

Instrumentation de gestion de l'aquifère de Beauce : arbitrages entre production agricole et niveaux piézométriques (France)

L'intérêt des modèles hydro-économiques

Contexte

> L'aquifère de Beauce est stratégique

- eau potable, agriculture, écosystème Loire ...
- Plus de 650 000 ha cultivés (dt ~150 000 irrigués)

> Régulation de l'accès depuis les années 90

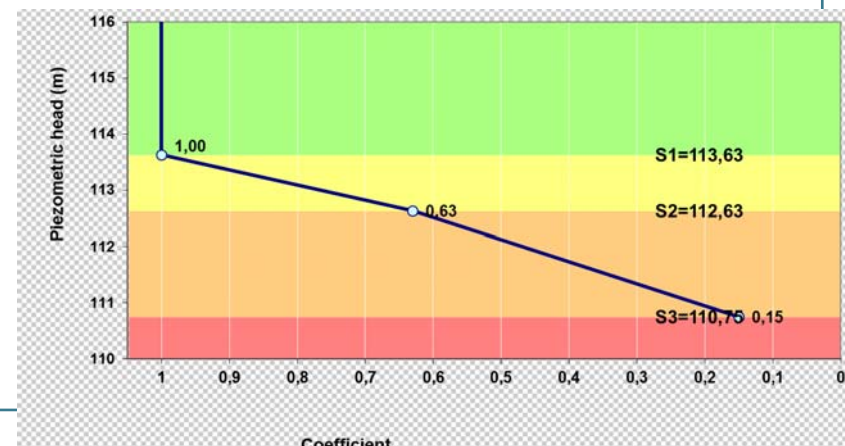
- Quotas annuels révisables depuis 1997 / 4 zones réglementaires
- Non suffisant, restrictions supplémentaire (par ex. été 2011)
- Volumes totaux de 420 Mm³/an

> Nécessité d'envisager un système plus efficace

- Renforcement des contraintes actuelles
- Explorer des mécanismes alternatifs (plus de régionalisation, taxes, transferts de quotas...)

> Prise en compte du changement climatique

- baisse de la disponibilité en eau



Objectifs

Développer une méthode pour répondre aux questions suivantes:

- **Le système de régulation est-il /sera-t-il toujours efficace ? Suffisant ? Avec le changement climatique ?**
 - **Si non quels sont les instruments alternatifs que l'on peut considérer?**
 - **Sont t'ils plus efficace pour préserver les niveaux piézométriques?**
 - **A quel coût pour l'agriculture?**
- Un modèle économique développé auparavant (Graveline & Mérel, 2014)*
- **Comment considérer l'incertitude liée au changement climatique et la variabilité « naturelle » des années climatiques ?**

Aperçu de la méthodologie

> Développement d'un modèle hydro-économique

- Intégré (holistique) : Une plateforme unique (logiciel GAMS)
- Choix des régions (critère d'homogénéité)
- Définition du modèle hydrogéologique
- Définition du modèle économique
- Calibration indépendante des deux modèles

> Définition des scénarios

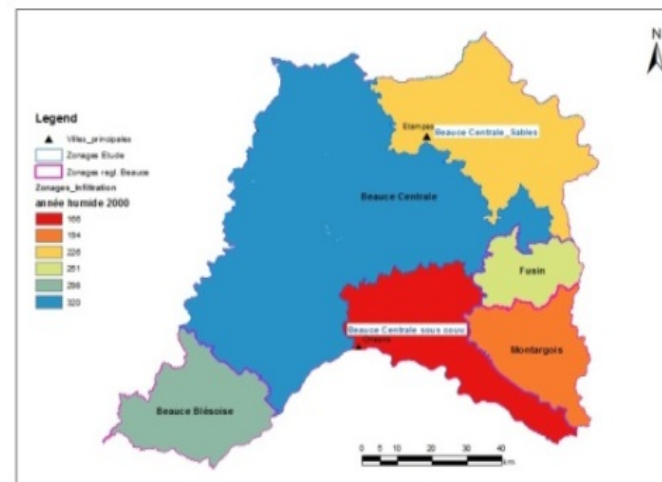
- Scénarios de changement climatique
- Instruments alternatifs

> Simulations Monte Carlo

- 2010-2040 (pas de temps annuel)

> Traitement des résultats

- Approche classique, trade-offs niveaux piézométrique/coûts
- Calcul d'indicateurs de robustesse



