

# Les processus de recharge superficielle des aquifères méditerranéens.

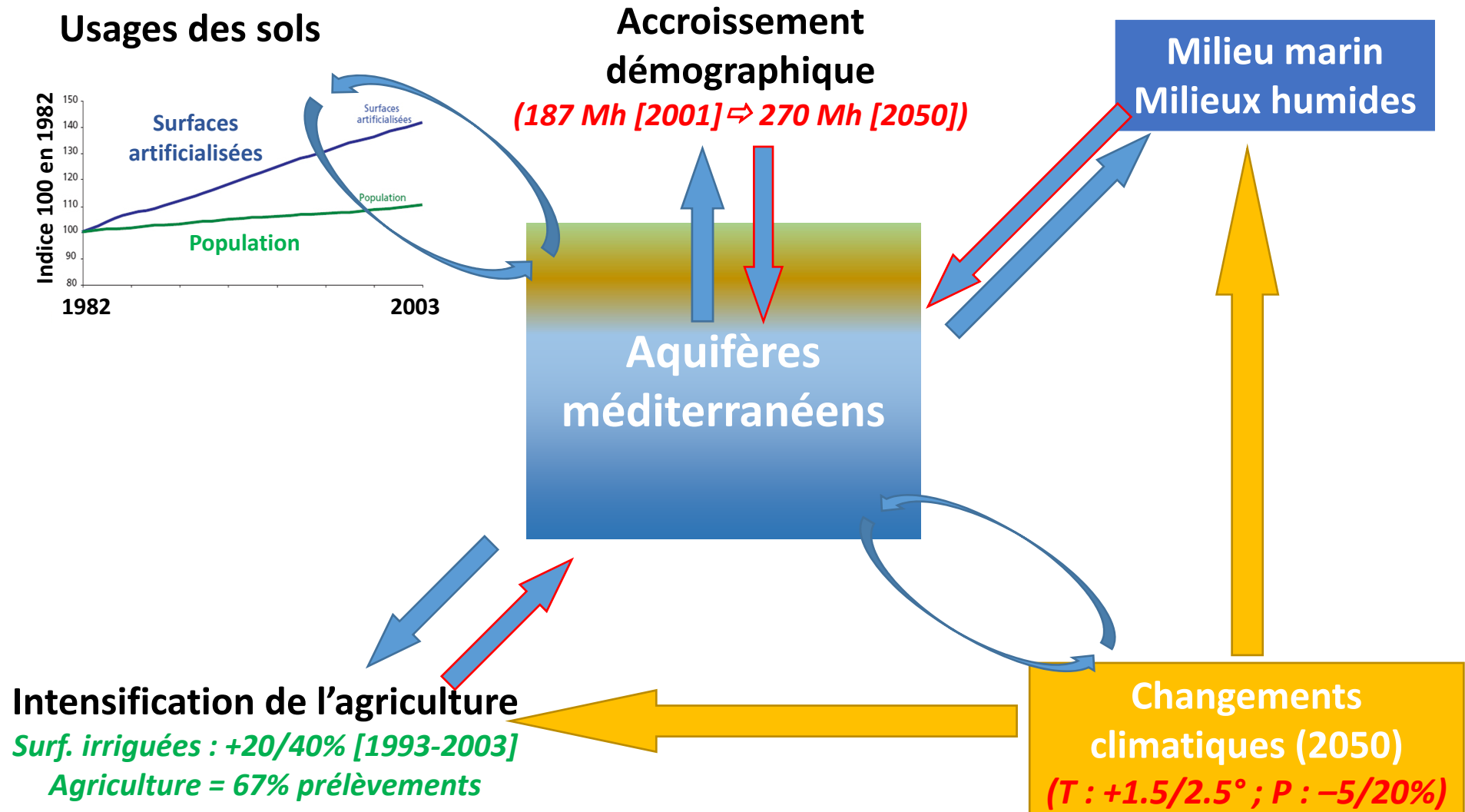
ILLUSTRATIONS DES RÉSULTATS ISSUS DES PROJETS SICMED

CRAU – LEBNA – RESAMED (TENSIFT, MERGUELLIL)

S. RUY<sup>1</sup>, M. ALKASSEM ALOSMAN<sup>1</sup>, M. ALAZARD<sup>2</sup>, A. BAILLIEUX<sup>1</sup>, O. BANTON<sup>1</sup>, G. BELAUD<sup>2</sup>, R. BOUHLILA<sup>3</sup>, G. BOULET<sup>4</sup>, M. BOUTEFFEHA<sup>3,5</sup>, A. CHANZY<sup>1</sup>, N. CHKIR<sup>6</sup>, A.-L. COGNARD-PLANCQ<sup>1</sup>, C. DAGÈS<sup>5</sup>, Y. FAKIR<sup>7</sup>, F. JACOB<sup>5</sup>, M. GILLON<sup>1</sup>, O. GRUNBERGER<sup>5</sup>, P. LECHARPENTIER<sup>1</sup>, C. LEDUC<sup>2</sup>, J. MOLÉNAT<sup>5</sup>, A. OLIOSO<sup>1</sup>, F. RUGET<sup>1</sup>, V. SIMONNEAUX<sup>4</sup>

<sup>1</sup> : UMR EMMAH (FR), <sup>2</sup> : UMR G-EAU (FR), <sup>3</sup> : ENIT-LMHE (TU), <sup>4</sup> : CESBIO (FR), <sup>5</sup> : UMR LISAH (FR, TU), <sup>6</sup> : ENIS-LRAE (TU), <sup>7</sup> : UCAM (MA)

