

Modélisation hydro-économique dans le bassin de l'Orb : optimisation et répartition du coût d'un programme de mesures.

Corentin GIRARD,

cogi@posgrado.upv.es

Doctorant en co-tutelle

Université Politechnique de Valence (Espagne) et EDEG-GEAU, Montpellier

Directeurs: Dr. Rinaudo, Jean-Daniel (BRGM, Montpellier, France)

Prof. Pulido-Velazquez, Manuel (IIAMA-UPV, Espagne)



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

Plan de présentation

- Modèle d'optimisation à moindre coût dans le bassin de l'Orb
- Analyse d'un scénario tendanciel
- Arbitrage entre objectifs de gestion
- Identification d'un PdM robuste face au changement climatique
- Vers une solution plus juste/équitable/acceptable ?

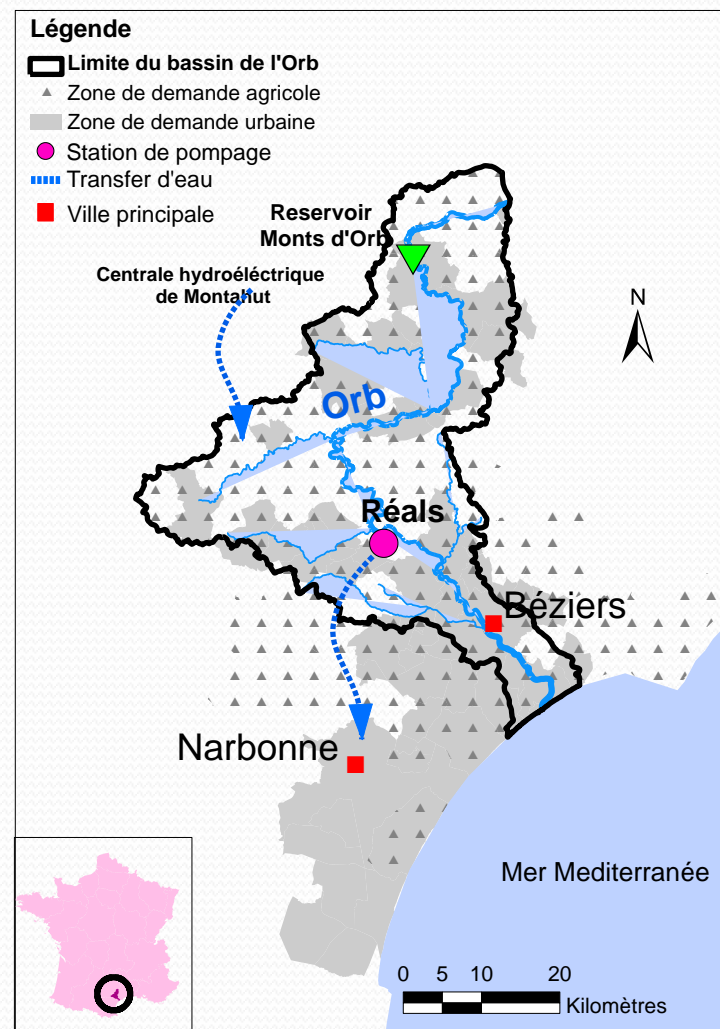
Pourquoi développer un modèle dans l'Orb ?

- Enjeux du bassin de l'Orb
 - Développement de l'irrigation
 - Débits environnementaux
 - Impact du changement climatique

➡ Enjeu de gestion quantitative

(SMVO, 2014)

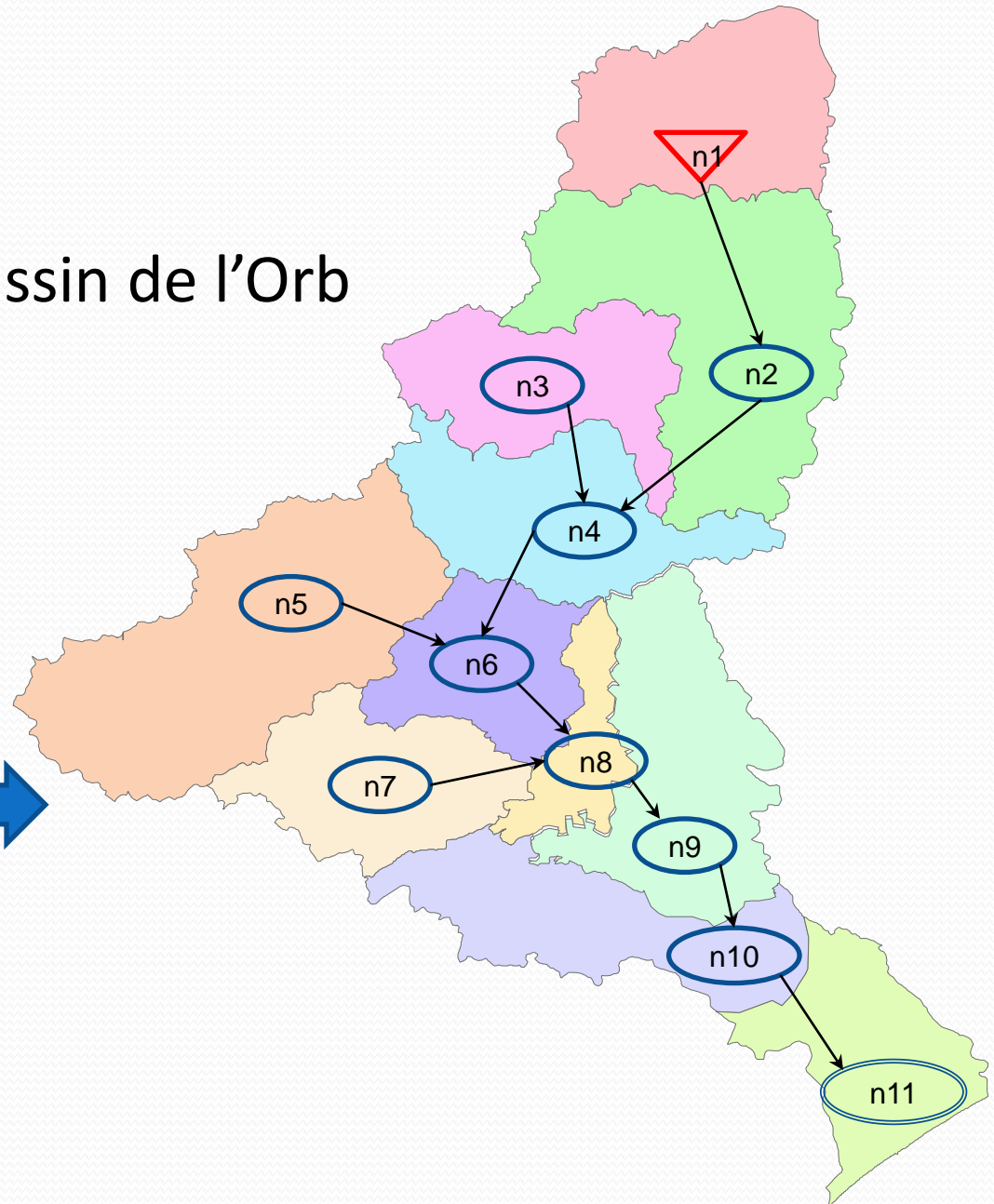
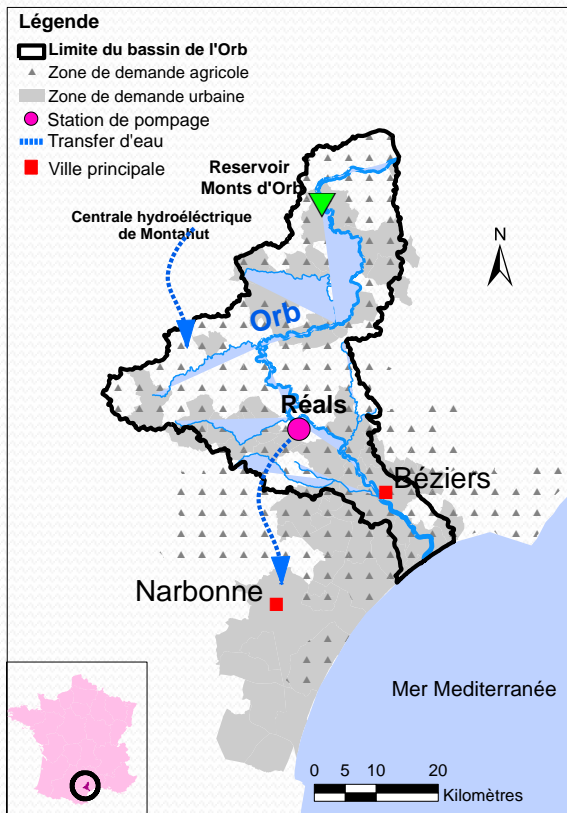
Elaboration d'un programme de mesures à moindre coût



