



**Projet SICMED-Crau. Analyse du fonctionnement
actuel du territoire de la Crau, des évolutions en cours
et élaboration de mesures d'adaptation pour sa
durabilité [Rapport final]**

Stephane Ruy

► To cite this version:

Stephane Ruy. Projet SICMED-Crau. Analyse du fonctionnement actuel du territoire de la Crau, des évolutions en cours et élaboration de mesures d'adaptation pour sa durabilité [Rapport final]. [Contrat] auto-saisine. 2014. hal-01608169

HAL Id: hal-01608169

<https://hal.science/hal-01608169>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Programme MISTRALS 2010-2020

Projet SICMED – Crau, 2011-2014

**ANALYSE DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DU TERRITOIRE DE LA CRAU, DES EVOLUTIONS EN
COURS ET ELABORATION DE MESURES D’ADAPTATION POUR SA DURABILITE**

Résumé des travaux, 10/2011 – 05/2014

Identification du projet

Acronyme du projet : **SICMED-Crau**

ANALYSE DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DU TERRITOIRE DE LA CRAU, DES EVOLUTIONS EN COURS ET ELABORATION DE MESURES D'ADAPTATION POUR SA DURABILITE

Coordonnateur (rédacteur de ce rapport) : RUY Stéphane

Mail : stephane.ruy@avignon.inra.fr

Tel : 04 32 72 22 37

Durée du projet : 3 ans

Date de début du projet : **01/10/2011**

Date de fin du projet : **30/09/2014**

Equipes Bénéficiaires

Equipe N°	Nom Prénom du responsable scientifique de l'équipe	Organisme et unité* d'appartenance	Code postal / Ville
1	Axel WOLF	CEN PACA [£]	13 Saint Martin de Crau
2	Christine VALLET-COULOMB	UMR CEREGE	13 Aix en Provence
3	François CHARRON	Domaine Du Merle SupAgro-M	13 Salon de Provence
4	Albert OLIOSO	UMR EMMAH (INRA- UAPV)	84 Avignon
5	Fabienne TROLARD[§]	UR GSE (INRA)	13 Aix en Provence
6	Gilles BELAUD	UMR G-EAU	34 Montpellier
7	Thierry DUTOIT	UMR IMBE ^{§§} (CNRS-INEE - IRD -Aix Marseille Université - Université d'Avignon - Institut Pytheas)	84 Avignon
8	Anne MEROT	UMR SYSTEM (INRA)	30 Montpellier

£ : anciennement CEEP tel qu'il apparaît dans le projet initial.

§ : l'équipe scientifique de GSE intervenant dans le projet SICMED a rejoint l'UMR EMMAH au 01/04/2012

§§ : l'UMR IMBE a été créée au 01/01/2012. Elle intègre l'ancienne UMR IMEP qui apparaissait dans le projet initial.

Rappel des objectifs

Le projet porte sur l'anthropo-ecosystème (AES) de la plaine de la Crau qui se caractérise par une interdépendance forte entre pratiques agricoles traditionnelles (irrigation de prairies de foin de Crau AOC par submersion), milieux naturels d'intérêts (terres de parcours appelées « coussouls », zones humides) et les ressources en eau souterraines. Les finalités du projet sont l'élaboration et la quantification des impacts de scénarios d'adaptation des pratiques agricoles et de gestion du milieu aux changements globaux en cours. Pour cela, il est nécessaire (A) d'approfondir la connaissance sur le fonctionnement actuel de l'AES dans ses composantes biophysiques, biotechniques et socio-économiques ; (B) d'élaborer des outils (méthodes, modèles) permettant de quantifier les processus en jeu, de les spatialiser et de les intégrer à l'échelle du territoire; (C) d'identifier les leviers de modification des méthodes de gestion qui prennent en compte la multifonctionnalité des apports exogènes d'eau et qui permettent la durabilité de l'AES. Ces 3 axes structurent l'organisation du projet.