# Contexte Général



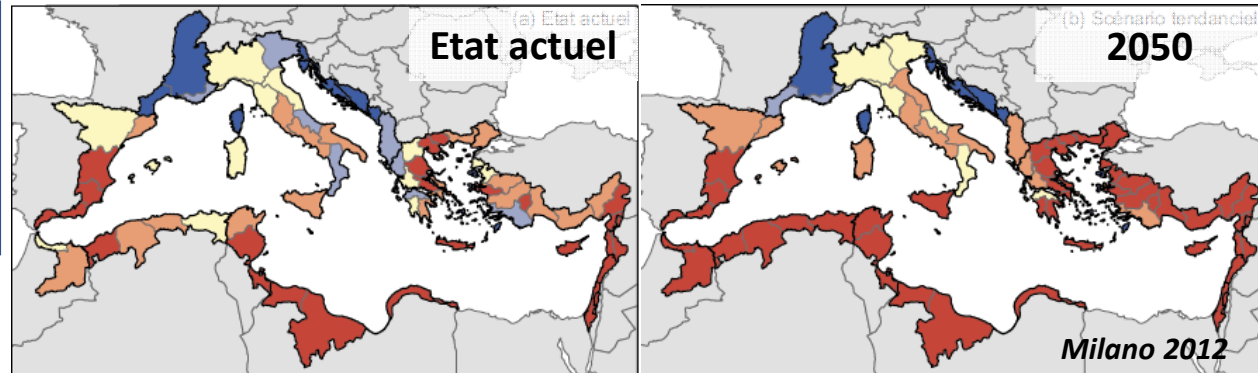
FAO2002 ; PlanBleu2005 ; IPCC2007 ; ONU2009 ; Milano2012 ; Hamdane2007 ; Oubalkace2007

# Contexte Général

## ⇒ Surexploitation des ressources en eau

Indice d'exploitation des ressources en eau renouvelables

< 10 %	[Pas de stress]
10 % – 20 %	[Situation sécuritaire]
20 % – 40 %	[Tensions locales ou conjoncturelles]
40 % – 80 %	[Stress hydrique important]
> 80 %	[Pénurie d'eau]



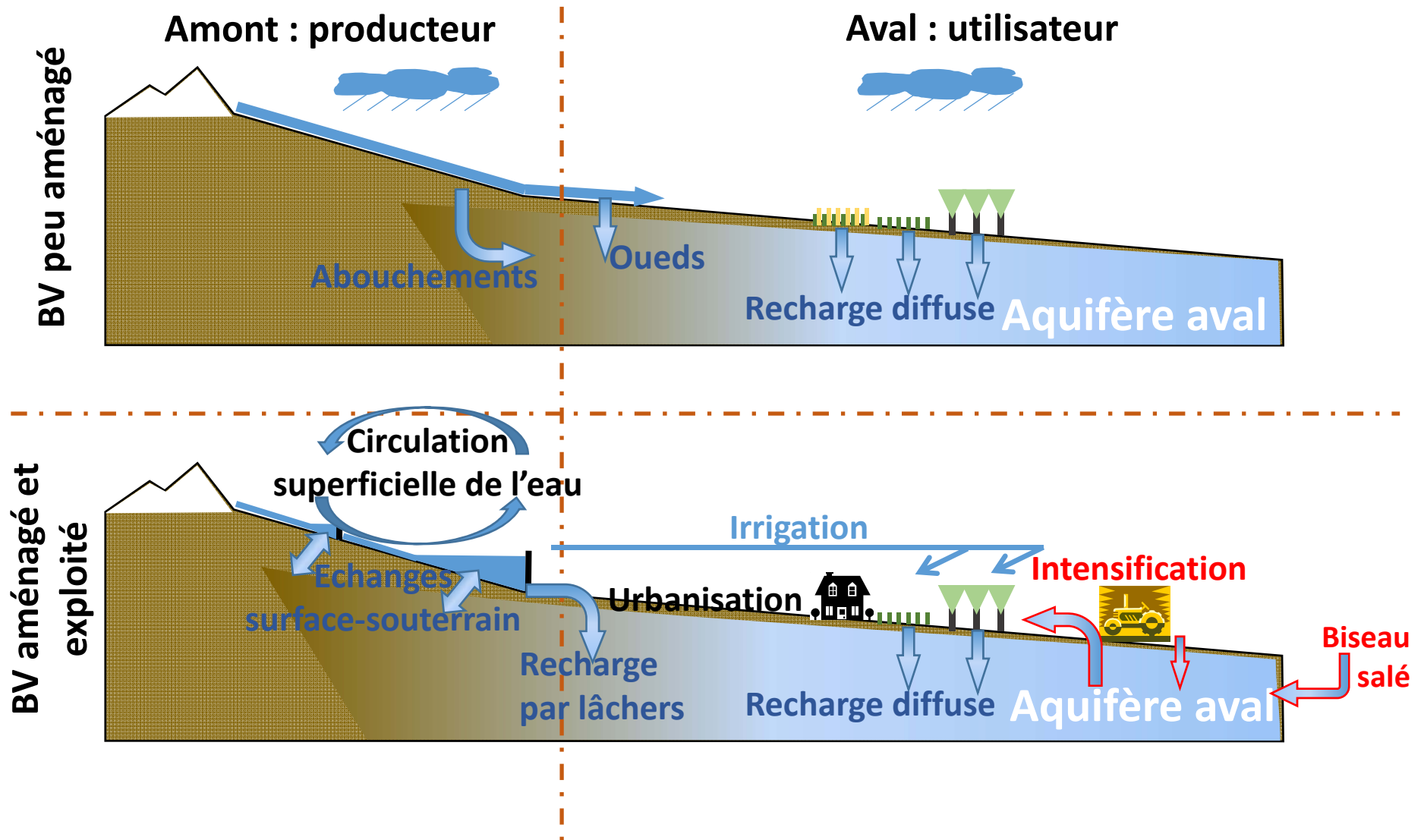
### Enjeux :

- quantifier précisément les ressources en eau souterraines renouvelables
- proposer des modes de gestion durables (quantitatifs et qualitatifs)