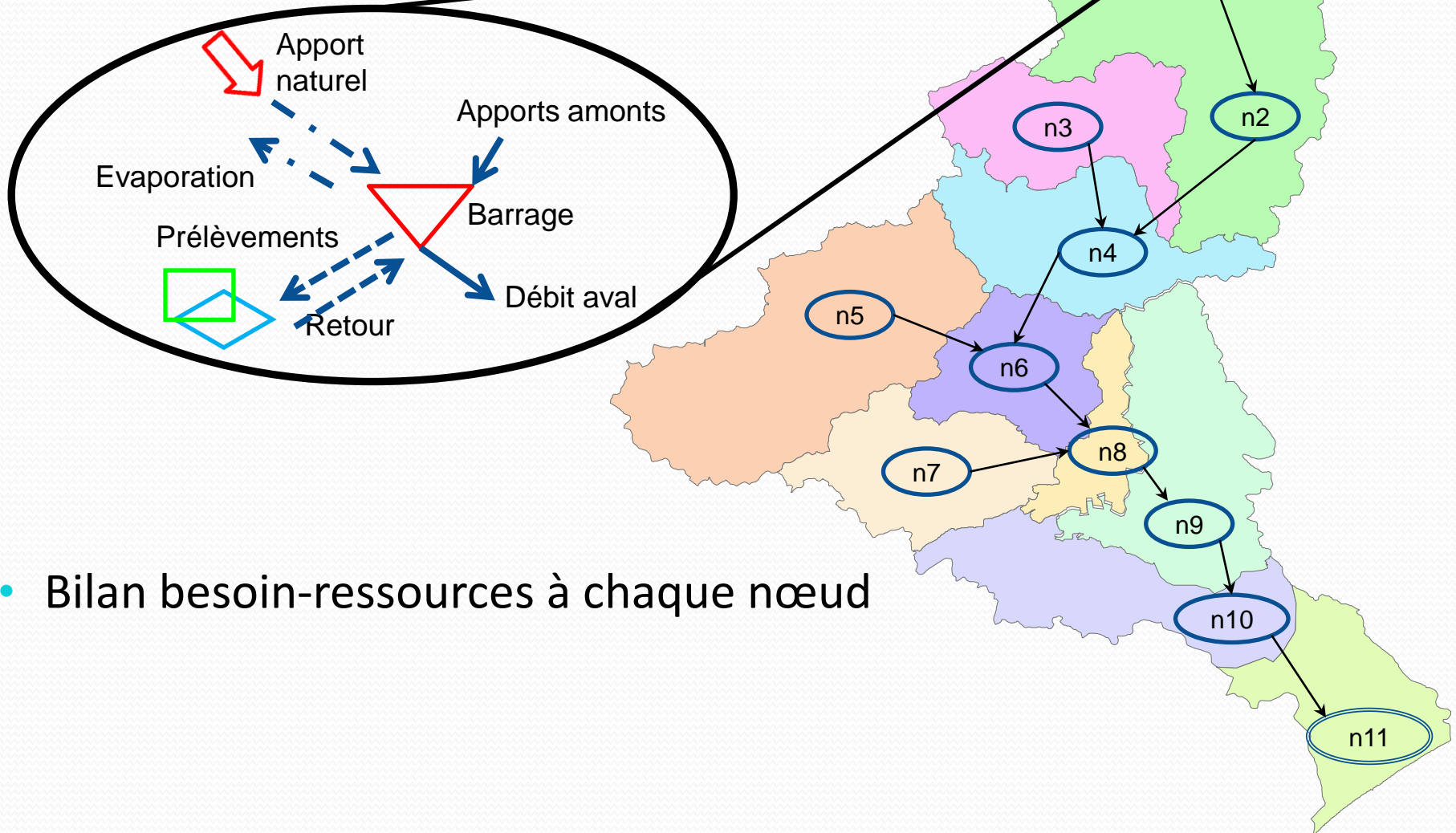
Carte générale du bassin de l'Orb

Modèle de l'Orb

- Représentation du bassin de l'Orb



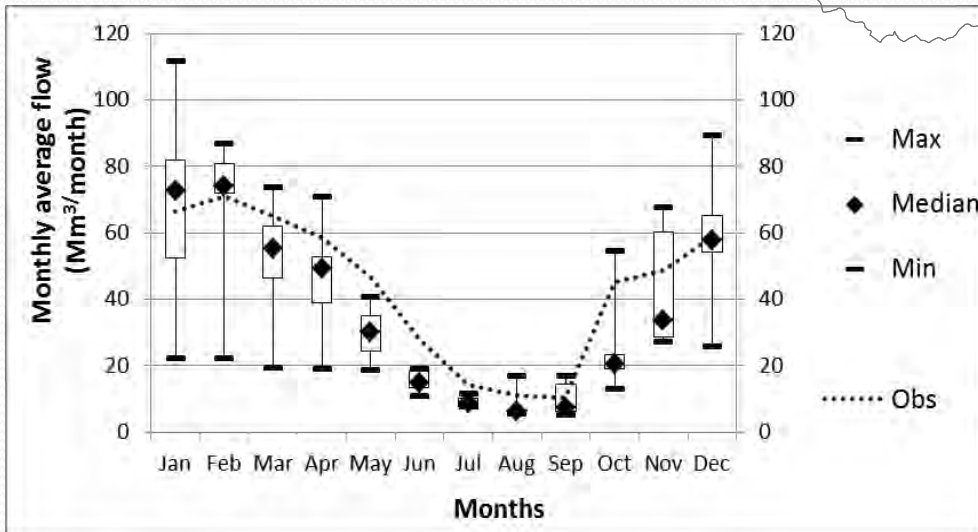
Modèle de l'Orb



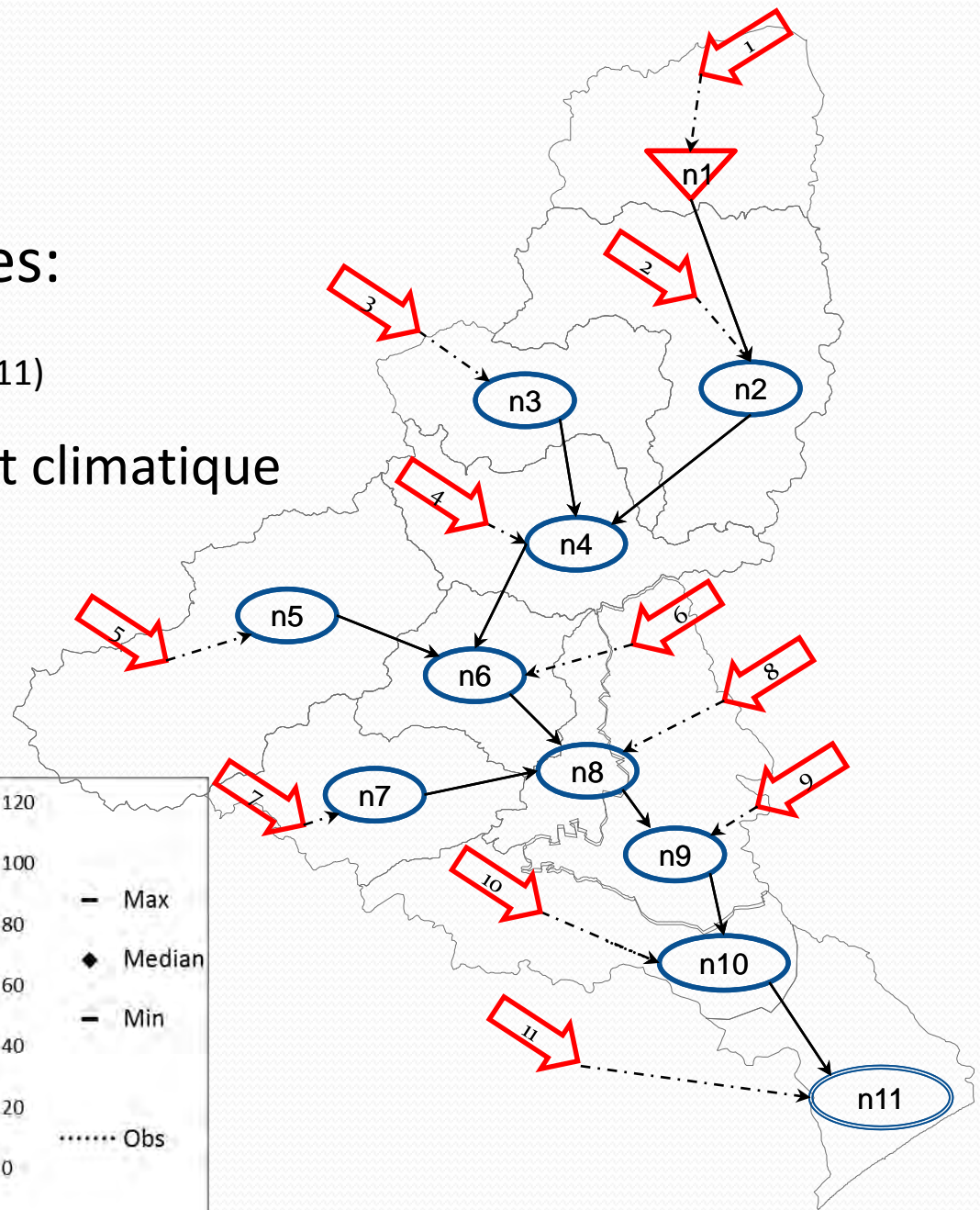
Modèle de l'Orb

Scenario hydrologiques:

- Apports naturel (BRLi, 2011)
- Impact du changement climatique



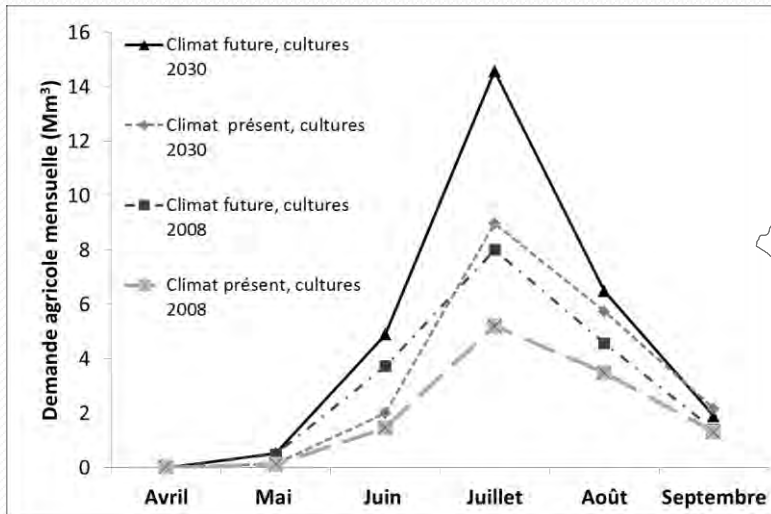
(BRGM, 2013)