Le modèle hydro-économique

> Modèle dynamique / récursif avec optimisation annuelle

Modèle économique (comportement des agriculteurs)

- Objectif : maximisation des profits (y compris non marchands)
- 19 cultures / 8 irriguées
- Ensemble de contraintes sur l'usage des terres & eau
- Possibilité d'irrigation déficitaire

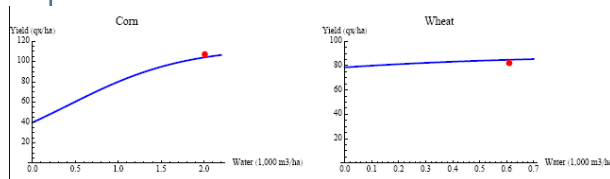
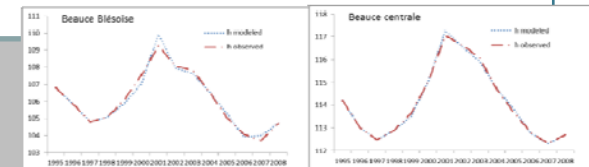
Dev en collaboration U Californie

Prélèvements agricoles
 $f(\text{climat}; \text{Décisions d'allocation})$

Disponibilité de l'eau (quotas)

Coût eau (profondeur)

Modèle hydrogéologique
(comportement du niveau piezométrique)
6 régions



Modèle à rendement marginaux décroissant,
Elasticité constante de substitution (CES) entre terre et eau

$$H_n = H_{n-1} + \frac{\text{Recharge} - \text{Conso} - \text{Drainage}}{S * C_{en}}$$

$\text{Recharge} = \frac{(R_{n-1} + c_r * R_{n-2})}{1 + c_r}$
 $\text{Conso} = \sum_t [(1 - \beta_t) * C_t]$
 $\text{Drainage} = \text{Dra}_n$

S : surface
 C_{en} : Storage coefficient (given)

$$\text{Dra}_n = \text{Dra}_{n-1} * (1 + C_{\text{Dra}}) * (H_n - H_{n-1})$$

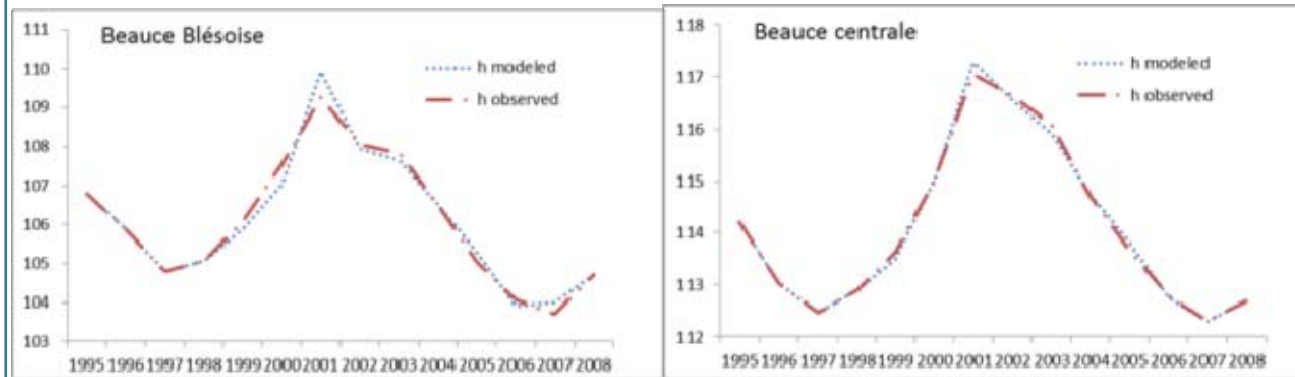
Calibration pour garantir le réalisme du modèle

> Modèle hydrogéologique

- Calibré sur 10 années de niveaux piézométriques
- Données de pluie, Indice d'infiltration (IDPR), prélèvements

> Modèle économique

- Réplication des assolements initiaux
- Calibré sur une année (plutôt sèche) 2009
- Réplication de la réponse du rendement à l'eau
- Prix, assolements, coût de production, rendements