Résultats

L'objectif finalisé du projet SICMED-Crau est de proposer un outil (un modèle) permettant une gestion intégrée de la ressource en eau d'un territoire, prenant en compte les différents acteurs impliqués (agriculteurs,

gestionnaires de la ressource, ...) et se basant sur une représentation des processus élémentaires (cycles de l'eau et cycles biogéochimiques, production agricole) la plus physique et mécaniste possible, qui permettrait d'évaluer des scénarios de changement d'accès à la ressource (changements climatiques, changements d'occupation du sol) et de proposer des scénarios d'adaptation en quantifiant leurs impacts. **L'objet d'étude est le territoire de la Crau**, qui est représentatif d'un anthropo-éco-système (AES) méditerranéen dépendant d'un apport d'eau exogène qui contribue fortement au renouvellement de la nappe souterraine utilisée pour de multiples usages. Au sein de ce territoire la multi-fonctionnalité des réseaux d'irrigation (alimentation des zones humides, évacuation des eaux d'orage, ...) génère de plus des question spécifiques de gouvernance de la ressource. Cette zone est de plus soumise à des pressions croissantes (urbanisation, pression pour économiser l'eau, changement climatique) qui questionnent la durabilité des pratiques agricoles et de gestion actuelles. La pertinence de ce territoire pour cette problématique de gestion intégrée de la ressource en eau a été confirmée par les résultats du projet Astuce & Tic (Trolard et al., 2012).

(A) Connaissances sur le fonctionnement actuel

A1 : caractérisation et quantification des composantes du cycle de l'eau

A1.1 Flux vers la nappe

Echelle locale et parcellaire : Rôle des écoulements préférentiels dans l'infiltration/recharge et quantification de la recharge à l'aide de méthodes géophysiques.

Des sites de mesure du bilan hydrique sous prairies irriguées mis en place au Domaine du Merle permettent le suivi à pas de temps fin de l'irrigation, de l'infiltration et du drainage depuis plusieurs années. Les propriétés hydrodynamiques du sol (zones de prairies irriguées et terres de parcours) ont été mesurées en laboratoire et sur le terrain (Branquinho, 2011). Sur les prairies irriguées, les sondes d'humidité montrent qu'en quelques minutes, le front d'infiltration rejoint l'horizon induré du sol appelé taparas et qui se situe à environ 70 cm de profondeur. A l'échelle locale, des tests d'infiltration ont été réalisés sur cette couche (Juliand, 2011). Les résultats montrent (i) que les premiers horizons du sol ont une conductivité hydraulique et une macroporosité forte compatible avec la rapidité de l'infiltration mesurée in situ, (ii) que la conductivité à saturation de la couche indurée est très faible (à l'échelle locale) et ne permet pas un drainage rapide de l'eau d'irrigation vers la profondeur et la nappe souterraine, ce qui est contradictoire avec les résultats obtenus à l'échelle régionale qui montrent la part prépondérante de l'eau d'irrigation dans la recharge de la nappe.

Pour préciser la dynamique de la recharge à l'échelle de la parcelle, nous avons donc testé une méthodologie de quantification des flux de recharge sous irrigation. Cette méthodologie repose sur l'utilisation de la tomographie de résistivité électrique couplée à un modèle d'infiltration. Connaissant les relations pétrophysiques reliant la résistivité électrique à la teneur en eau, cette méthode permet de quantifier les quantités d'eau apportées par l'irrigation gravitaire, de spatialiser les variations temporelles d'humidité du sol le long d'un transect (voir *Fig 1*) et d'en déduire les flux de drainage vers la nappe (voir *Fig 2*).

En plus de la quantification à l'échelle de la parcelle, cette approche apporte des informations sur la dynamique des flux de la surface vers la nappe : on observe une arrivée précoce et transitoire (en quelques heures) de l'eau d'irrigation à la nappe, suivie d'un dynamique relativement plus lente (environ 30h après le début de l'irrigation) qui se poursuit sur plusieurs jours (*Fig 2*). La première phase pourrait être attribuée à des écoulements préférentiels rapides et transitoires, la seconde à des écoulements relativement plus lents. D'autre part, cette approche permet également de spatialiser, au moins de façon qualitative, les flux à la surface du sol. La *Fig 1* montre que les variations d'humidité à une profondeur donnée dans les 3 premiers mètres de sol ne sont pas homogène horizontalement : on peut attribuer cette hétérogénéité à des variations structurales de la zone indurée présente à partir de 70 cm de profondeur (couche appelée « taparas ») : cette zone présenterait des parties plus ou moins fracturées. Ces résultats ont été confirmés, au moins qualitativement, en examinant le comportement

d'une autre parcelle (Josse, 2012) : la dynamique de variation des résistivités électriques est de plus interprétée en terme de degré de fracturation du taparas.

