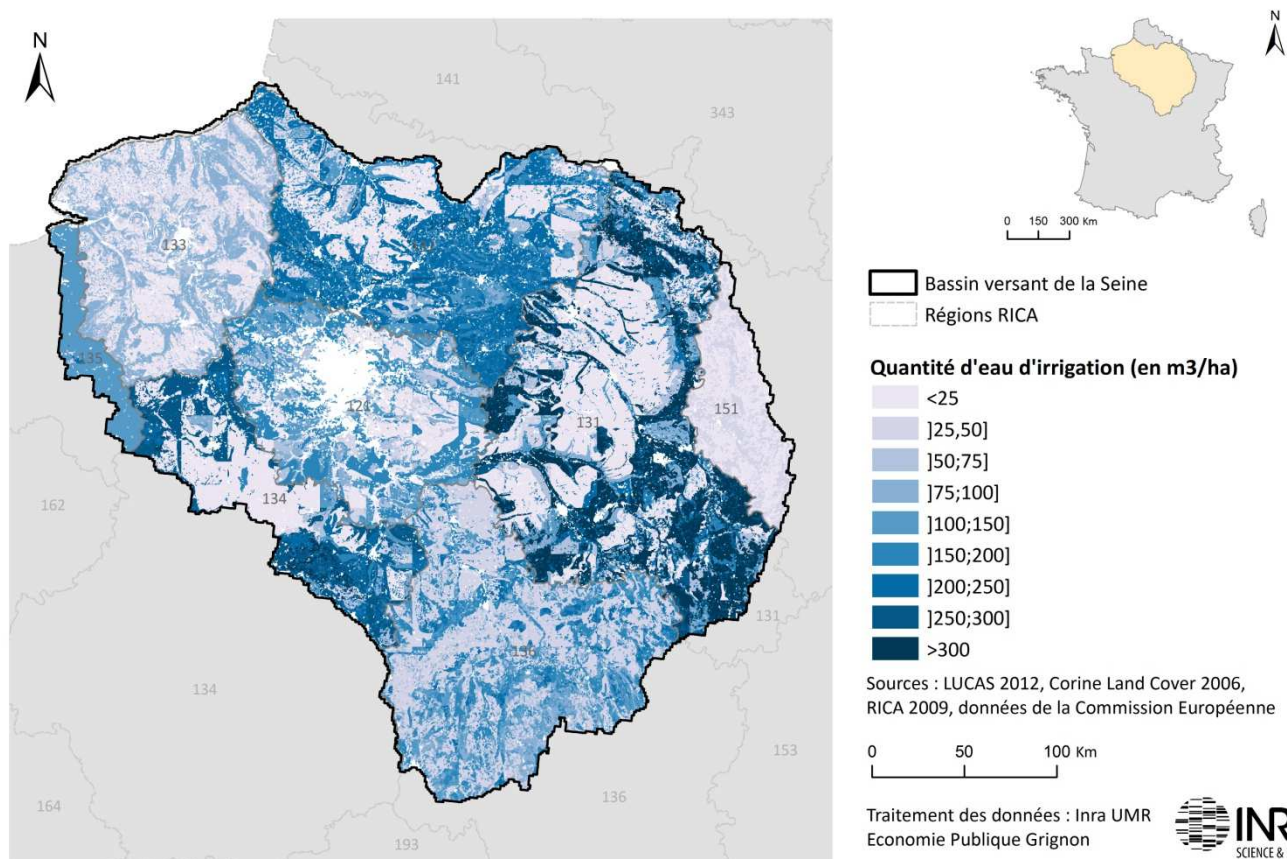


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2071-2080

!
 Les surfaces
 AROPAJ
 diffèrent des