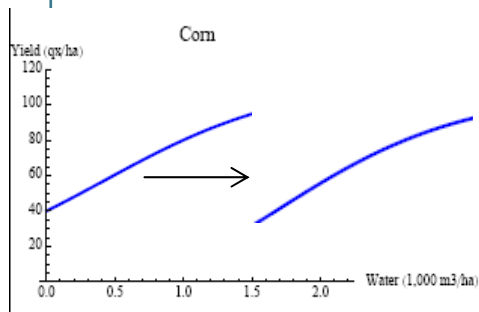
Scénarios climatiques 2010 -2040

> Hypothèses

- D'après Boe et al, 2009 ; Ducharne et al. (2010) qui donne des baisses de la précipitation et de l'infiltration, de la recharge des eaux souterraines (Seine & Loire)
- => coefficient de changement climatique entre -10 et -30%

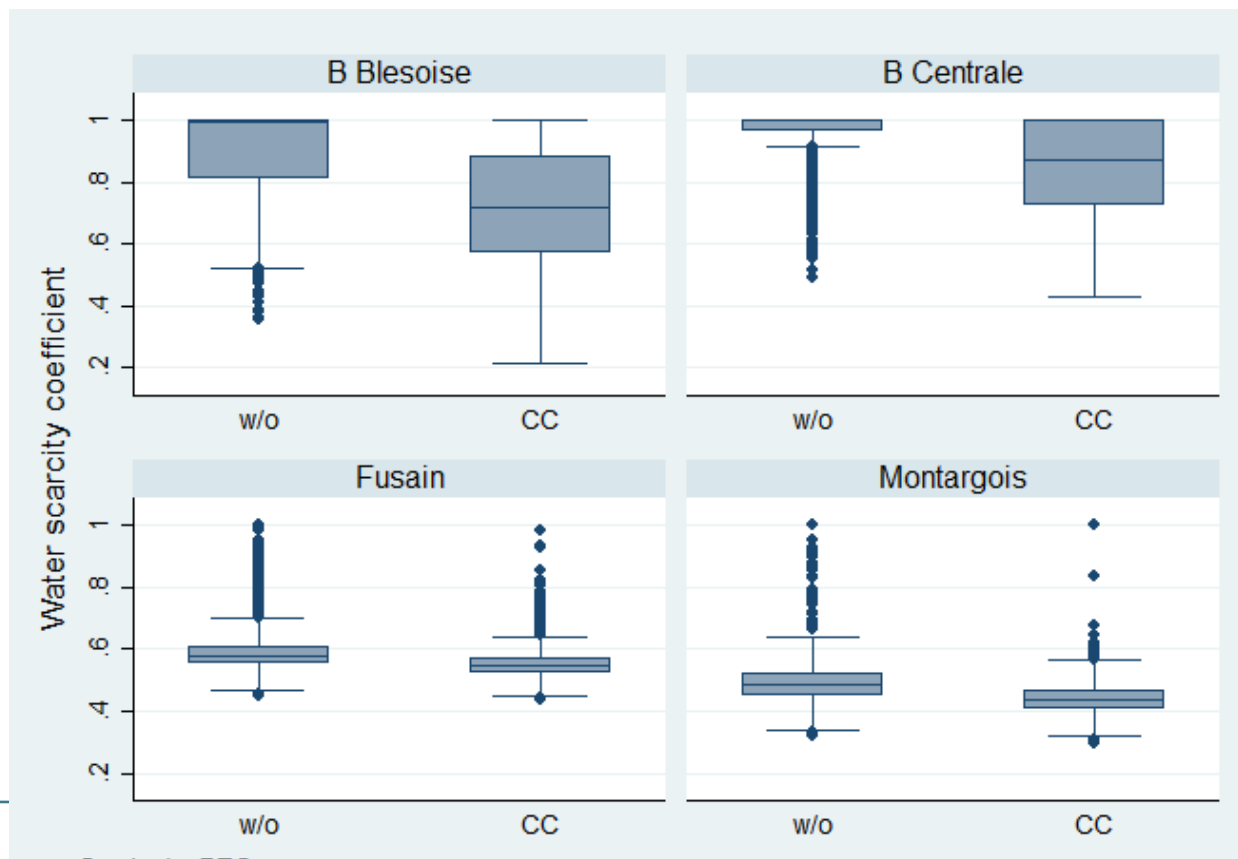
> Simulations

- 100 scénarios de CC: tirages aléatoires du coefficient de CC dans [-10%;-30%]
- Pour chaque année de 2010 à 2040 :
 - tirage aléatoire dans les années passées [1971-2009]
 - Application du coefficient de CC > 2020, impacte
 - L'infiltration (modèle hydrogéologique)
 - Le besoin en eau des plantes (translation de la fonction de production qui lie le rendement et la dose d'eau par culture)