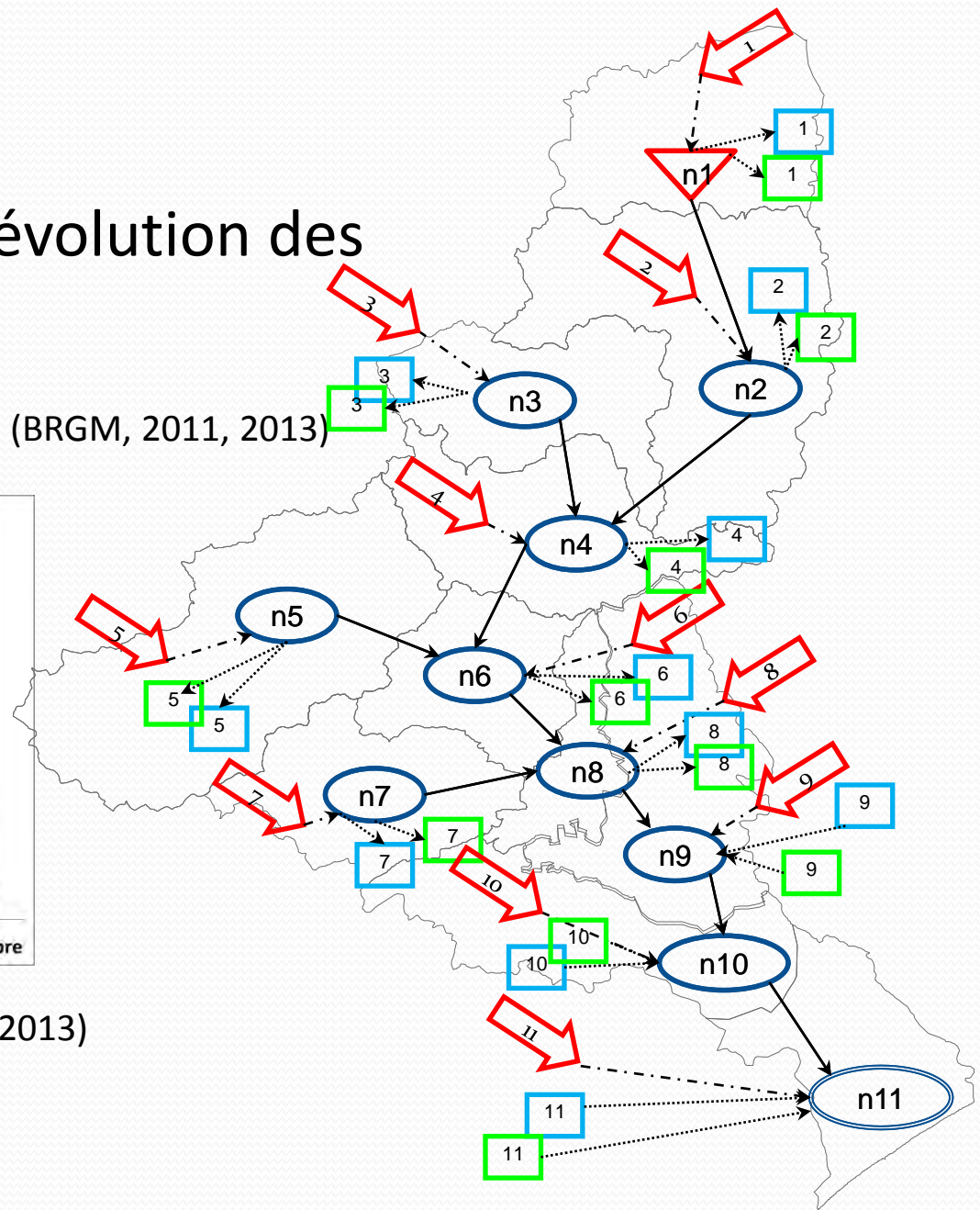
Modèle de l'Orb

- Scenario tendanciel d'évolution des demandes :

□ 19 secteurs d'irrigation (BRGM, 2011, 2013)

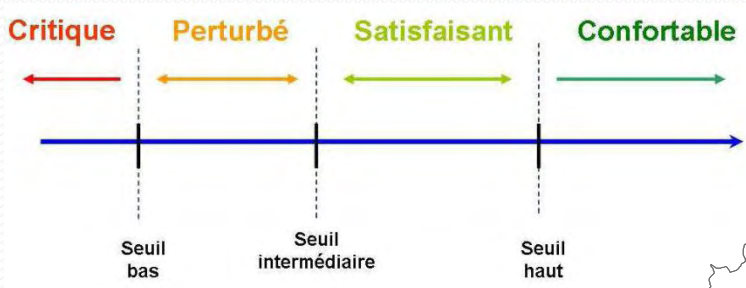


◇ 64 municipalités (BRGM, 2013)



Modèle de l'Orb

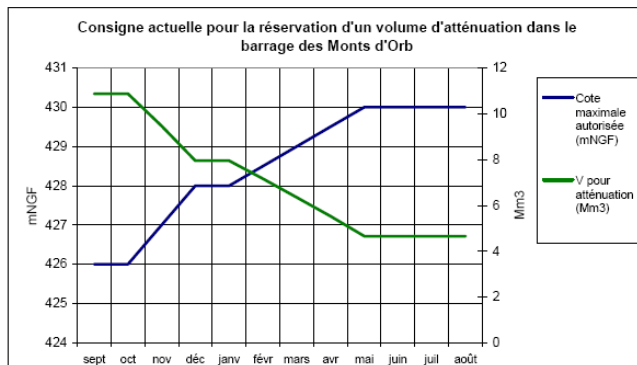
- Définition de sous-bassins versants
- Débits environnementaux



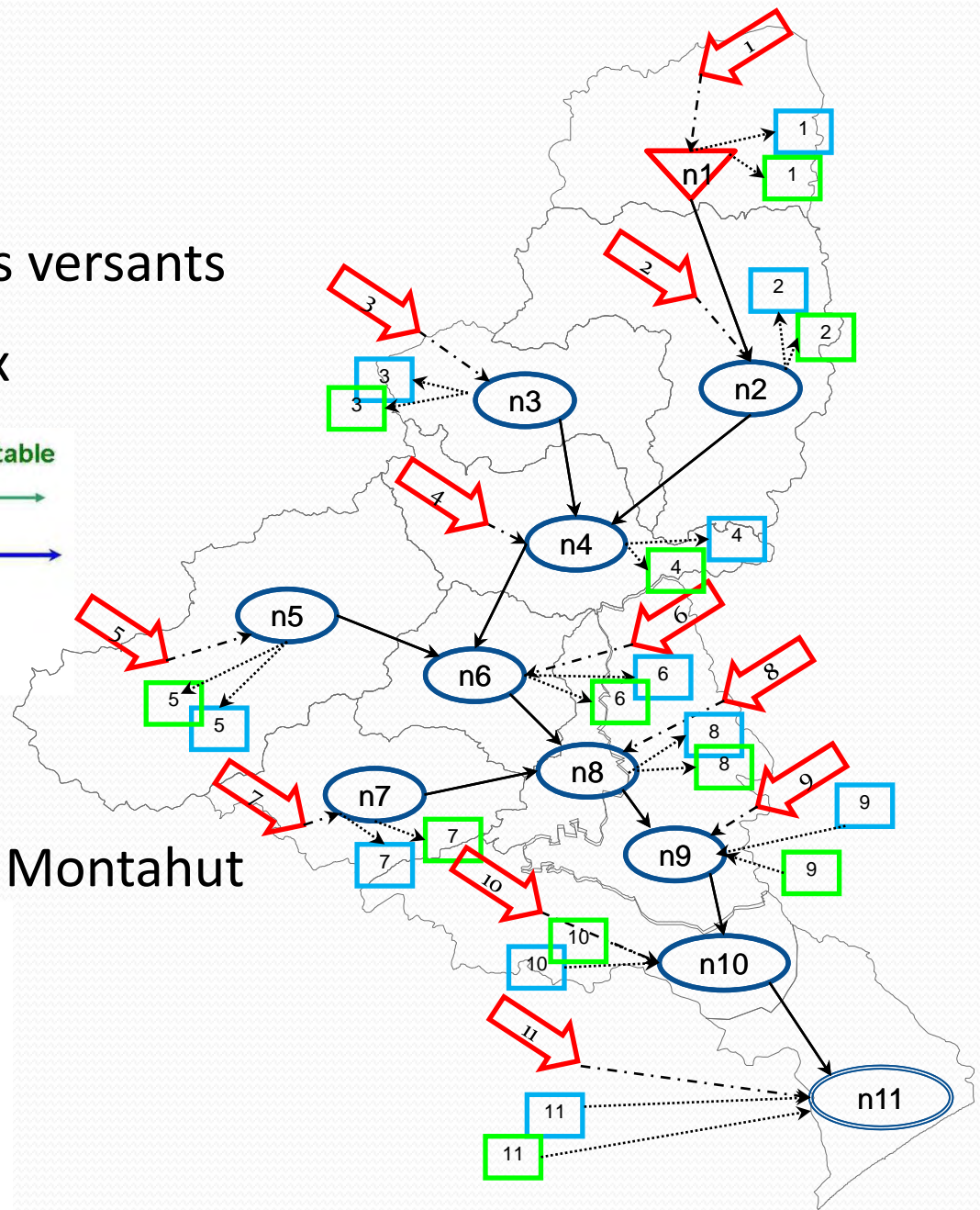
(Ginger, 2011)