 surfaces
 géographiques

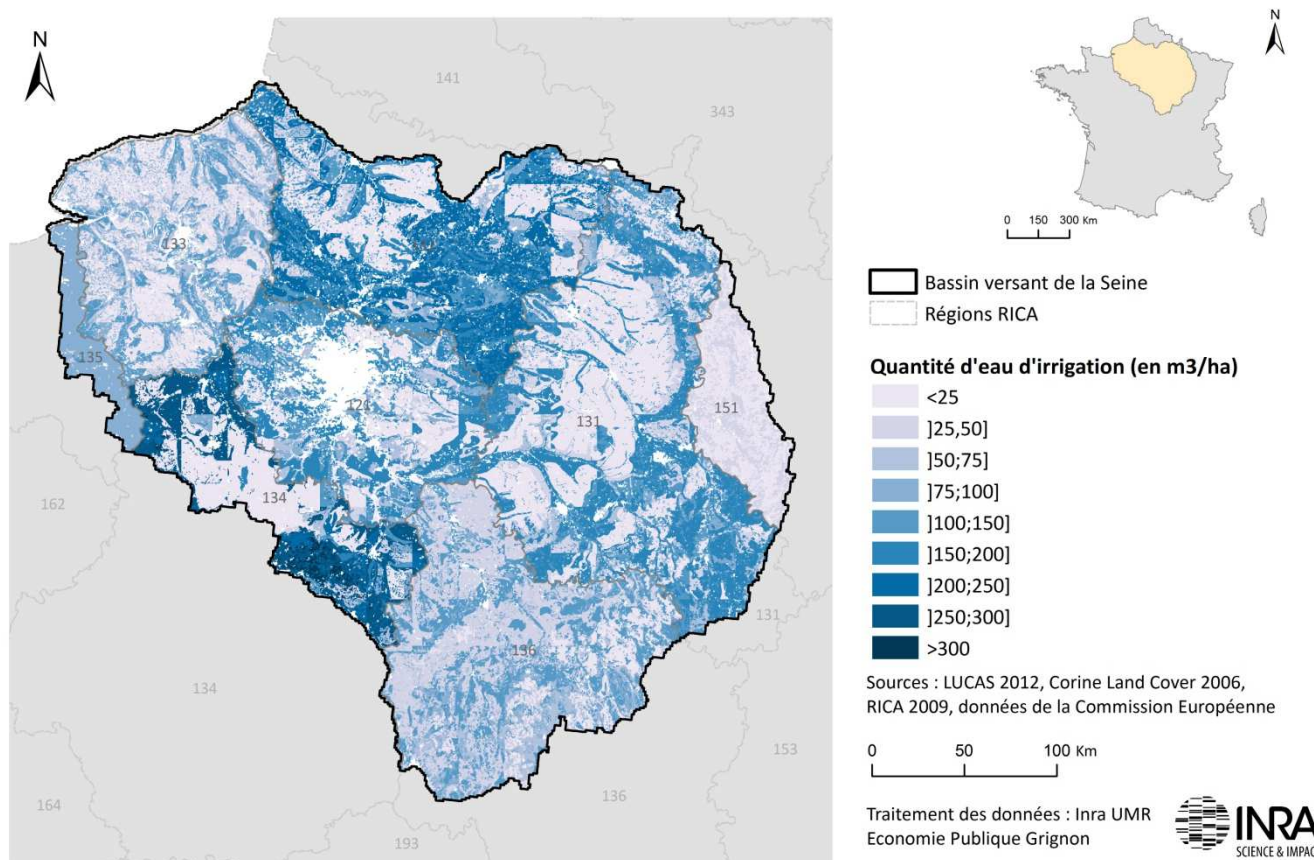


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2081-2090

!
 Les surfaces