Résultats : Impact du changement climatique sur la nappe

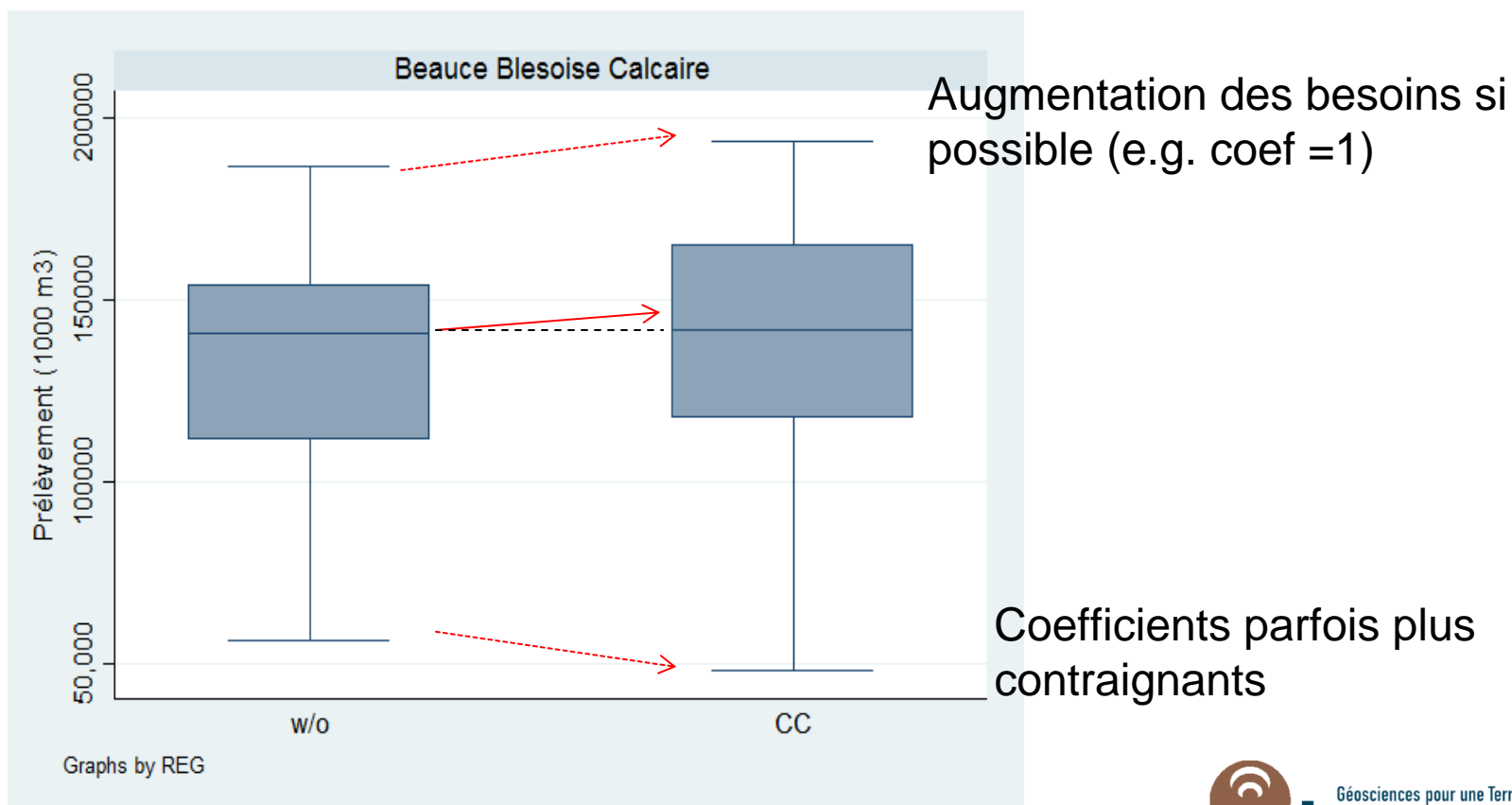
- Impact significatif pour B. Blésoise
- franchissement de seuil supplémentaire d'alerte pour certaines régions
- L'instrument actuel n'arrive pas à compenser la baisse de disponibilité en eau liée au changement climatique ...
- alors que sa conception pouvait le laisser entendre