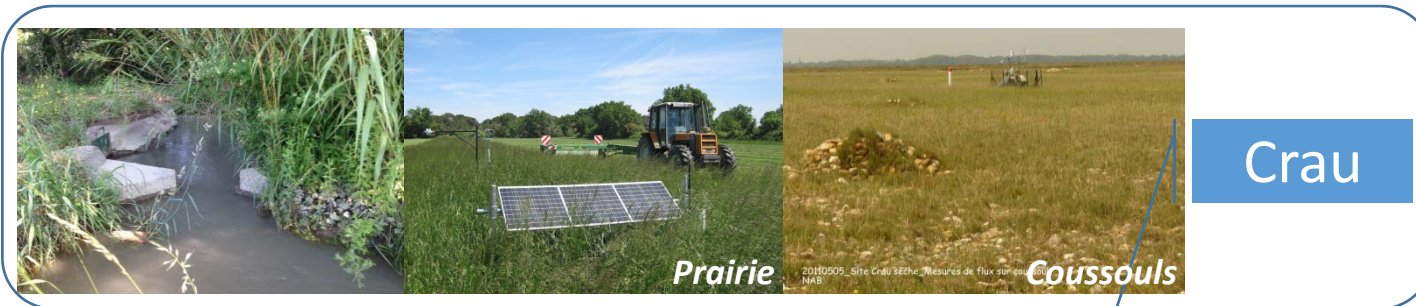
### Objectifs :

- Identifier et caractériser les différentes voies de recharge des aquifères du pourtour méditerranéen dans différents contextes
- Développer des méthodologies adaptées permettant de quantifier ces différentes sources de recharge
- Développer des chaînes de modélisations ou des modélisations intégrées permettant des bilans et des études prospectives sur scénarios

# Les processus de Recharge



# Les sites d'étude

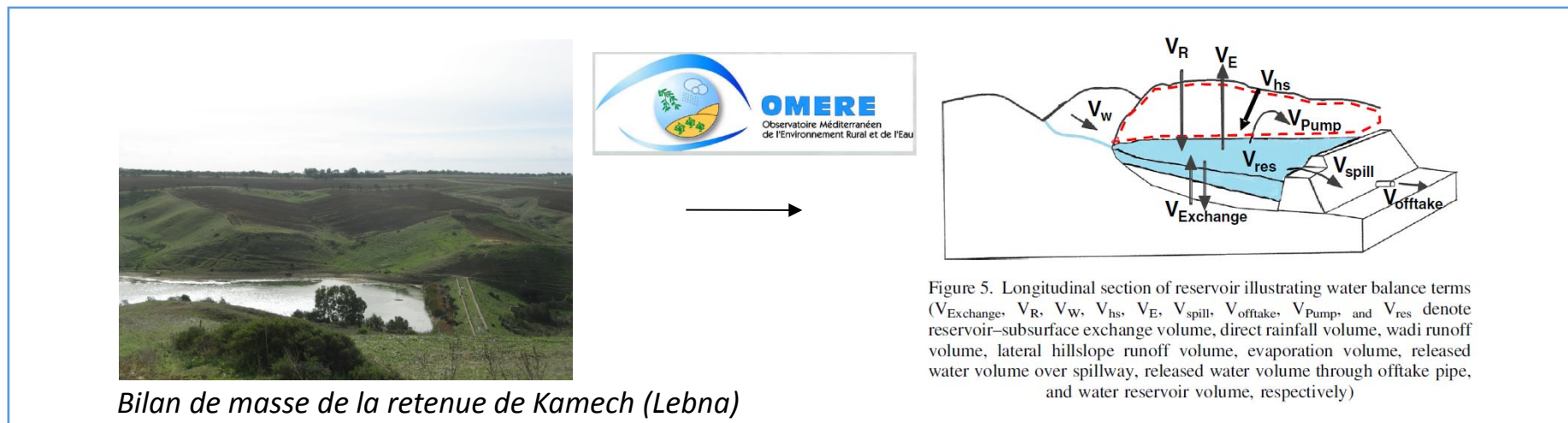


# Les sites d'étude

Site	Surface (km <sup>2</sup> )	Caractéristiques principales (agriculture, irrigation, ...)	Problématiques liées à la gestion des ressources en Eau
Crau	550	Prairies irriguées 40 000 ha irrigués Zones naturelles d'intérêt	Usages multiples de l'eau souterraine (AEP, industrie) Recharge de l'aquifère grâce à l'irrigation Urbanisation
Lebna	250	Amont : agri extensive (légumineuse, pâturage) Aval : Agri intensive (céréales, maraîchages) avec intrants (irrigation, phytosanitaire)	Équilibre AES amont- AES aval Contamination agricoles des aquifères Mobilisation de ressource en eau : retenues ; barrages Envasement du barrage Surexploitation de l'aquifère
Tensift	24 800	Surfaces irriguées (311 000 ha) en augmentation en plaine (arboriculture et céréales) Gestion par Agence de Bassin	Recharge de l'aquifère (abouchements, infiltration crues, contribution de l'irrigation) Surexploitation de l'aquifère
Merguellil	1 500	Plaine irriguée (arboriculture, maraîchage et céréales) Agriculture pluviale Absence de gestion intégrée	Relations retenues-aquifère Surexploitation de l'aquifère

# Impact des ouvrages hydro-agricoles (*Lebna, ReSAMed*)

- Objectif : quantifier les échanges surface-souterrains au niveau des ouvrages (retenues collinaires, barrages)
- Méthodologie :
  - La recharge est estimée comme le terme résiduel du bilan de masse de la retenue
  - Mesure directe, calcul, estimation des autres flux et prise en compte des incertitudes