- Barrage des Monts d'Orb

et de Montahut



(BRLi, 2011)



Modèle de l'Orb

- Mesures de gestion quantitative:

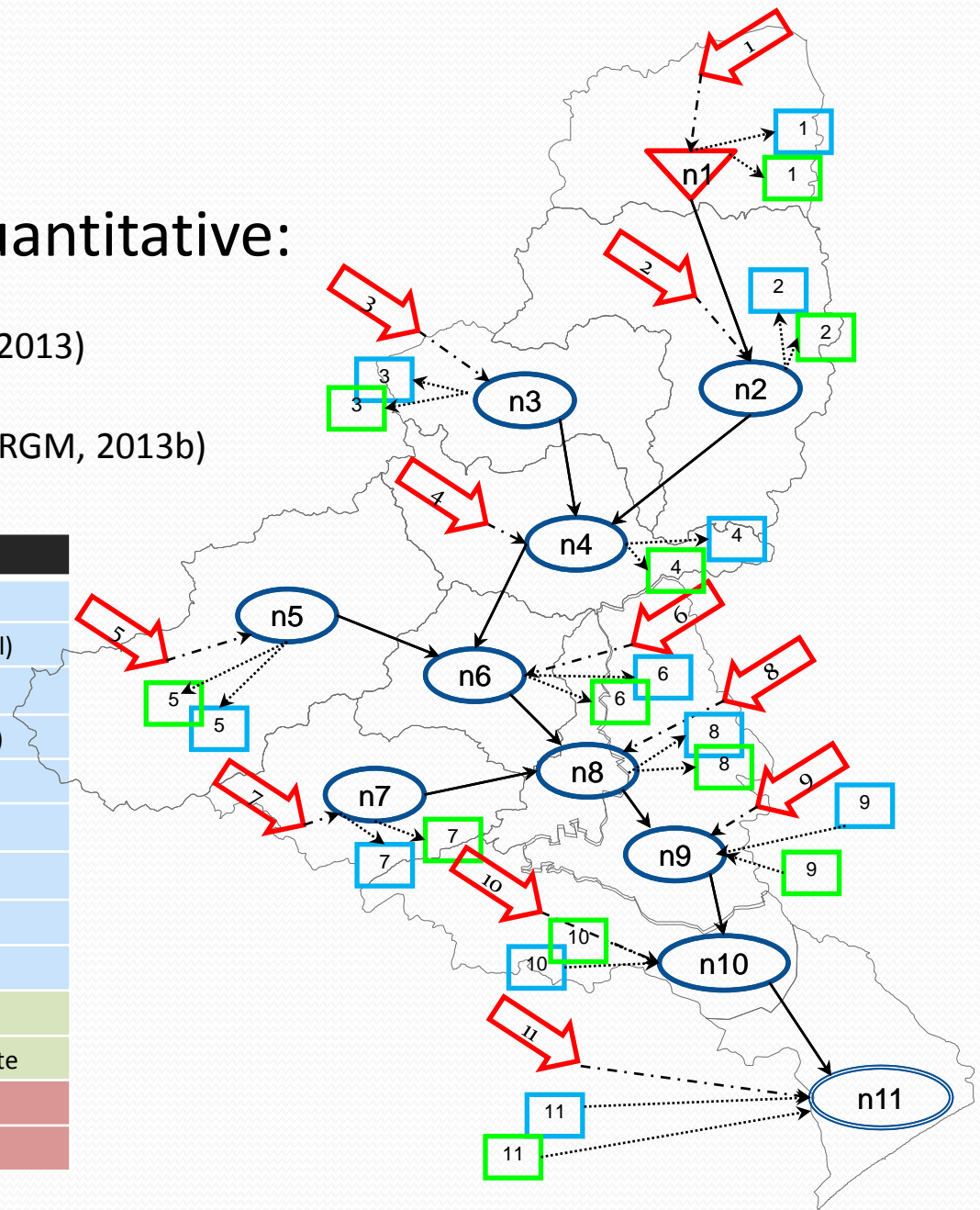


Economies d'eau (BRGM, 2013)



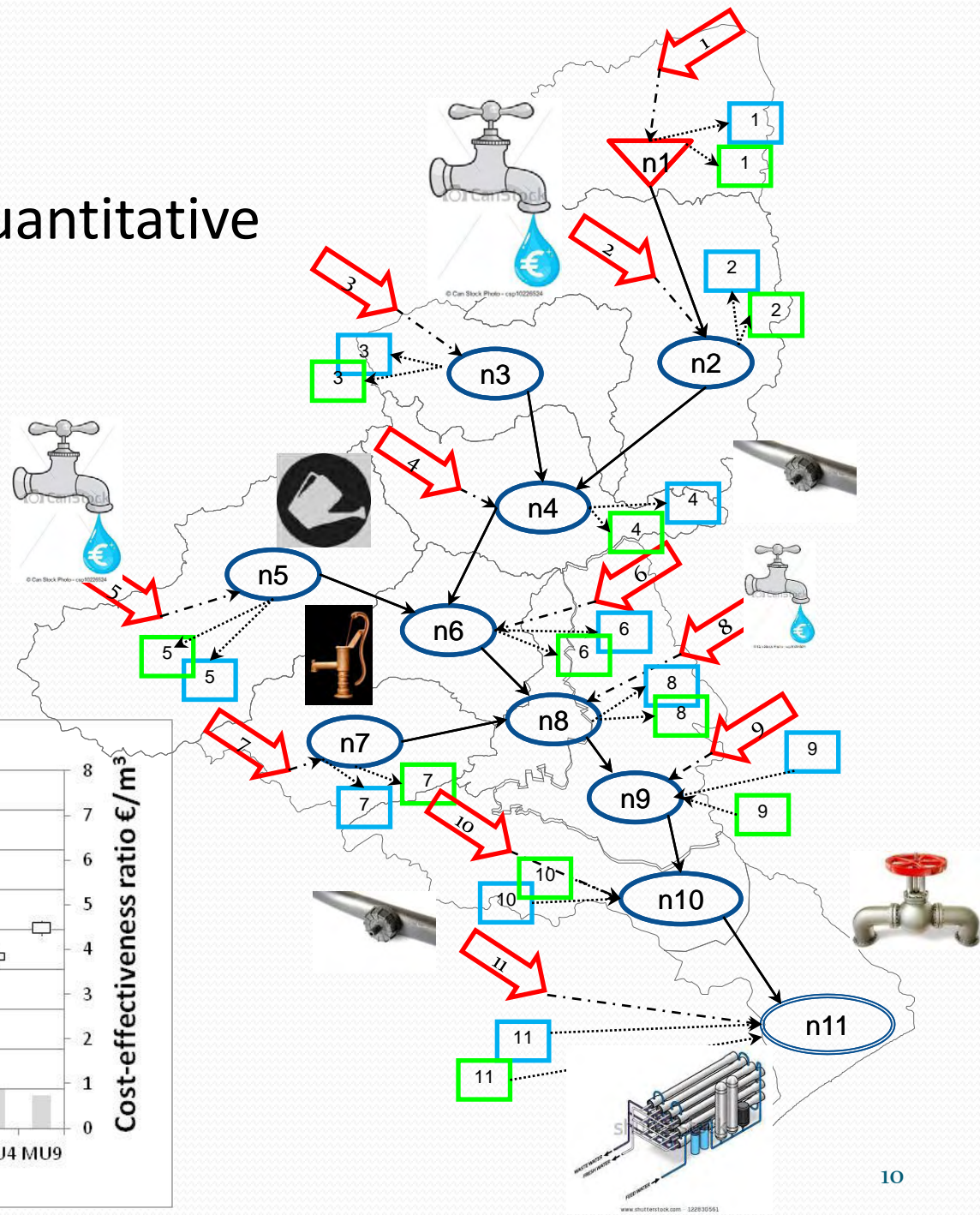
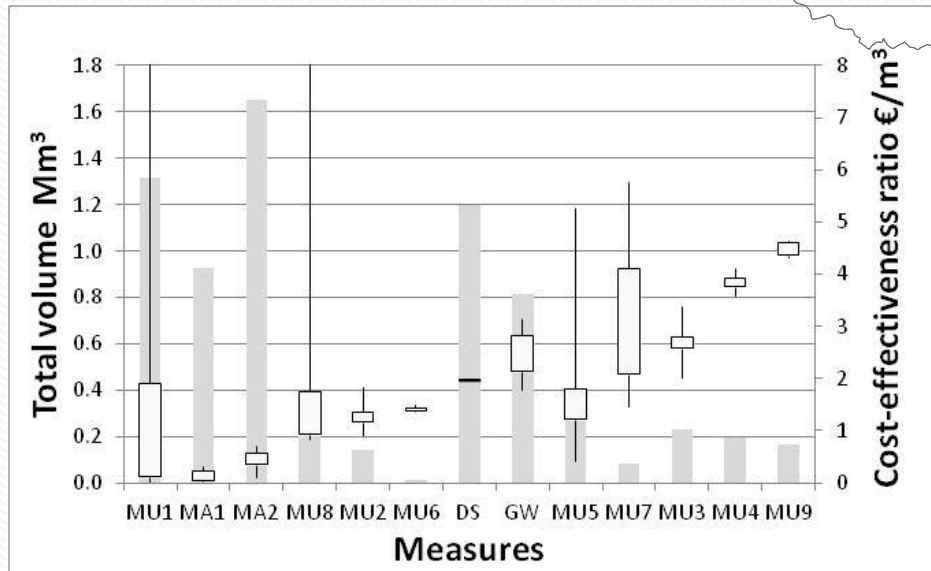
Nouvelles ressources (BRGM, 2013b)