Impact du changement climatique sur les prélèvements

Deux types de changements

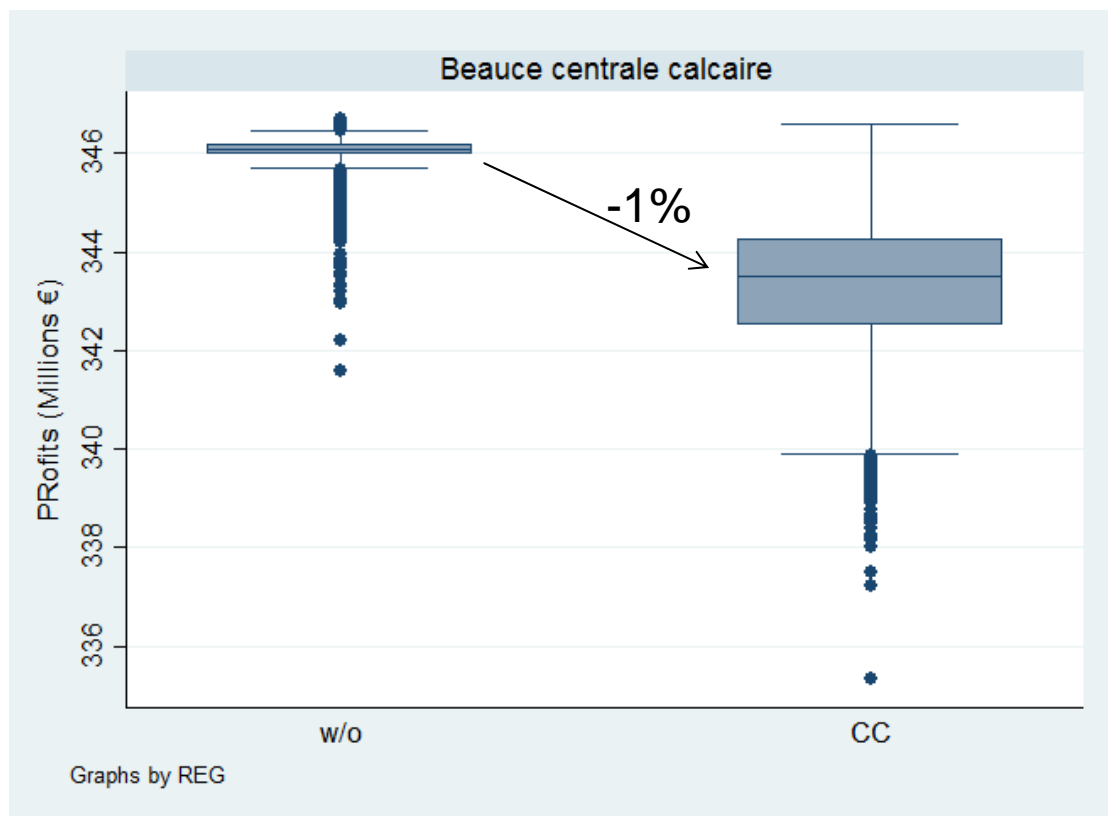
- Augmentation du besoin unitaire
- Baisse des coefficients/quotas



Souplesse de l'instrument

Impact économique du changement climatique

- Impact économique très faible (-1% des profits en moyenne)



Augmentation des besoins (pour le même obj rendement) induit une baisse des surfaces irriguées

Marges d'adaptations peu coûteuses (sur la région, globalement)

Voir Graveline & Mérel, 2014

⇒ révision de l'instrument actuel

Exploration de l'effet d'instruments alternatifs

> Instruments testés

- Système de quotas
 - REF : Système actuel de quotas variables
 - REF6 : Avec une différenciation régionale accrue (Beauce centrale => 3 sous régions)
 - LAG : Décalage (n , $n-1$, $n-2$) dans le calcul du quota
 - FIX: Quotas fixes
- Système de référence (REF) +
 - TAX: Taxe sur le prélèvement d'eau (basé sur le niveau piézométrique) (~ taxe ambiante)
 - TRANSF: Transfert autorisé
 - SUBSTI : Substitution (stockage dans retenues ~0,24 €/m³)