 AROPAJ
 diffèrent des
 surfaces
 géographiques

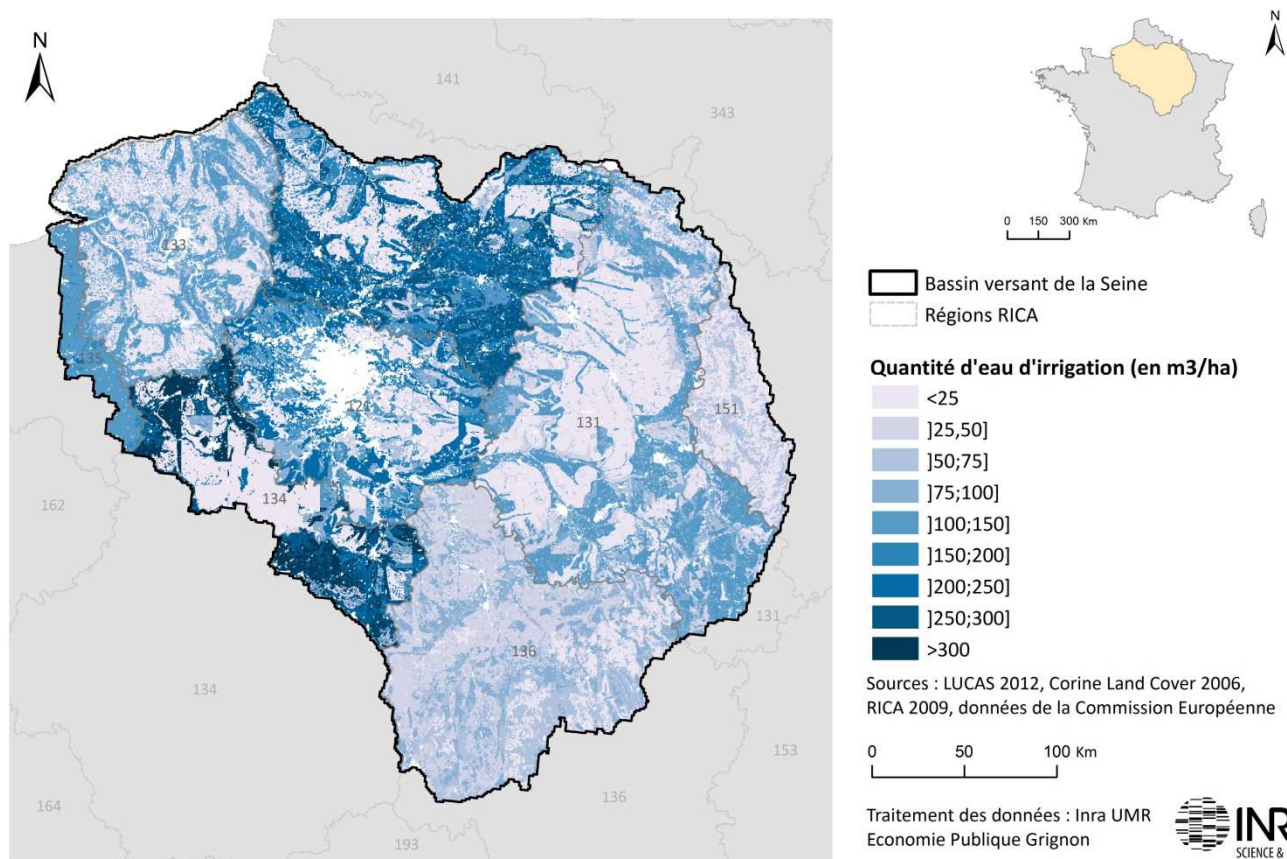


Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »