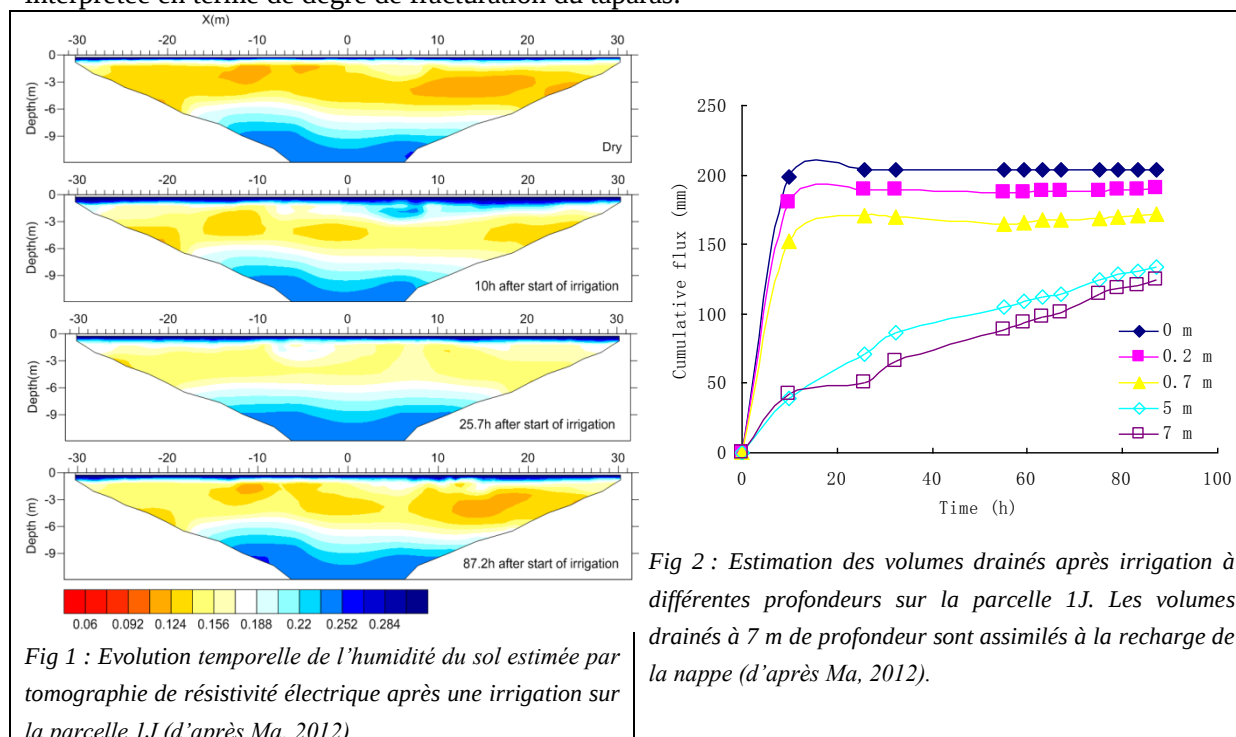


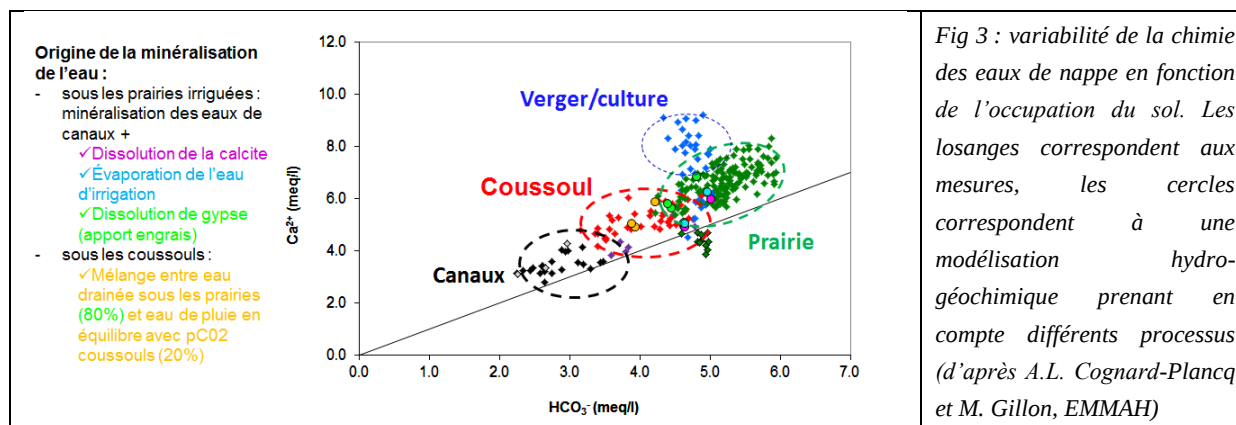
Fig 2 : Estimation des volumes drainés après irrigation à différentes profondeurs sur la parcelle 1J. Les volumes drainés à 7 m de profondeur sont assimilés à la recharge de la nappe (d'après Ma, 2012).

Echelle Régionale : estimation par traçage (isotopique et géochimique) et par modélisation inverse.

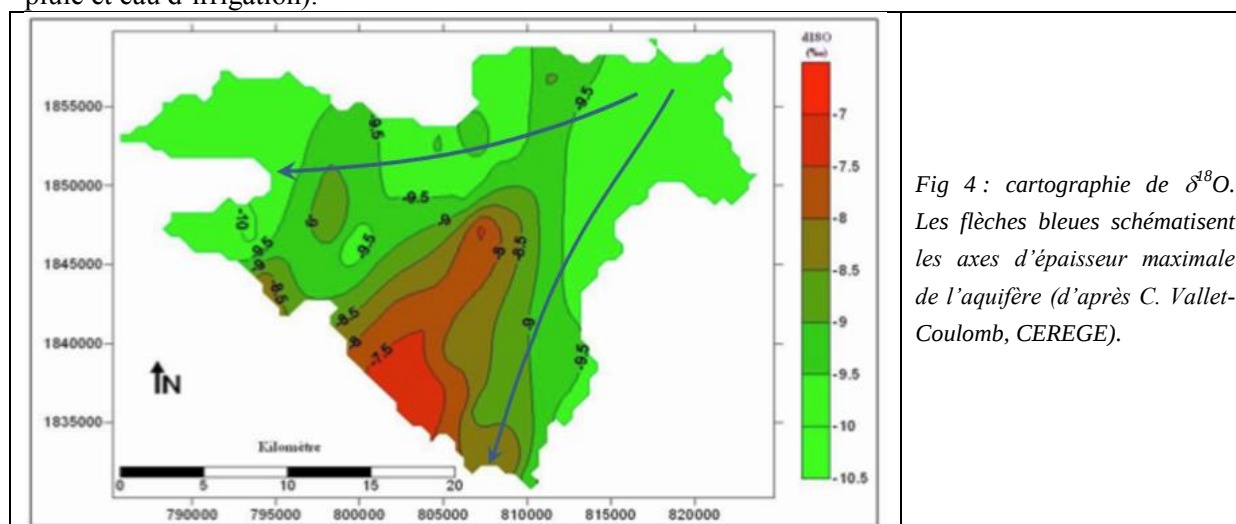
L'approche géochimique vise à mieux contraindre l'origine des eaux et la dynamique de la recharge (contributions respectives de l'irrigation et des précipitations régionales à la recharge de la nappe de la Crau), quantifier des vitesses d'écoulement de l'eau dans la nappe et évaluer les interactions eau-roche. Cette approche repose sur (i) l'étude de la variation spatiale et temporelle des isotopes de la molécule d'eau (^{18}O et ^2H), des ions majeurs (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) et des caractéristiques chimiques globales (pH, conductivité, température, O_2 dissous) dans l'eau de nappe, et (ii) une comparaison avec les eaux de recharge (pluie locale : $\delta^{18}\text{O} \sim -7\text{‰}$, $\delta^2\text{H} \sim -48\text{‰}$; eau d'irrigation : $\delta^{18}\text{O} \sim -10\text{‰}$, $\delta^2\text{H} \sim -70\text{‰}$). Ces données seront également intégrées dans la modélisation de la nappe de la Crau avec l'objectif de préciser certains paramètres du modèle de nappe (recharge, vitesse d'écoulement, dispersion, mélange). Ainsi, deux campagnes complémentaires ont été mises en place :