Résultats sur les instruments

> Deux indicateurs

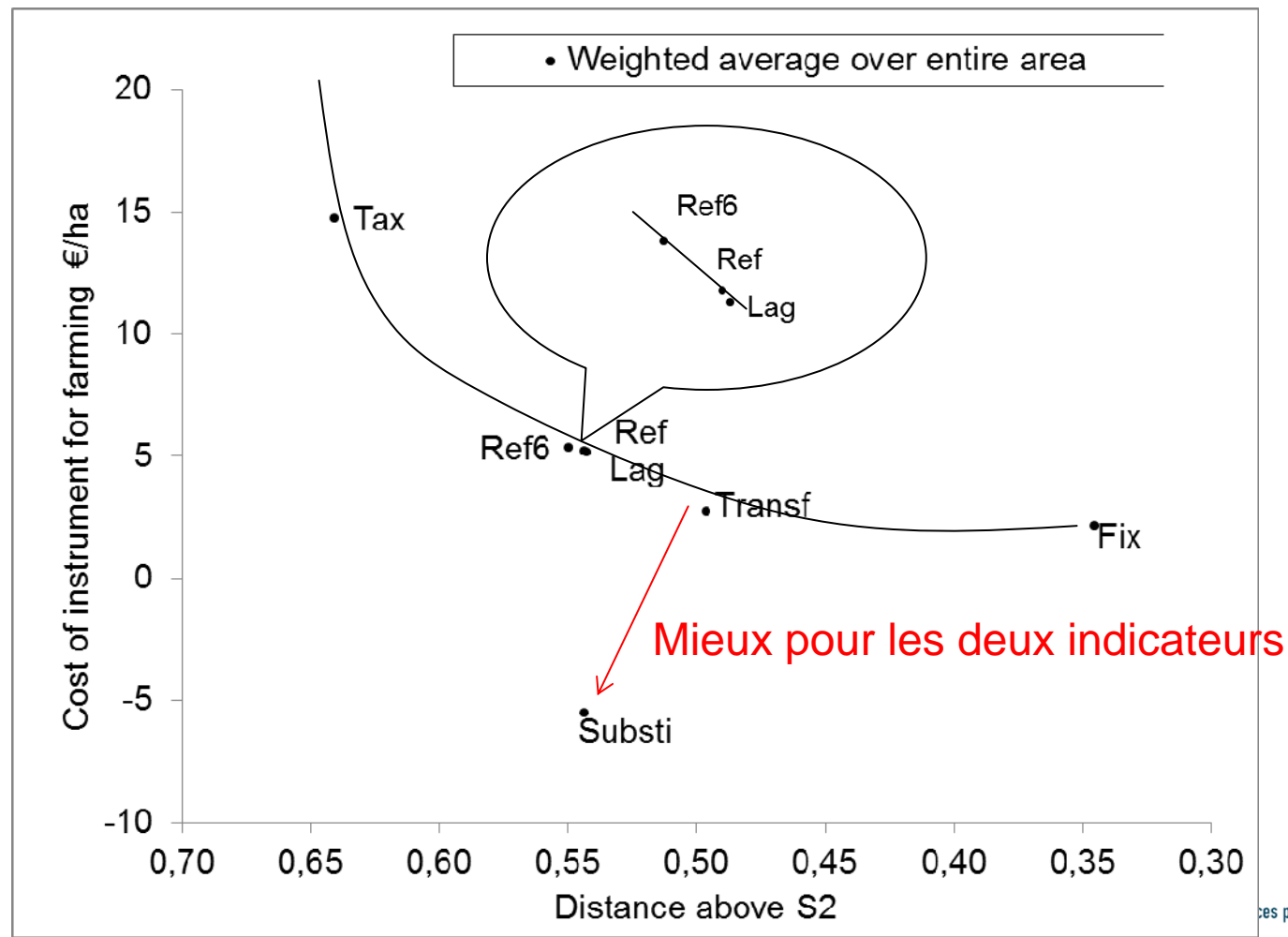
- Coût pour l'agriculture (€/ha) = Profit Instrument – Profit sans régulation
- Distance au 2nd seuil piézométrique (permet de comparer les régions)

		Ref	Fix	Ref6	Tax	Transf	Substi	Lag
Dist. to S2 (m)	Mean	0,54	0,35	0,55	0,64	0,50	0,54	0,54
Total profit (1000 k€)	Mean	537,7	540,7	537,5	528,4	540,1	537,7	537,7
	Min	525,9	537,7	525,7	520,1	530,8	526,1	526,9
	Max	543,8	543,8	543,8	542,9	545,2	543,8	543,6
	St. D	2,5	1,7	2,6	2,9	3,1	2,5	2,3
Cost** €/ha	Mean	5,20	2,11	5,35	14,75	2,73	-5,51	5,17
Water use (1000 m3)	Mean	169	215	169	149	181	170	170
	Min	61	148	60	61	81	64	72
	Max	255	256	255	255	246	255	253
	St. D	42	35	42	30	40	41	41
Coefficient	Mean	0.69	1	0.70	0.71	0.70	0.69	0.69
	St.D.***	0.17	0	0,21	0.20	0.21	0.18	0.18