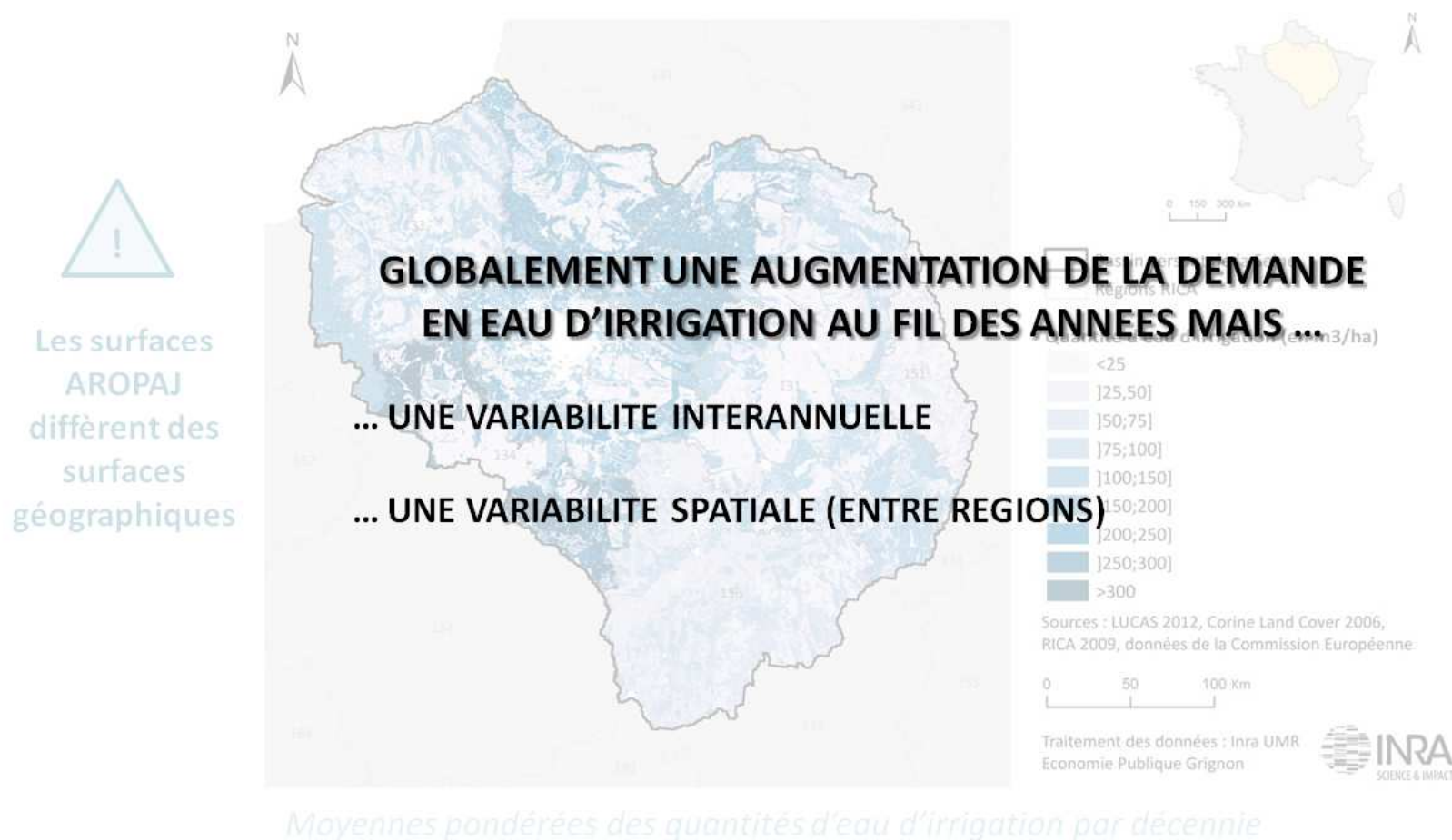
DEMANDE EN EAU D'IRRIGATION SUR LE BASSIN DE LA SEINE POUR LA PÉRIODE 2091-2100

!
 Les surfaces
 AROPAJ
 diffèrent des
 surfaces
 géographiques



Moyennes pondérées des quantités d'eau d'irrigation par décennie

RESULTATS : FOCUS VARIABLE « APPORTS EAU IRRIGATION »



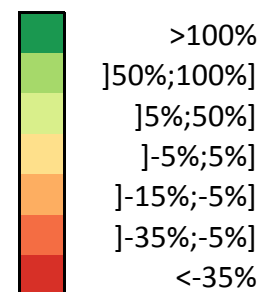
SYNTHESE GENERALE : EVOLUTION PAR RAPPORT A 2010

ANNEE	IRRIGATION	ENGRAIS	MARGE BRUTE
2010	579610970	2025343	5570781
2015	22	-27	-13
2020	-39	-5	-4
2025	-60	-13	-6
2030	59	-9	-10
2035	-8	-13	-11
2040	-46	-17	-11
2045	41	-35	-16
2050	-63	-9	-9
2055	-73	-6	-7
2060	30	-12	-9
2065	100	2	-6
2070	27	-11	-4
2075	134	-15	-9
2080	35	7	-3
2085	-4	-12	-8
2090	-12	-26	-9
2095	114	3	-6
2100	90	-6	-14



2009 non prise en compte pour la comparaison => climat 2009 (observé) diffère par nature des années 2010-2100 (issues de calcul de modèle de climat)