No.	Mesures
MU1	Réhabilitation des réseau AEP
MU2	Kits d'économies d'eau (Habitat individuel)
MU3	Audit habitat individuel
MU4	Kits d'économies d'eau (Habitat collectif)
MU5	Tarification de pointe
MU6	Kits d'économies d'eau (Hôtels)
MU7	Audit des campings
MU8	Végétation méditerranéenne
MU9	Pelouse artificielle
MA1	Changement de gravité à aspersion
MA2	Changement de aspersion à goutte à goutte
ES	Projet eaux souterraines
DS	Projets dessalements eaux de mer



Modèle de l'Orb

- Mesures de gestion quantitative

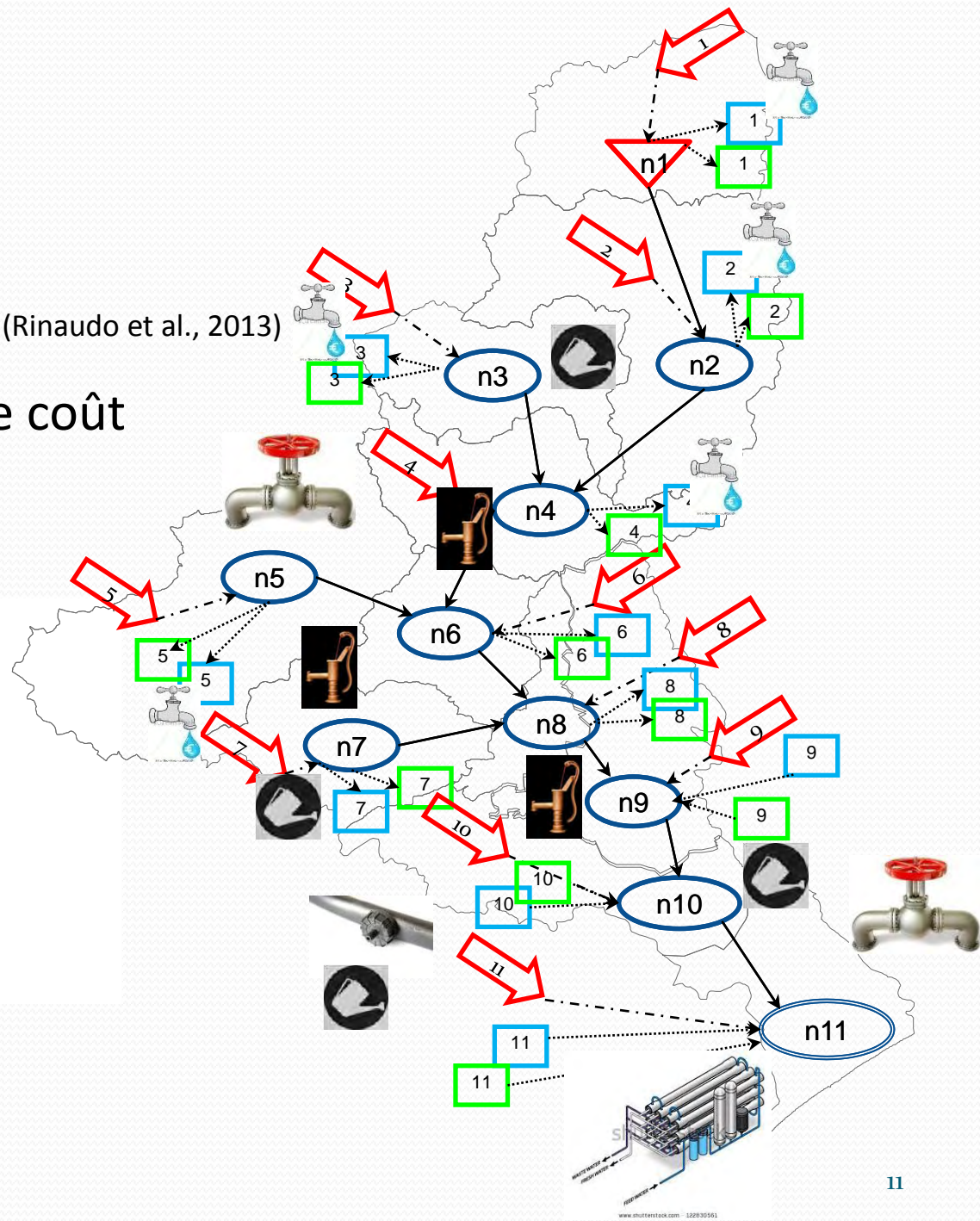


Modèle de l'Orb

- Choix des mesures

- Analyse coût-efficacité (Rinaudo et al., 2013)
- Optimisation à moindre coût

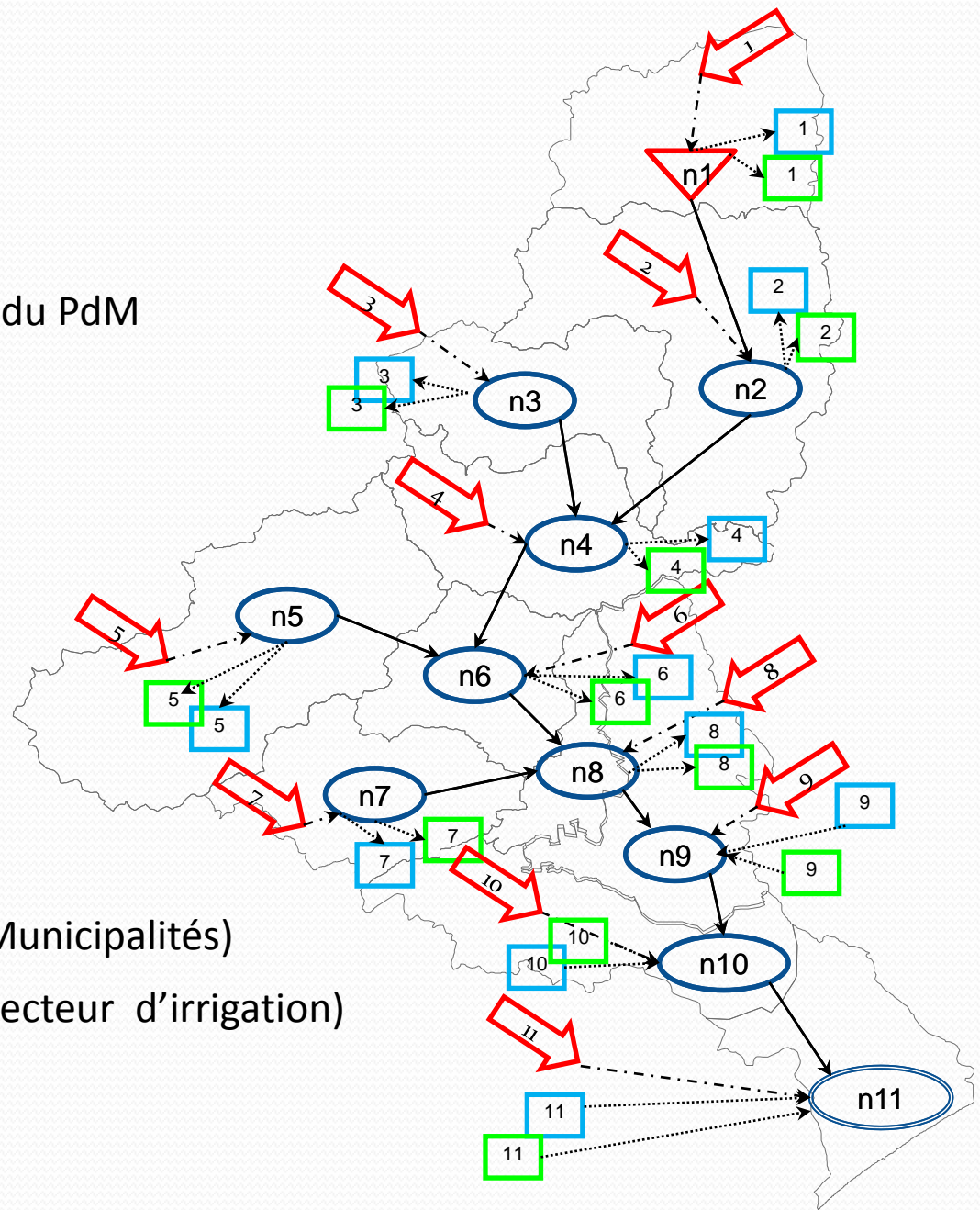
?