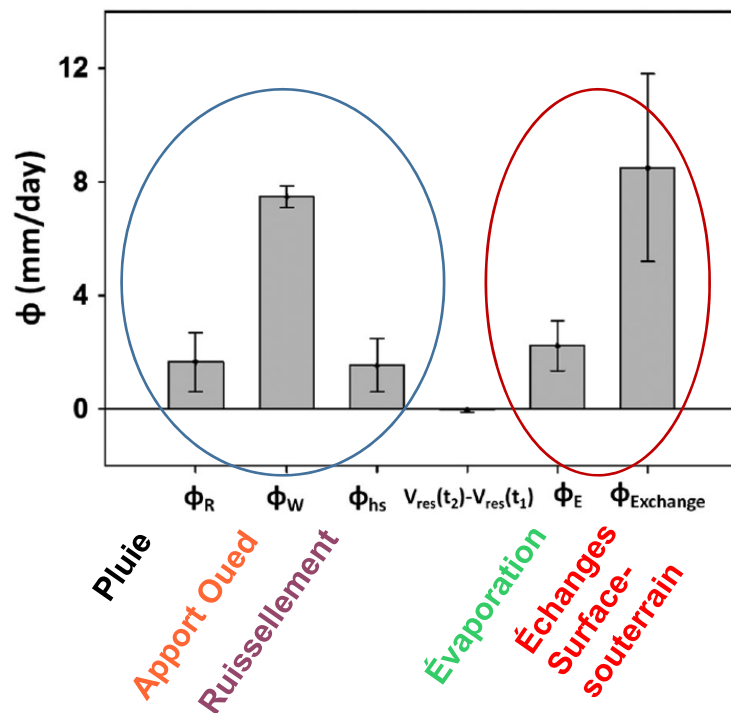


# Impact des ouvrages hydro-agricoles (*Lebna*)

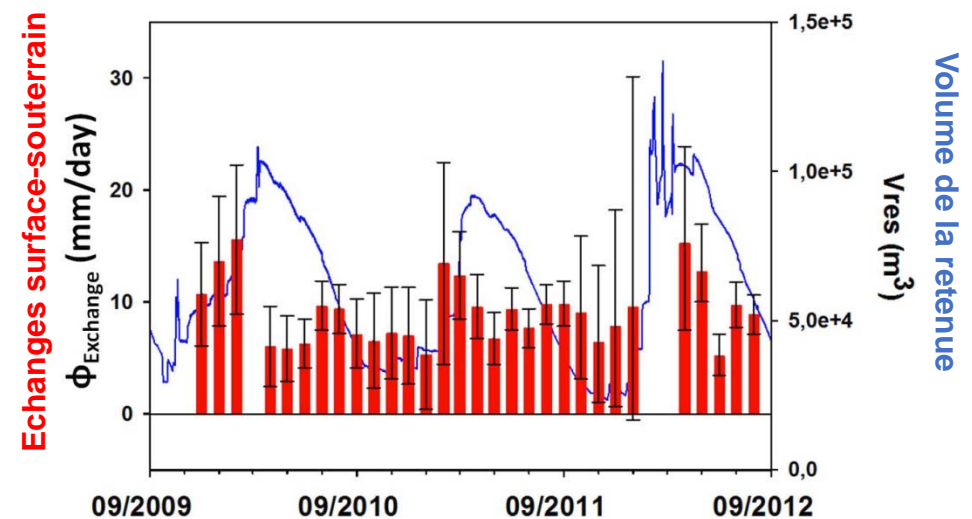
## Résultats : à l'échelle de la retenue collinaire

- La nappe « draine » la retenue (8 mm jour<sup>-1</sup> en moyenne; 5-15 mm jour<sup>-1</sup>)
- L'infiltration vers la nappe constitue la majorité (79%) des pertes de la retenue
- Estimation majorée des incertitudes sur les pertes
- Incertitudes fortes sur évaporation - pluie - ruissellement

a) Bilan annuel (2010-2011)



b) Dynamique mensuelle



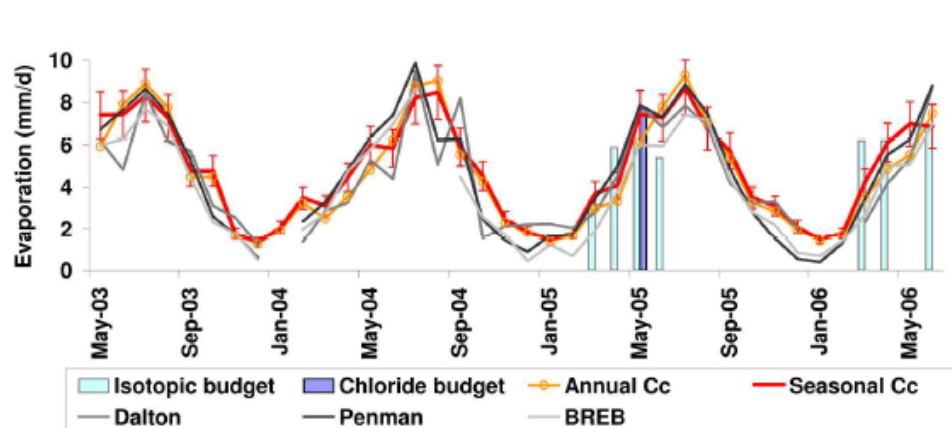
Thèse M. Bouteffeha (financement IRD), 2011-2014  
 Bouteffeha et al., 2014, Hydrological Processes (in press)



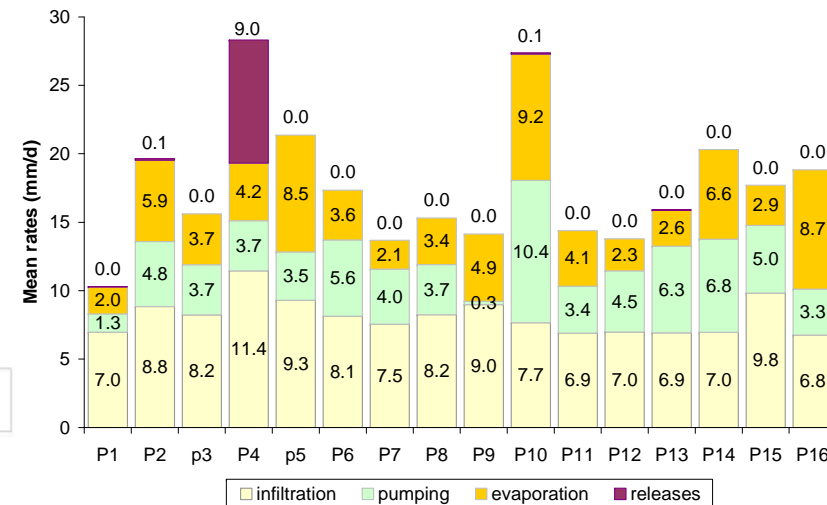
# Impact des ouvrages hydro-agricoles (*Merguellil*)

## Résultats : à l'échelle du grand barrage (El Haouareb)

- La nappe « draine » la retenue (8 mm jour<sup>-1</sup> en moyenne ; 7-11 mm jour<sup>-1</sup>)
- L'infiltration vers la nappe constitue la majorité (63 %) des pertes de la retenue
- La principale source d'incertitude : l'estimation de l'évaporation de la retenue