Pourcentage d'augmentation ou de diminution des variables « irrigation », « engrais » et « marge brute » par rapport à l'année 2010



1 : m³
 2 : T
 3 : 10³ €

BILAN

- Adaptation du couplage AROPAJ-STICS afin d'intégrer l'eau comme intrant agricole (*nouvelle typologie, modifications des fonctions de réponse, intégration d'un nouveau bloc à AROPAJ etc.*)
- Obtention de tendances générales sur l'effet du changement climatique :
 - Importante augmentation de la quantité d'eau à apporter au cours du temps (*demande quasiment doublée entre 2011-2020 et 2091-2100*)
 - Diminution de la marge brute probable
- Forte variabilité spatiale et temporelle observée (*effet climat ou impact du changement de l'assolement*)

PERSPECTIVES : Modifier les prix sur l'eau pour tenir compte de la demande, étudier la possibilité d'adaptation offerte par le choix des variétés / de l'itinéraire technique (*Leclère et al. 2013*), **modéliser d'autres scénarios climatiques (A2 en cours)**



MERCI POUR VOTRE ATTENTION !

2016 colloque PIREN-Seine
6-7 octobre

© SIEGAG

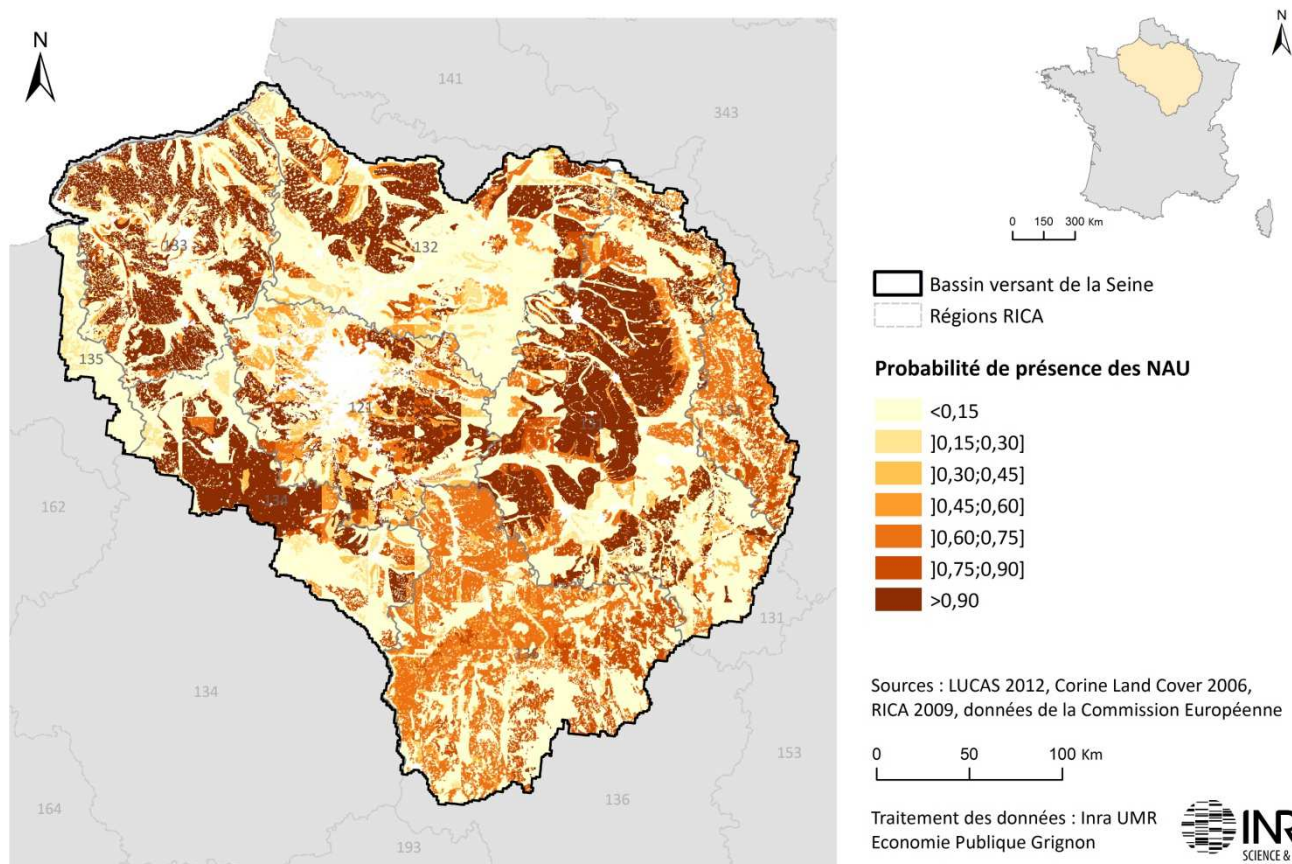


**Zone
Atelier**

LTER FRANCE SEINE

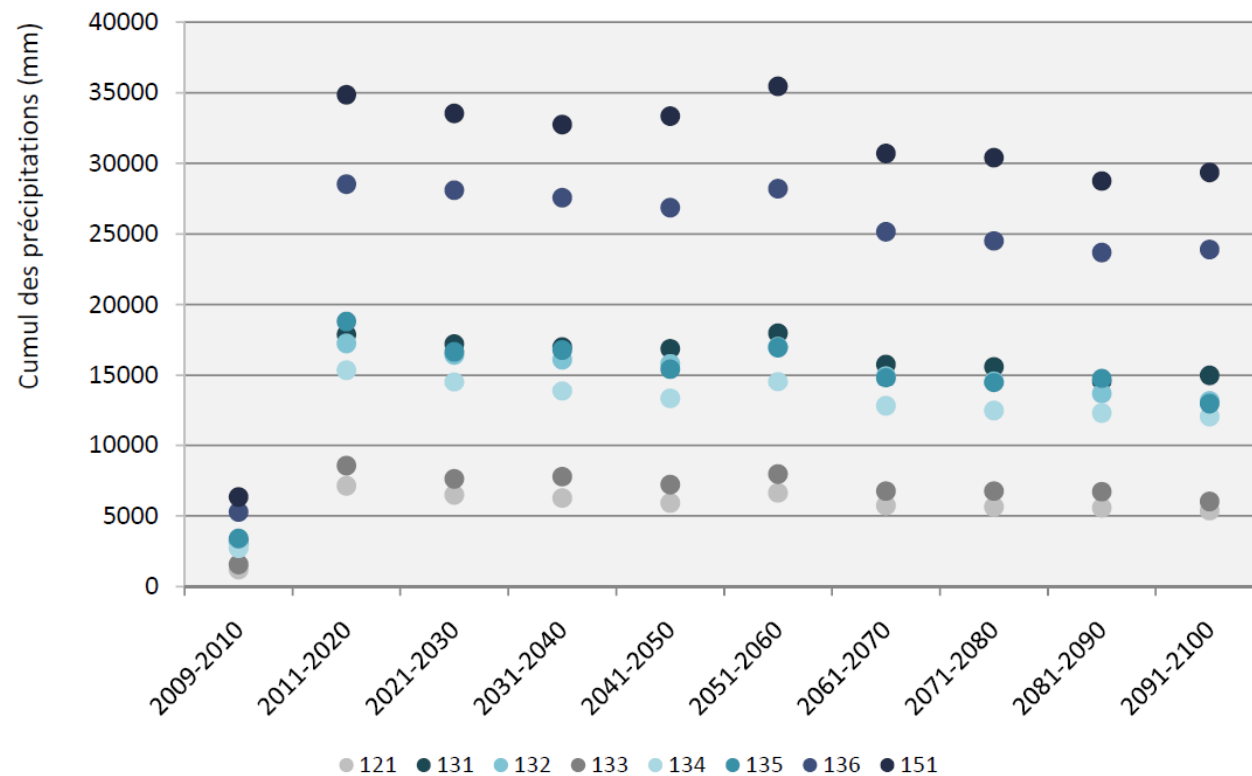
ANNEXE : PROBABILITE DE PRESENCE DES NAU*