Modèle de l'Orb

Modèle d'optimisation

- Fonction objectif : Minimiser Coût du PdM
- Contraintes:
 - Débits environnementaux
 - Demande
 - Réservoir (Inondation)
- Programme: GAMS (*Rosenthal, 2008*)
- Solver: MIP (Cplex solver)
- Résolution mensuelle sur 20 ans
- 9 modèles de climat (GCM)
- 64 Unité de Demande Urbaine (Municipalités)
- 19 Unité de Demande Agricole (secteur d'irrigation)
- 11 Nœuds (sous bassin)
- 347 mesures (Binary variable)
- 1 barrage

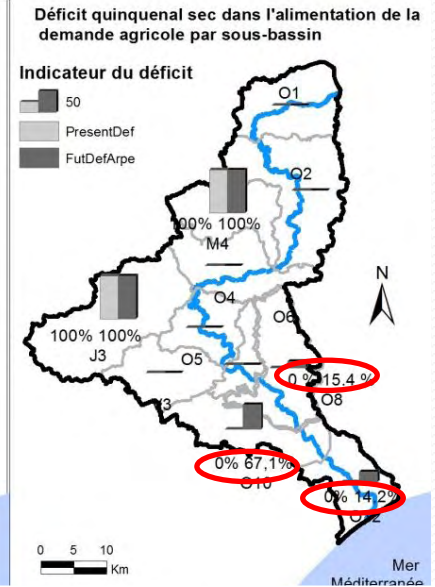
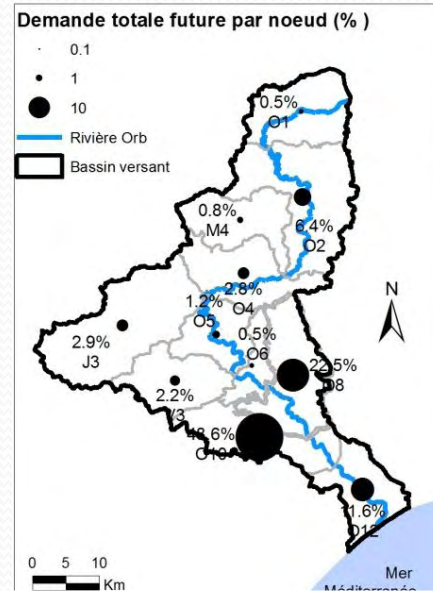


Plan de présentation

- Modèle d'optimisation à moindre coût dans le bassin de l'Orb
- Analyse d'un scénario tendanciel
- Arbitrage entre objectifs de gestion
- Identification d'un PdM robuste face au changement climatique
- Vers une solution plus juste/équitable/acceptable ?
- Questions

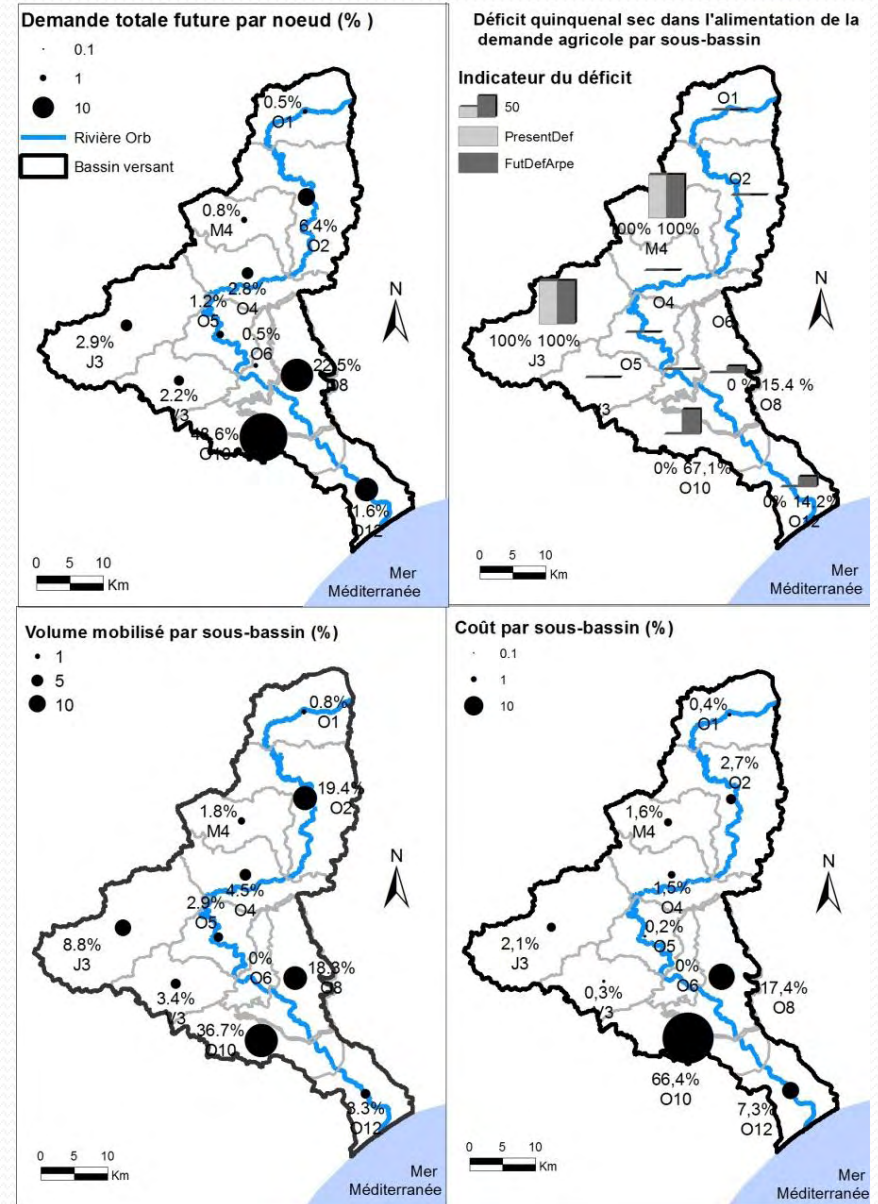
Évaluation d'un scénario tendanciel:

- Déficits présents:
 - BV de la Mare et du Jaur
- Déficits horizon 2030 (CC+ demande):
 - Idem + Bassins versants en aval
- Besoin d'un programme de mesures ?



Évaluation d'un scénario tendanciel:

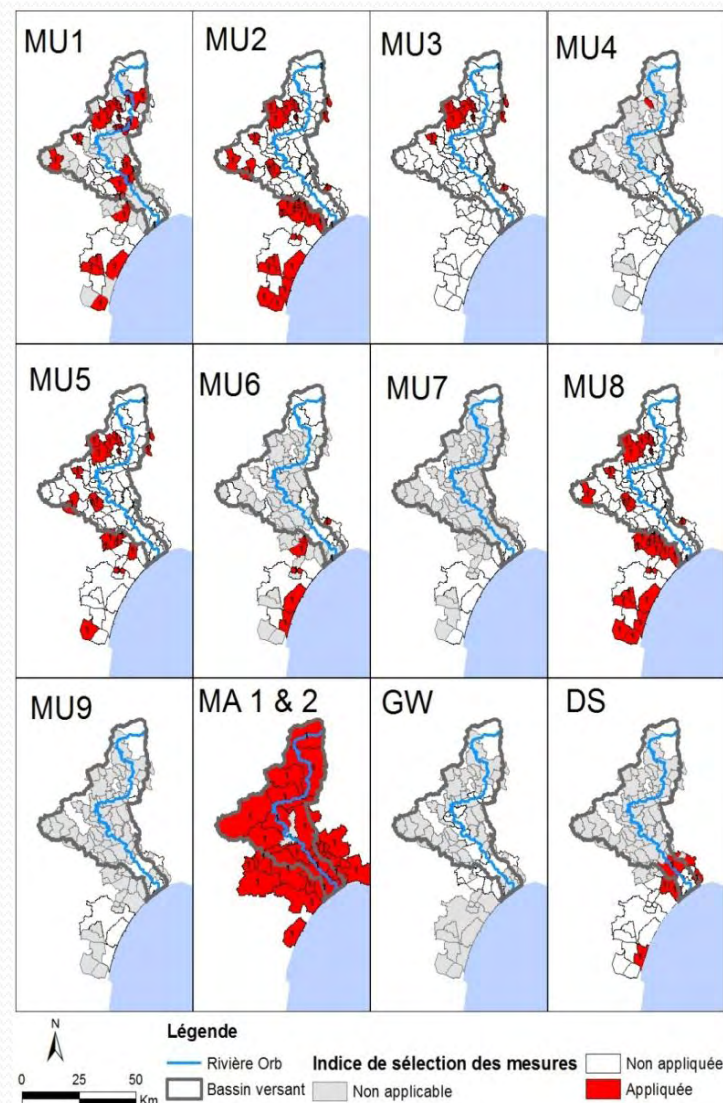
- Caractéristiques du PdM



Évaluation d'un scénario tendanciel

- Programme de mesures pour le scénario tendanciel

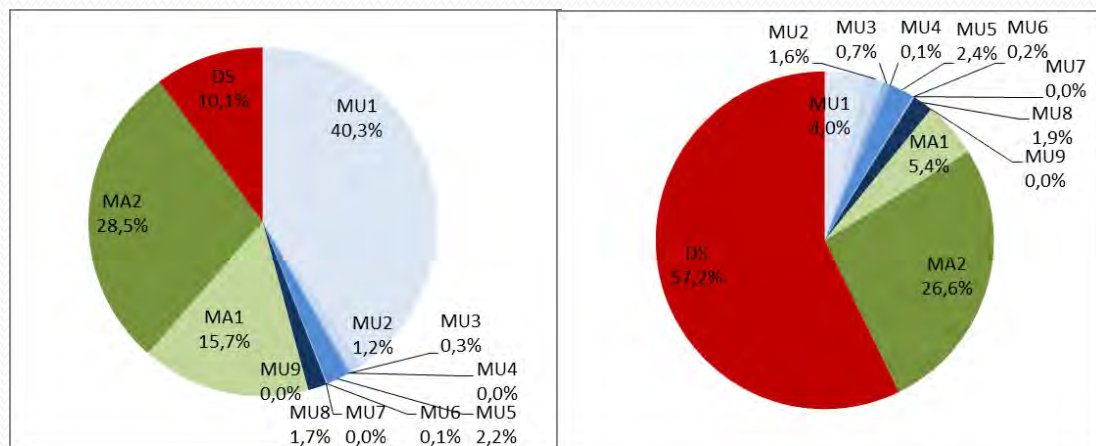
No.	Mesures
MU1	Réhabilitation des réseau AEP
MU2	Kits d'économies d'eau (Habitat individuel)
MU3	Audit habitat individuel
MU4	Kits d'économies d'eau (Habitat collectif)
MU5	Tarification de pointe
MU6	Kits d'économies d'eau (Hôtels)
MU7	Audit des campings
MU8	Végétation méditerranéenne
MU9	Pelouse artificielle
MA1	Changement de gravité à aspersion
MA2	Changement de aspersion à goutte à goutte
ES	Projet eaux souterraines
DS	Projet dessalement eau de mer