Combinaison des approches « bilan d'énergie » et géochimiques pour la caractérisation des pertes par évaporation du barrage El Haouareb

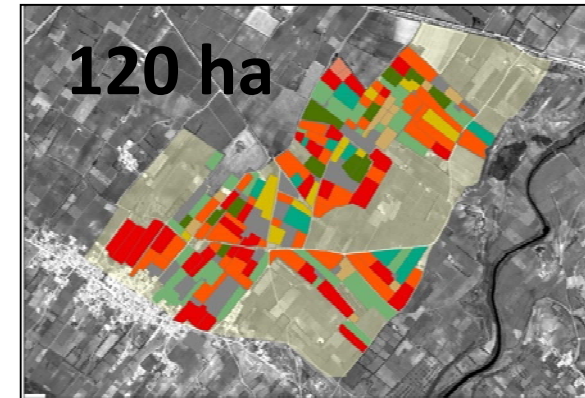


Bilan de masse de la retenue et estimation résiduelle itérative par période de l'infiltration vers l'aval du barrage

**Thèse M. Alazard ; Alazard et al., 2014**

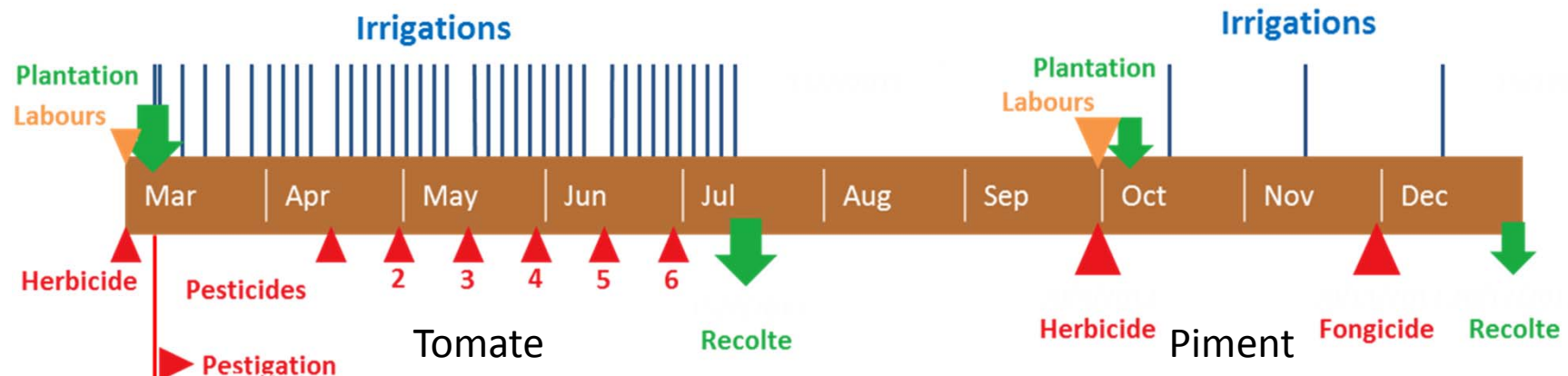
# Recharge & contamination par les pesticides dans le secteur Irrigué de « Lebna Village »

- **Contexte** : Secteurs irrigués côtiers construits pour repousser le biseau salé.
- **Question** : Quelle est l'utilisation des phytosanitaires dans ce contexte ? (Petites exploitations (2-5ha) principalement Tomates/piments.)
- **Méthode** : Enquête sur exploitants de parcelles géographiquement contiguës
- **Résultats** : Pression de phytosanitaires comparable à la rive Nord :
  - en fréquence et doses ( $\approx 11\text{kg/ha}$ )



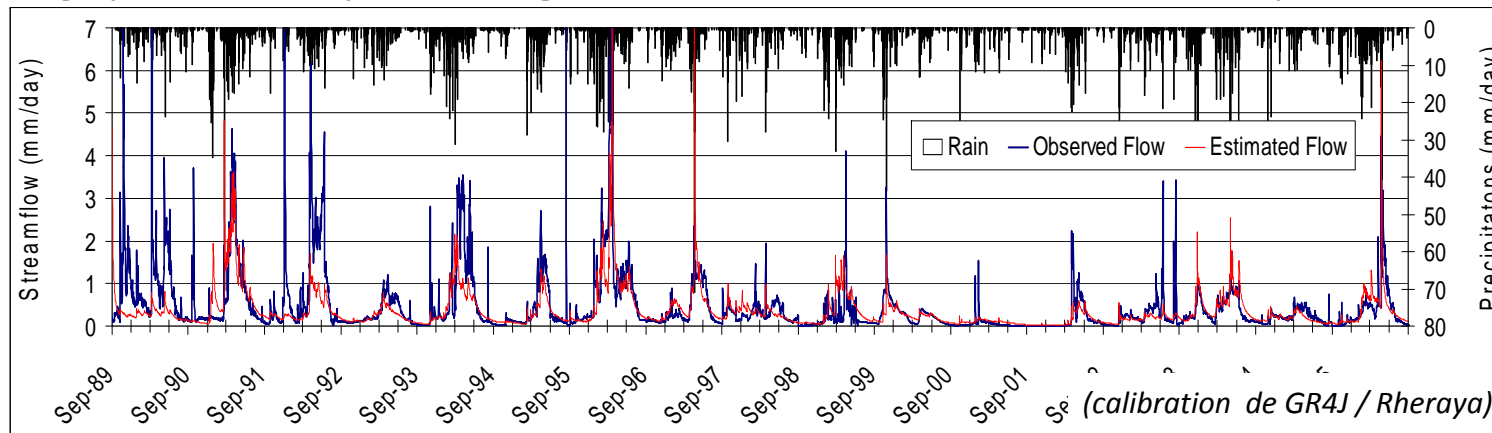
## Principales molécules

Trifluraline	1,2Kg/ha
Mancozebe	2,4kg/ha
Clorpyrifos	0, 1Kg/ha



# Estimation des abouchements des Bassins Versants montagneux (*Tensift*)

**Méthodologie:** Abouchements estimés comme une sortie du modèle hydrologique GR4J après calage sur les débits observés sur chaque sous-bassin