Table 2: Performance of alternative instruments relative to piezometric levels (*distance to threshold S2) and profits or cost of policy (**Cost : Profit loss compared to no regulation).***Mean standard deviation between regions

- > Des différences relativement faibles entre instruments
- > Des différences de résultats entre les régions
- > Plus de variations dans les coefficients

Trade-offs entre coût pour l'agriculture & niveau piezométrique



- > Supériorité de l'instrument substitution
- > Difficulté de conclure davantage

Résultats détaillés par instrument

> Instruments qui sont au moins aussi performant que l'instrument de référence

- « 6 régions » :
 - Pertinent de distinguer davantage les régions (4=>6)
 - Très faible coût 1,20€/ha pour une région
- « Taxe » :
 - efficace pour atteindre des niveaux plus élevés, coûts relativement plus important
 - Non efficace pour 2 régions
- « Substi » :
 - meilleure solution (coût & efficacité), substitution effective en B. Blésoise, Montargois (Fusain)

> Moins bons que l'instrument de référence

- « Lag » :
 - non pertinent, n'améliore pas les niveaux piézométriques
- « Transf » :
 - moins couteux (par construction).
 - 3 régions exportatrices >10% de réduction de leur prélèvement (très variable)
- « Fix » :
 - Presque plus contraignant pour l'agriculture
 - Peu satisfaisant du point de vue de la nappe

Analyse de la robustesse

> Principe

- Prendre en compte l'ensemble de la distribution des résultats (et pas que la moyenne)
- 3 dimensions d'incertitude ou de variations : 30 ans de simulation (2010-2040)* 100 scénarios * 6 régions

> Un critère de robustesse, le MinMaxRegret

- Regret : écart pour chaque scénario entre l'instrument et l'instrument optimal
- calcul du maximum regret de chaque instrument
- Sélection de l'instrument qui a le plus petit maximum regret
- Classement des instruments du plus robuste ou moins robuste

> On peut considérer toute ou partie des dimensions de variabilité

Résultats - Robustesse

	Piezometric indicator		Profit		Combined rob
	Optimum	C & T. rob	Optimum	C&T. rob	
B. Blesoise	Transf	Tax	Fix	Fix	Transf
B. c. Calcaire	Transf	Transf	Fix	Fix	Transf
B. c. Sables	Transf	Transf	Fix	Fix	Transf
B. ss couverture	Ref 6	Ref 6	Transf	Transf	Lag
Fusain	Lag	Lag	Fix	Fix	Lag
Montargois	Lag	Lag	Transf	Fix	Lag/Substi
All	Tax	Tax	Transf	Fix	Substi
All incl. space rob.		Transf		Transf	Transf
Space rob. only		Transf		Transf	Transf

Table 3: Selection of instruments based on the best environmental performance and best economic performance for the two criteria (i) optimality and (ii) robustness. Piezometric indicator : distance above S2; “C&T. rob.” stands for “climatic and time robustness”

- > **Peu de différences entre l'approche classique et celle de robustesse**
- > **Généraliser l'incertitude (para éco)**



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Conclusion

> L'avantage d'un modèle intégré

- pour les simulations
- la spécification du modèle

> L'enjeu du développement de méthodes d'analyse de la diversité des résultats / robustesse avec les parties prenantes/décideurs

> Perspectives

- Combiner les instruments
- Généraliser l'analyse de la robustesse du système face à une diversité d'incertitude (volatilité des prix, l'introduction de nouvelles cultures/ biocarburant...)
- Un outil / des résultats pour animer la discussion sur les possibilités d'améliorer la gestion de la nappe // validation de l'intérêt par les parties prenantes

Action ONEMA – Modèles hydro-économiques

- Organisation d'un séminaire visant à discuter de l'intérêt de ces approches pour la gestion de l'eau en France
- Rédaction d'un « comprendre pour agir » (ONEMA) sur les modèles hydro-économiques



> **Merci**