Localisation des mesures sélectionnées
dans le scénario tendanciel

Évaluation d'un scénario tendanciel

- Programme de mesures à mettre en œuvre pour le scénario tendanciel



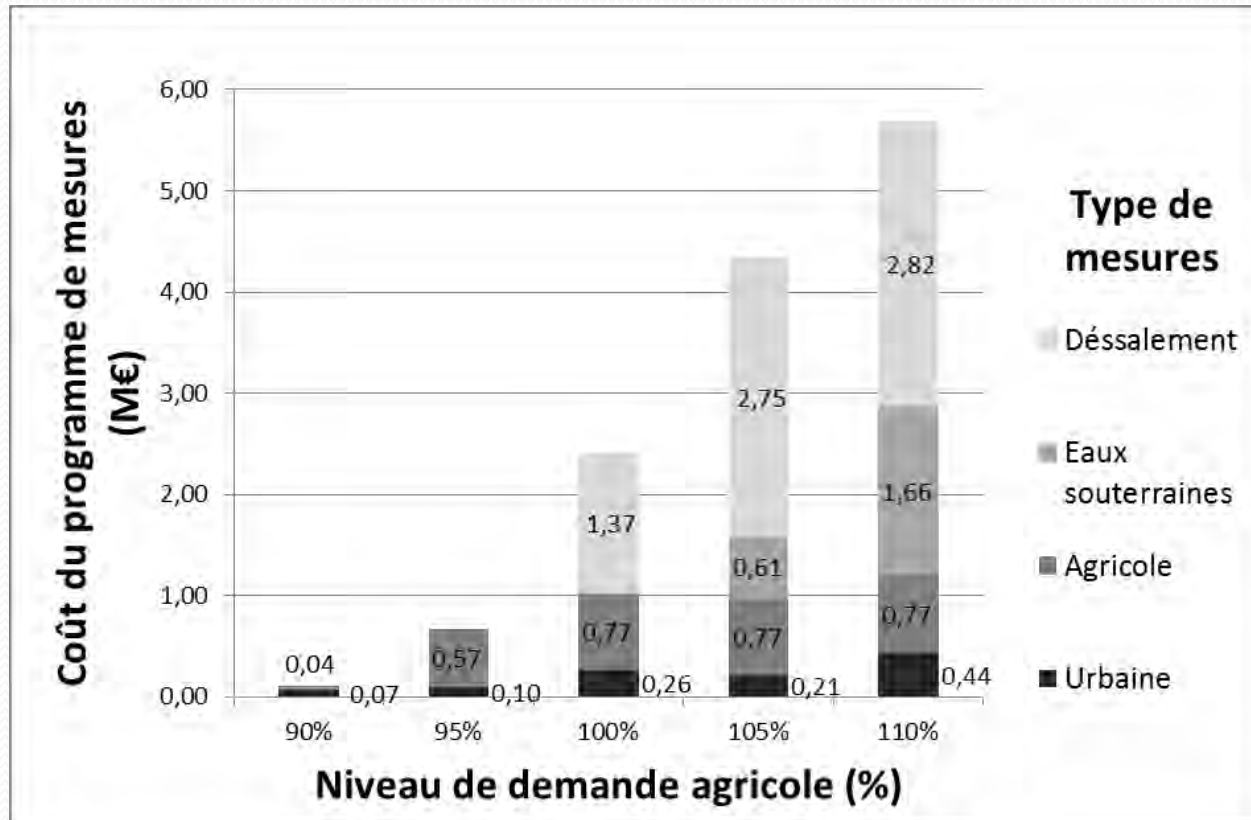
Répartition des coûts (à droite) et des volumes (à gauche) mobilisés par le programme de mesures du scénario tendanciel (hypothèse climatique Arpège).

No.	Mesures
MU1	Réhabilitation des réseau AEP
MU2	Kits d'économies d'eau (Habitat individuel)
MU3	Audit habitat individuel
MU4	Kits d'économies d'eau (Habitat collectif)
MU5	Tarification de pointe
MU6	Kits d'économies d'eau (Hôtels)
MU7	Audit des campings
MU8	Végétation méditerranéenne
MU9	Pelouse artificielle
MA1	Changement de gravité à aspersion
MA2	Changement de aspersion à goutte à goutte
ES	Projet eaux souterraines
DS	Projet dessalement eau de mer

Plan de présentation

- Modèle d'optimisation à moindre coût dans le bassin de l'Orb
- Analyse d'un scénario tendanciel
- Arbitrage entre objectifs de gestion
- Identification d'un PdM robuste face au changement climatique
- Vers une solution plus juste/équitable/acceptable ?
- Questions

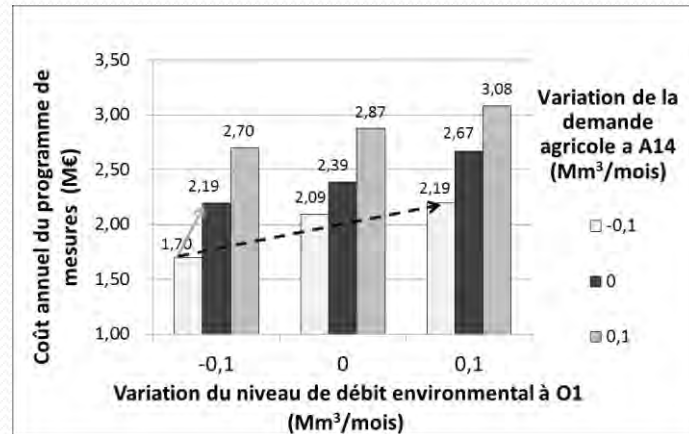
Arbitrage entre coût du PdM et développement de l'irrigation



Evolution du coût et de la composition du programme de mesures pour différents niveaux de demande agricole à l'échelle du bassin

Arbitrage entre contraintes environnementale, agricole et économique

- Entre différents niveaux d'évolution de la demande agricole par sous bassin, niveau de débit environnemental et le coût du programme de mesures



Coût du programme de mesures pour différents niveaux de demande agricole (a14) et de débits environnementaux (O1)

Plan de présentation

- Modèle d'optimisation à moindre coût dans le bassin de l'Orb
- Analyse d'un scénario tendanciel
- Arbitrage entre objectifs de gestion
- Identification d'un PdM robuste face au changement climatique
- Vers une solution plus juste/équitable/acceptable ?
- Questions

Identification d'un PdM robuste face au changement climatique

- Déficits et coûts des programmes de mesures pour les 9 scénarios

Scénario climatique	Indicateur de satisfaction de la demande sans PDM	Coût du PdM (€)
IPSL	1,000	-
MPI	1,000	-
MRI	1,000	-
CCMA	0,987	213 500
GISS	0,961	771 800
Arpège	0,940	1 565 500
GFDL	0,941	2 730 500
CNRM	0,863	2 905 200
NCAR	0,871	6 701 500

Pb:

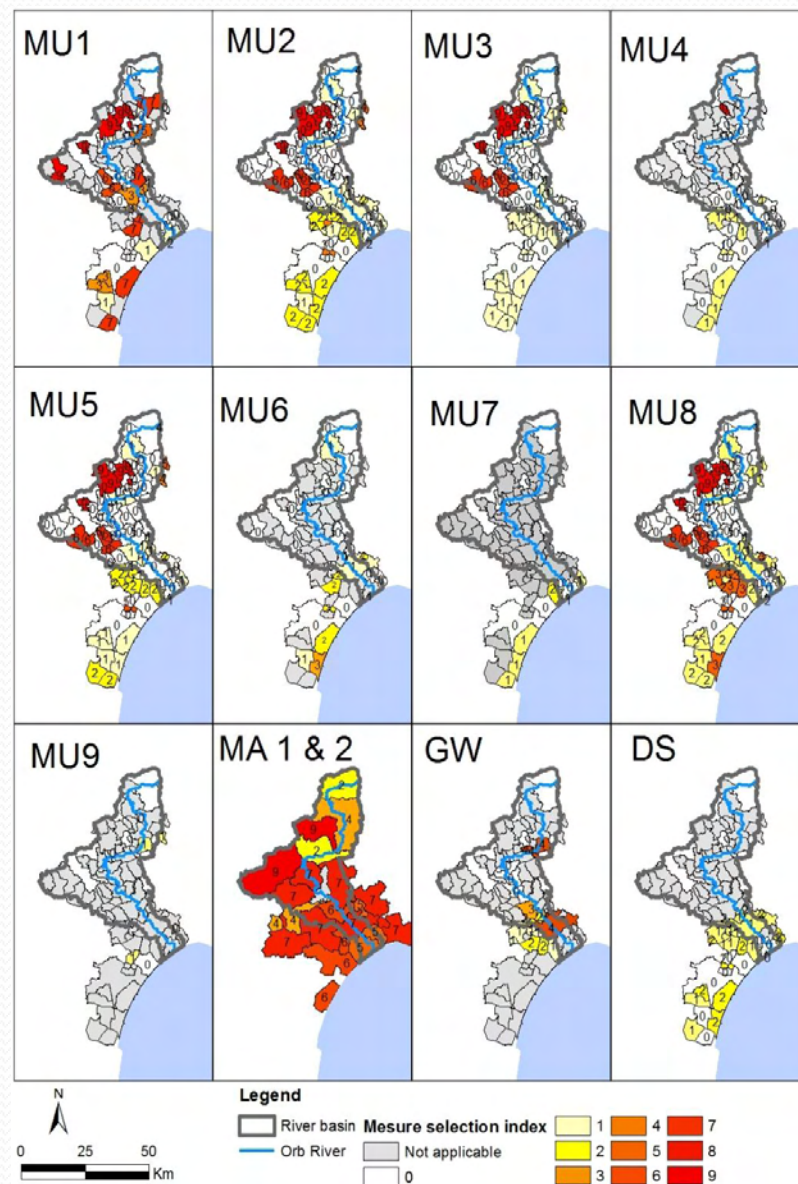
Quelles mesures et quel programme choisir ?