## Résultats:

- **Équifinalité** entre abouchements, *ETR*, *sublimation* ⇒ utilisation de contraintes
- Estimation de valeurs plausibles et d'une incertitude associée pour la recharge

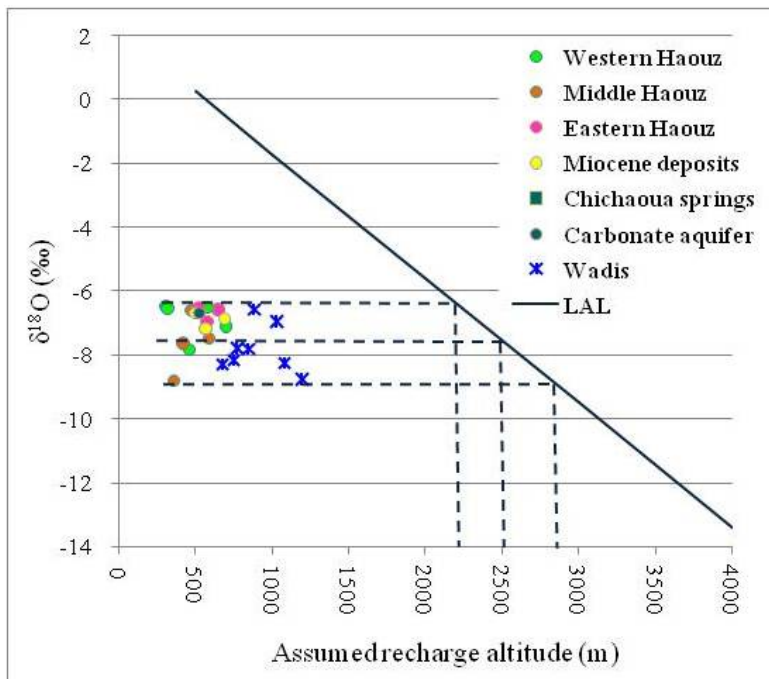
	Surface (km <sup>2</sup> )	Apport à la nappe (abouchements, mm)			Volume annuel (Mm <sup>3</sup> )		
		min	max	moy	min	max	moy
Nfis	1288	115	150	133	148	193	171
Rheraya	227	75	170	123	17	39	28
Ourika	503	105	140	123	53	70	62
Zat	521	149	174	162	78	91	84
Rdat	557	80	80	80	45	45	45
<b>Total</b>					<b>340</b>	<b>437</b>	<b>389</b>

# Discriminer les différentes origines de la recharge (*Tensift*, *Crau*)

**Méthodologie:** géochimie + isotopes pour « tracer » l'origine de la recharge

## Résultats: *Tensift*

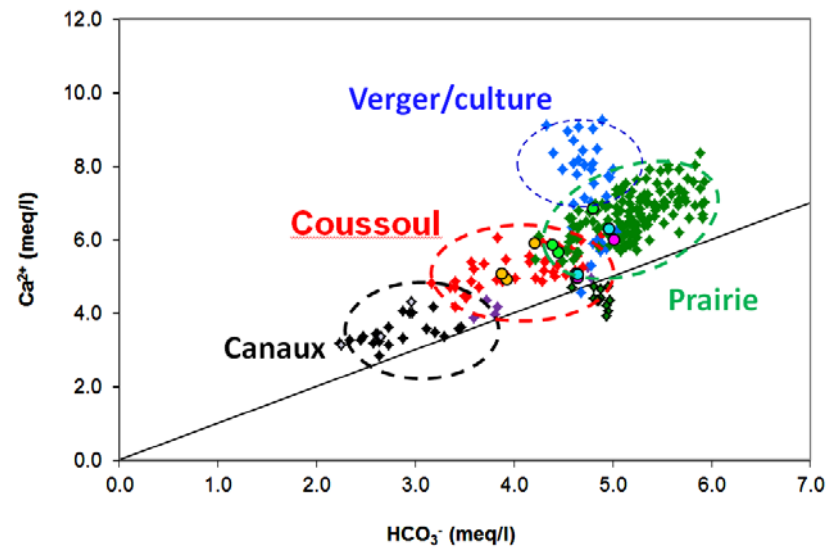
Analyse isotopique pour estimer l'altitude et les modalités de recharge vers la plaine du Haouz (absence de reprise évaporatoire)



(thèses A. Abourida et Y. Hajhouji, Fakir et al., 2014)