PROBABILITE DE PRESENCE DES NAU SUR LE BASSIN VERSANT DE LA SEINE



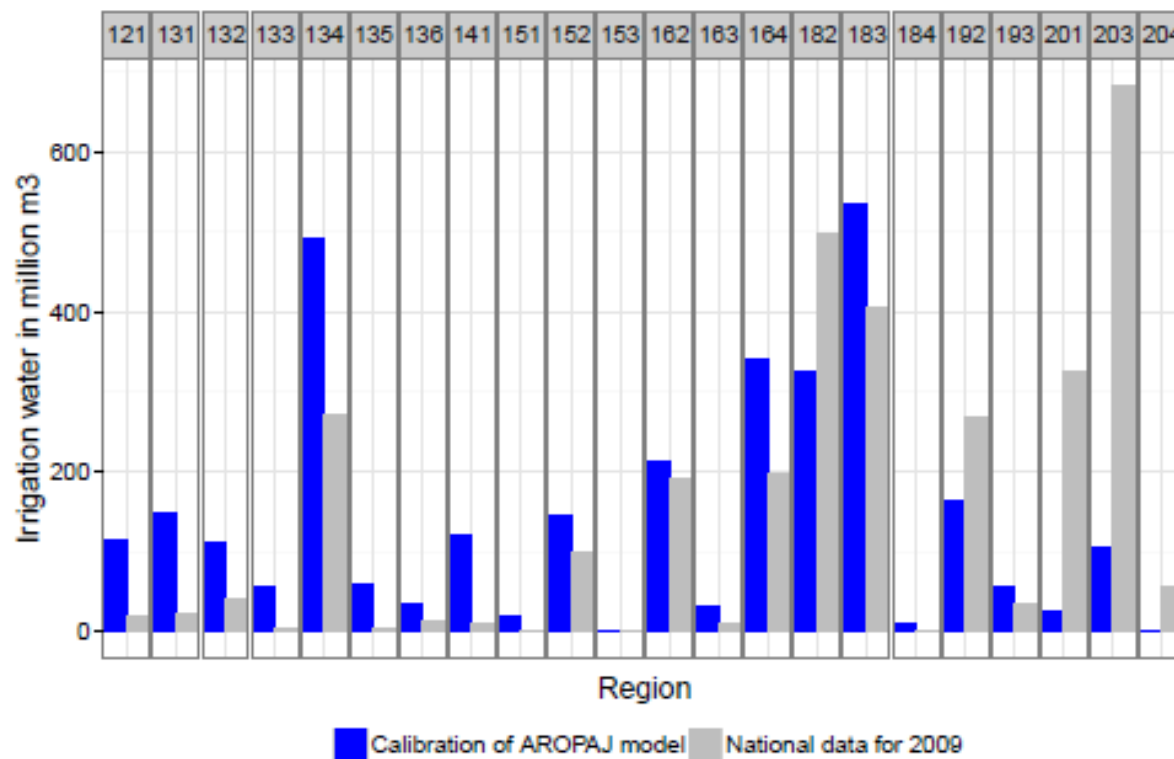
*NAU : non AROPAj use

ANNEXE : DONNEES CLIMATIQUES ARPEGE



Cumul des précipitations par décennie et par région incluse dans le bassin versant de la Seine – données issues du modèle CLIMAT-ARPEGE

ANNEXE : CALIBRATION – DONNEES D'IRRIGATION



Demande régionale d'eau d'irrigation par rapport aux données officielles du ministère de l'agriculture française pour l'année 2009 calibrée
(d'après Pierre Humblot, 2016)

ANNEXE : LES COMBINAISONS DE MODALITES PAR CULTURE

EXTENSION DE LA METHODE *Godard et al, 2008* :

Table 1. Summary of combinations in creating yield response curves

Data input options	Modality per crop	
	<i>Godard method</i> *	<i>Current method</i>
Climate	1	1
Soil	5	10
Crop varieties [#]	3 or 1	16
Sowing date [#]	1 or 3	5
Irrigation	1 or 2	treated as a variable
Preceding crop	2	1
Altitude class	1	3
Total combinations	30 or 60	2,400

* Source: Godard et al. (2008).

[#] Depending on the crop, these two options create a total of 3 combinations.

Génération de millions de fonctions de réponse