Indicateur de satisfaction de la demande sans programme de mesures et coût d'un programme de mesures optimum pour les 9 scénarios de changement climatiques

Identification d'un PdM robuste face au changement climatique

- Indicateur de confiance dans le choix d'une mesure

Répartition des mesures appliquées dans le bassin de l'Orb en prenant compte des différents scénarios de changement climatique. Le nombre et la couleur indiquent le niveau de confiance dans la sélection de la mesure de 0 (blanc) à 9 (rouge), en sommant 1 à chaque fois que la mesure est sélectionnée dans un scénario de changement climatique



Identification d'un PdM robuste face au changement climatique

*“Under ‘deep’ uncertainty **robustness may be preferable to optimality** “
(Ben-Haim 2006; Dessai and Hulme 2007; Lempert et al. 2006;).*

*“A robust system is one that performs satisfactorily, or satisfies (Simon 1959) **minimum performance criteria, over a wide range of plausible** future scenarios rather than performing optimally in a few. “*

(In Mastrosov, et al. 2013)

Identification d'un PdM robuste face au changement climatique

- Performance des Programme de Mesures pour différentes conditions de changement climatique

$$P = \begin{pmatrix} PoM_1 \\ \vdots \\ PoM_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 & \cdots & w_{m-1} & w_m \\ \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1m-1} & x_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{nm-1} & x_{nm} \end{bmatrix} \end{pmatrix}$$

PdM/scenario CC	Indicateur de satisfaction de la demande (0 to 1)									Coût du PdM (€)
	MPI									
	IPSL	ECHAM	MRI	CCMA	GISS	Arpège	GFDL	CNRM	NCAR	
Sans PdM	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.94	0.94	0.86	0.87	0
IPSL	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.94	0.94	0.86	0.87	0
MPI ECHAM	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.94	0.94	0.86	0.87	0
MRI	1.00	1.00	1.00	0.99	0.96	0.94	0.94	0.86	0.87	0
CCMA	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.95	0.95	0.89	0.89	213,497
GISS	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.94	0.94	771,784
Arpège	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.95	1,565,466
GFDL	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.96	0.95	2,730,458
CNRM	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	2,905,221
NCAR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6,701,525

Matrice des performances des 9 programmes de mesures pour les 9 scénarios de changement climatique

Identification d'un PdM robuste face au changement climatique

- Analyse de moindre regret

PdM/scenario CC	IPSL	MPI	MRI	CCMA	GISS	Arpège	GFDL	CNRM	NCAR	Regret du coût	Regret demande agricole	Regret moyen
Sans PdM	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.67	0.33
IPSL	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.67	0.33
MPI ECHAM	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.67	0.33
MRI	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.67	0.33
CCMA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.81	0.81	0.80	0.83	0.03	0.44	0.24
GISS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.36	0.42	0.49	0.12	0.18	0.15
Arpège	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.24	0.37	0.23	0.09	0.16
GFDL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.32	0.41	0.41	0.08	0.25
CNRM	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.43	0.02	0.22
NCAR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.50

Matrice de regrets calculée pour comparer les performances des 9 programmes de mesures définies (coût annuel et satisfaction de la demande agricole)

$$r_{ij} = |x_j^* - x_{ij}| / |x_j' - x_j^*|, \quad (\text{Eq.2})$$

Identification d'un PdM robuste face au changement climatique

- Analyse de moindre regret

$$R_i = \sum_{j=1}^m w_j \times r_{ij}$$

PdM	Poids des regrets (%)		
	1.	2.	3.
	25 C/75 A	50 C/50 A	75 C/25 A
Sans PdM (IPSL, MPI, MRI)	0.50	0.33	0.17
CCMA	0.34	0.24	0.13
GISS	0.17	0.15	0.13
Arpège	0.12	0.16	0.20
GFDL	0.16	0.25	0.33
CNRM	0.12	0.22	0.33
NCAR	0.25	0.50	0.75

Table des préférences pour le regret total pour différentes combinaison de poids entre le coût du PdM et la satisfaction de la demande agricole

Plan de présentation

- Modèle d'optimisation à moindre coût dans le bassin de l'Orb
- Analyse d'un scénario tendanciel
- Arbitrage entre objectifs de gestion
- Identification d'un PdM robuste face au changement climatique
- Vers une solution plus juste/équitable/acceptable ?
- Questions

Vers une solution plus juste/équitable/acceptable ?

In conventional optimization methods, (...) **perfect cooperation among the decision makers to reach the system's optimal solutions is assumed.** (Madani, 2010)



Vers la résolution d'un problème d'allocation des coûts
(Young, et al., 1982)

Modélisation hydro-économique dans le bassin de l'Orb : optimisation et répartition du coût d'un programme de mesures.

Corentin GIRARD,

cogi@posgrado.upv.es

Doctorant en co-tutelle

Université Politechnique de Valence (Espagne) et EDEG-GEAU, Montpellier

Directeurs: Dr. Rinaudo, Jean-Daniel (BRGM, Montpellier, France)

Prof. Pulido-Velazquez, Manuel (IIAMA-UPV, Espagne)



Instituto de Ingeniería del
Agua y Medio Ambiente

Bibliographie

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration—Guidelines for computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-1042
- Caballero Y. and Girard C., 2012. Impact du changement climatique sur la ressource en eau du bassin versant de l'Orb. Rapport BRGM/RP-61319-FR. 40 p., 16 ill. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61319-FR.pdf>
- Chazot, S., 2011. Perspectives d'évolution de la gestion des volumes stockés dans le barrage des Monts d'Orb. Rapport final, Novembre 2011, BRL Ingénierie. <http://www.vallees-orb-libron.fr/wp-content/uploads/2012/12/etude-gestion-Monts-Orb-Rapport-V16.pdf>
- Dessai S, Hulme M (2007) Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: a case study on water resources management in the east of England. *Global Environmental Change* 17, 59–72
- Girard, C., and Rinaudo, J.D., (2013). Evolution des besoins en eau d'irrigation à l'horizon 2030 dans l'Ouest de l'Hérault Rapport BRGM- RP - 61323 - FR. 41 pages (In French) Available at www.brgm.fr
- Harou J. J., Pulido-Velazquez M., Rosenberg D. E., Medellín-Azuara J., Lund J. R., Howitt R. E. (2009) Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology* 375, 627–643.
- Heinz I., Pulido-Velazquez M., Lund J. R., Andreu J. (2007) Hydro-economic modelling in river basin management: Implications and applications for the European water framework directive. *Water Resources Management* 21, 1103–1125.
- Lamouroux N., 2002. Estimhab: estimating in-stream habitat quality changes associated with river management. Shareware & User's guide, Cemagref, Lyon. <http://www.lyon.cemagref.fr/bea/lhq/lhq.html> .
- Lempert R. J., Groves D. G., Popper S. W., Banks S. C. (2006) A general, analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios. *Management Science* 52, 514–528.
- Mearns L. O. (2010) The drama of uncertainty. *Climatic Change* 100, 77–85.
- Madani, K., 2010. Game theory and water resources. *Journal of Hydrology* 381, 225–238
- Maton L. (2008) *Évaluation économique du programme de mesures de gestion quantitative des ressources en eau dans l'Ouest de l'Hérault. Volume 1 : Scénario tendanciel et analyse coût-efficacité pour l'usage agricole de l'eau*. Rapport BRGM-RP - 56143 - FR. 89p <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-56143-FR.pdf>
- Maton M., Girard, C. and Rinaudo, J.D., 2012. Evolution des besoins en eau d'irrigation à l'horizon 2030 dans l'Ouest de l'Hérault Rapport BRGM- RP - 61323 - FR.
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., 2006. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology* 318, 200–214. doi:10.1016/j.jhydrol.2005.06.014
- Pagé, C. and Terray, L., 2010. Nouvelles projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21^{ème} siècle : les scénarii SCRATCH2010. Technical Report

Bibliographie

Rinaudo JD, Girard C., Vernier de Byans C et Caballero Y, (2012a), *Analyse coût efficacité du programme de mesures de la DCE. Application à la gestion quantitative dans le bassin versant de l'Orb*. Rapport BRGM. Available at www.brgm.fr

Rinaudo, J.-D., Maton, L., Terrason, I., Chazot, S., Richard-Ferroudji, A., Caballero, Y., 2013a. Combining scenario workshops with modeling to assess future irrigation water demands. *Agric. Water Manage.* 130, 103-112.

Rinaudo, J-D, Noel, Y., Marchal, J.-P., Lamotte, C., 2013b. Evaluation du coût de mobilisation de nouvelles ressources en eau souterraine dans l'Ouest de l'Hérault. Rapport BRGM-RP- 61794-FR (In French)

Vernier, M. and Rinaudo JD (2012) Scénarios d'évolution de la demande en eau potable à l'horizon 2030 dans l'Ouest Hérault. Rapport BRGM/RP-61317-FR. BRGM, Orléans, France. 51 pp

Vier E. and Aigoui. F. 2011. Etude de définition des débits d'étiage de référence pour la mise en oeuvre d'une gestion quantitative de la ressource en eau dans le bassin de l'Orb. Rapport provisoire phases 1 et 2. Avril 2011. Syndicat mixte de la vallée de l'Orb.

Wilby R. L., Dessai S. (2010) Robust adaptation to climate change. *Weather* 65, 180-185.