## Résultats: *Crau*

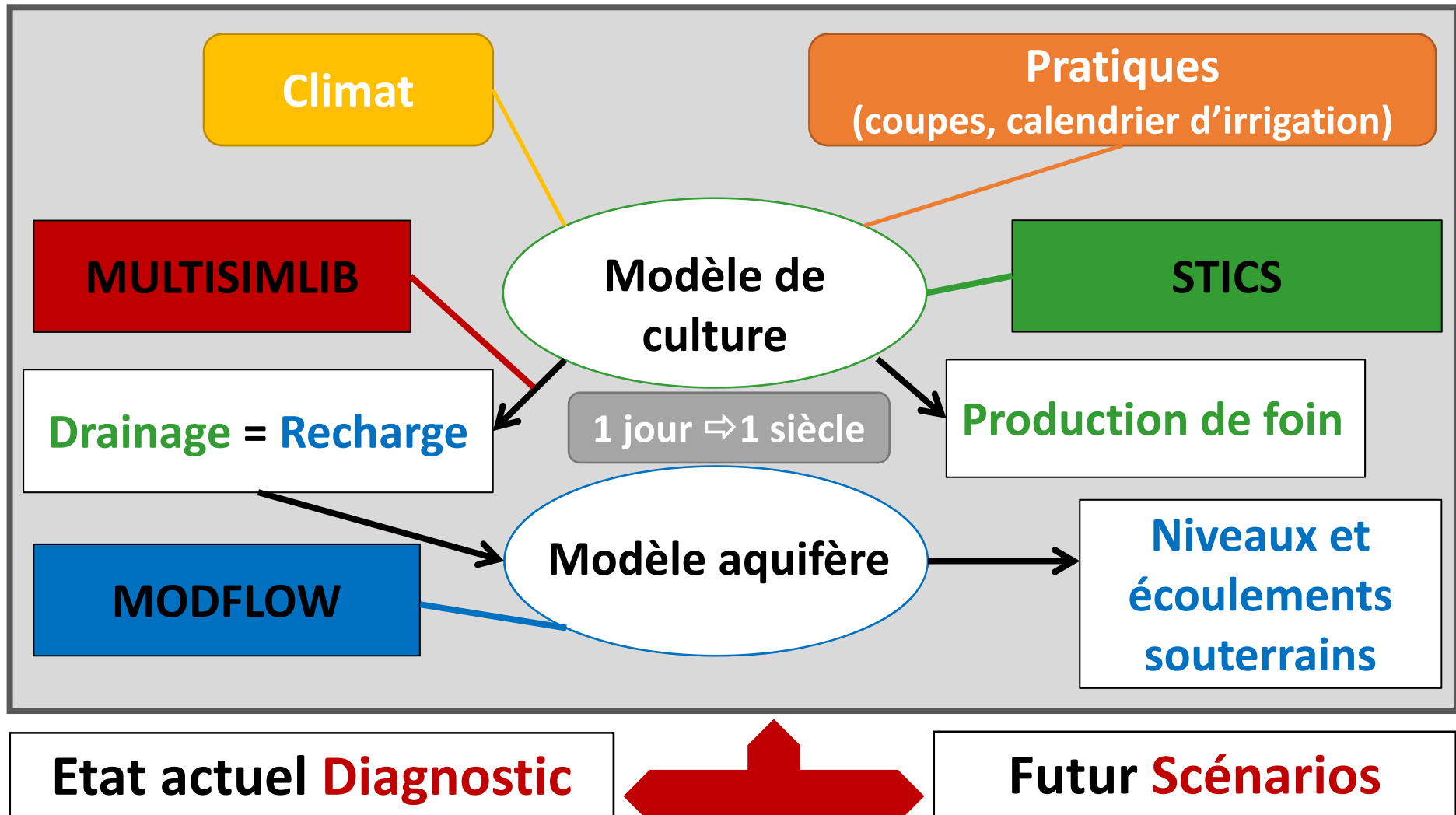
Analyse géochimique combinée à la modélisation (PHREEQC) pour localiser la recharge en fonction de l'occupation du sol et pour quantifier les différentes origines (80% irrigation, 20% pluie)



(Cognard-Plancq et al., 2014)

# Estimation et Spatialisation des flux de drainage sous prairies irriguées (*Crau*)

## Méthodologie

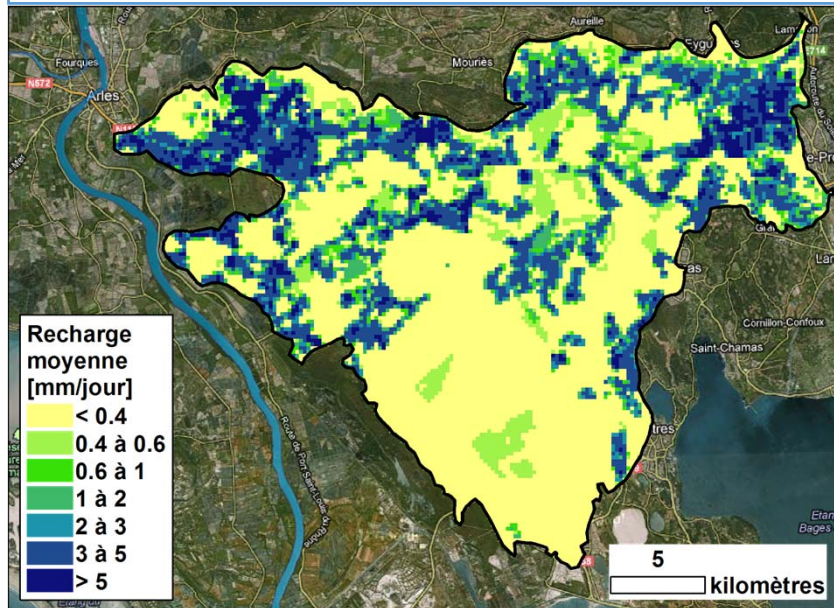


# Estimation et Spatialisation des flux de drainage sous prairies irriguées (Crau)

## Résultats

### Echelle Régionale

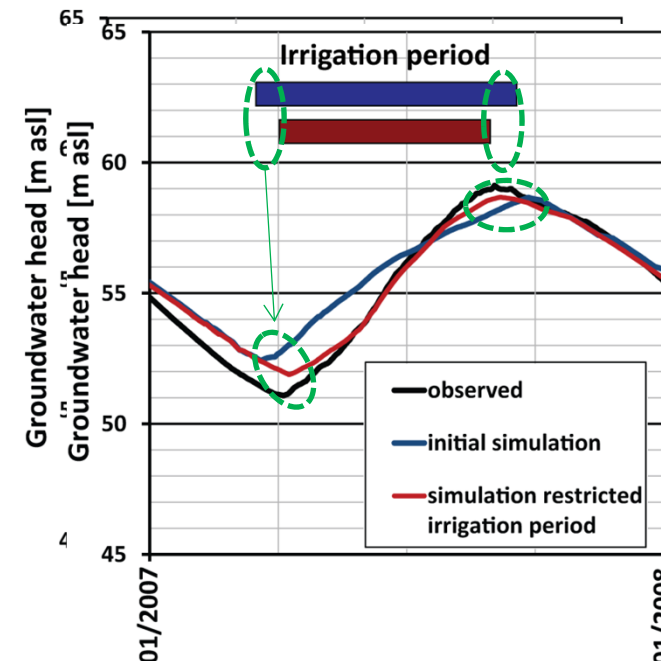
Recharge moyenne Irrigation ~ 75%



(d'après Oliosio et al., Proc. Env. Sc. 2013)

### Echelle Locale

Sensibilité de la piézométrie au début et fin de l'irrigation



Analyse de la piézométrie : meilleure formalisation de la gestion de l'irrigation (début et fin)

# Estimation et Spatialisation des flux de drainage sous prairies irriguées (*Crau*)

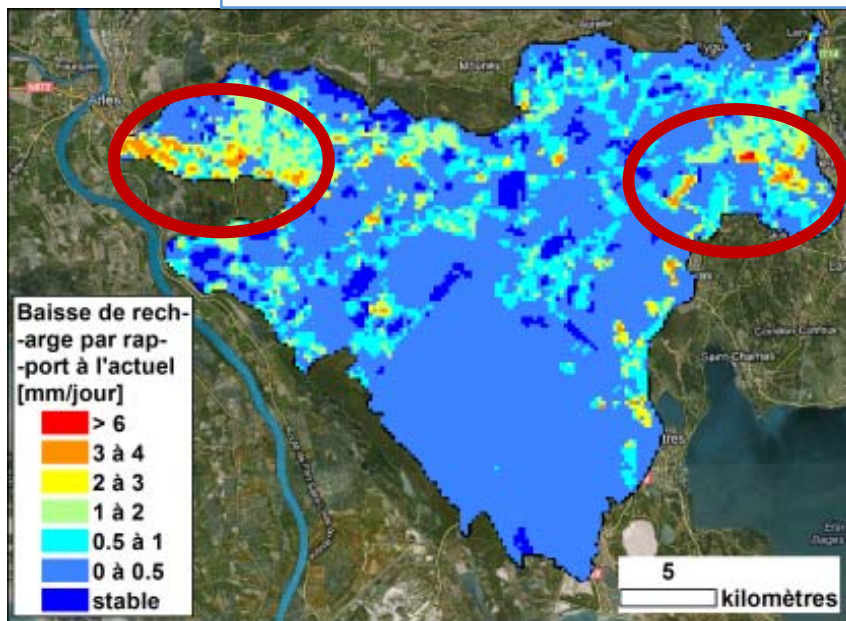
## Résultats :

- Le modèle permet de quantifier la modification future du fonctionnement,
- ... et d'en déduire des conséquences « opérationnelles »
- Limites : validation des flux calculés ? Prise en compte de l'évolution des modes de gestion (canaux, irrigation) ?

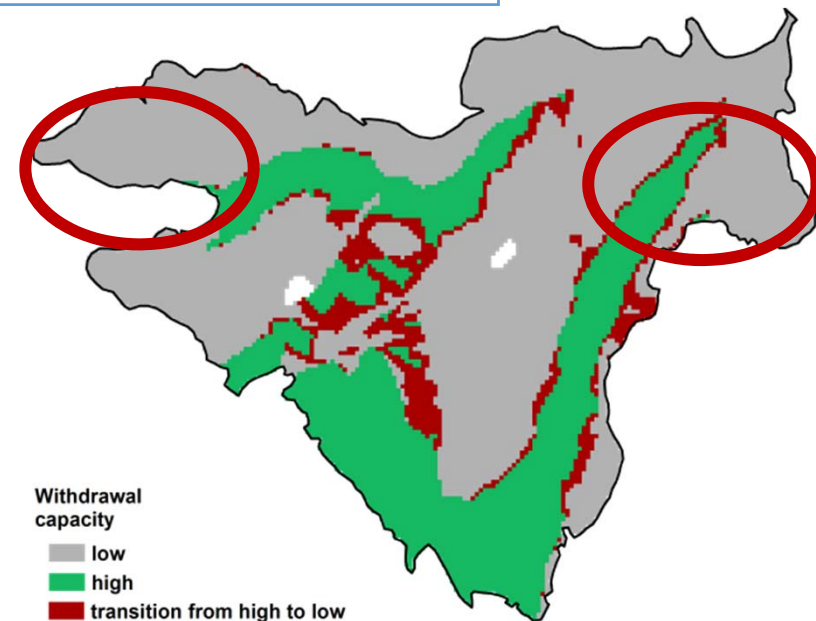
## Scénarios :

- Climat : A1B
- OS : prairies -12%
- Eau : -30%

## Ecart entre deux états pseudo-stationnaires (2030 - 2010)



(d'après Oliosio et al., Proc. Env. Sc. 2013)



# Bilan

1- Des approches méthodologiques variées, partagées et combinées sur les différents sites par les différentes équipes

Site	Modélisation							Expérimentations et suivis				Analyses de données	
	Bilan	Hydrologique	Hydrogéolog.	Culture	Irrigation	Ouvrages	Intégrée	TD	Géochimie	Géophysique	Sites	Enquêtes	Données historiques
Crau	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Lebna	X	X	X	X		X			X		X	X	X
Tensift	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X
Merguellil	X	X		X	X	X			X	X	X	X	X

2- Des avancées dans l'identification et la quantification de certaines voies de recharge, mal connues

3- Une place centrale de la (des) modélisations et un effort important d'ingénierie informatique (modèles intégrés)

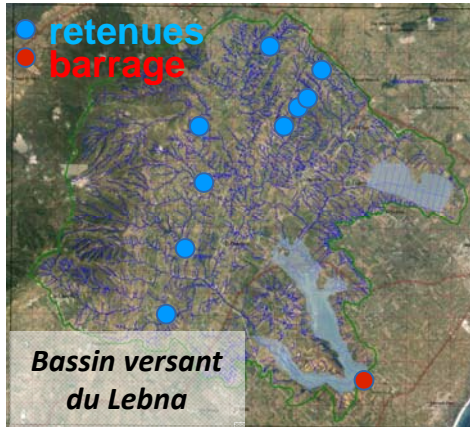


# Conclusion: perspectives SICMED

## Approches analytiques



## Modèles intégrés



- Sur la répartition de l'eau dans les différents compartiments hydrologiques (sol, nappe, rivière, atmosphère)
- Sur les flux de matières associées à l'eau (mat. en suspension et sédimentées, polluants)
- Sur les pratiques agricoles et les usages de l'eau

## Approches analytiques



## Modèles intégrés

- Consolidation de l'estimation des flux de recharge (validation, réduction incertitudes)
- Quantifier les autres voies de recharge préférentielles (infiltration sous les oueds, à partir des canaux, ...)
- Qualité (biseau salé)
- Analyser les processus de gestion (canaux, irrigation) et proposer des voies d'optimisation
- Identifier les pratiques agricoles à l'aide de la TD haute résolution spatiale et temporelle (Th. El Hajj)



Suivi des flux d'infiltration, Rheyara



Suivi de l'irrigation par radar, Crau