- (i) Un suivi mensuel suivant les deux lignes principales d'écoulement de la nappe, sur la période printemps 2012-automne 2013 : 19 points de nappe s'appuyant sur le réseau de surveillance qualitatif du SYMCRAU, l'eau de pluie et l'eau d'irrigation sont échantillonnés,
- (ii) Un suivi bi-annuel (hautes eaux à l'automne, basses eaux au printemps) sur l'ensemble de la zone depuis l'automne 2011.

La composition chimique des eaux de la nappe de la Crau varie dans l'espace. Ces variations semblent directement liées à l'occupation des sols. Les eaux sont plus minéralisées sous les prairies irriguées et les vergers que sous les coussouls. Cette évolution s'explique par l'infiltration des eaux d'irrigation (eau des canaux ou eau prélevée dans des forages pour les vergers) déjà minéralisées, une pression partielle de CO_2 dans les sols importantes (0.01-0.02 atm) favorisant les interactions eaux-minéraux, et l'utilisation de fertilisants : elle a fait l'objet d'une modélisation par couplage entre PHREEQC et STICS (cf. *infra*). Les eaux sous coussouls apparaissent moins minéralisées bien que situées en aval des lignes d'écoulement. Cette évolution pourrait s'expliquer par une « dilution » des eaux amont par l'infiltration des eaux de pluie (cf. Fig 3).



Concernant la signature isotopique de la nappe, on observe là aussi une structuration spatiale en fonction de l'occupation du sol et de l'hydrogéologie (cf. Fig 4). Les valeurs sont cohérentes avec les signatures typiques des deux pôles de recharge identifiés (eau de pluie : $\delta^{18}\text{O} \sim -7\text{‰}$ et eau d'irrigation $\delta^{18}\text{O} \sim -10\text{‰}$). Les eaux situées en partie Nord (respec. en partie centrale) de la zone ont une signature proche de $\delta^{18}\text{O} \sim -9.5\text{‰}$ (respec. proche de $\delta^{18}\text{O} \sim -8\text{‰}$) : situées essentiellement dans une zone avec une forte concentration de prairies (respec. sous une zone de coussouls), l'eau de nappe semblerait majoritairement composée d'eau d'irrigation (respec. résulterait d'un mélange entre eau de pluie et eau d'irrigation).



A l'échelle régionale, certaines grandes tendances concernant les évolutions temporelles peuvent être établies : les évolutions temporelles en un point donné sont généralement de faible amplitude par rapport à la variabilité spatiale. On observe également que les évolutions temporelles de la chimie des eaux de nappe et de leur signal isotopique ne sont pas homogènes à l'échelle de l'aquifère : l'occupation du sol (ainsi que les pratiques agricoles associées) au droit du prélèvement et la localisation sur les lignes de courant principales de la nappe ne suffisent pas à expliquer les variations temporelles observées dans certains cas.

Concernant la modélisation hydrogéologique, la construction d'un modèle de nappe et son paramétrage ont été réalisés. L'utilisation en mode inverse, utilisant les données piézométriques et isotopiques, sera abordé dans le cadre d'une thèse ayant débuté à l'automne 2013.

Aspects qualitatifs : modélisation géochimique de la qualité des eaux et des sols.

Les résultats obtenus dans le cadre du projet Astuce & Tic ont montré que la composition chimique des eaux de la nappe est influencée par les pratiques d'irrigation (pompage, irrigation par submersion, ...). Une modélisation de l'évolution de la qualité géochimique des eaux d'irrigation lors de leur infiltration sous les parcelles de prairies a été réalisée grâce à un couplage entre le modèle de culture

STICS et le modèle PHREEQC (Bourrié et al., 2012, 2013), cf. Fig. 5. Ce couplage prend en compte les apports d'éléments minéraux par l'eau d'irrigation et la fertilisation. Il permet de calculer les bilans et les flux d'éléments vers la culture, les sols et la nappe.

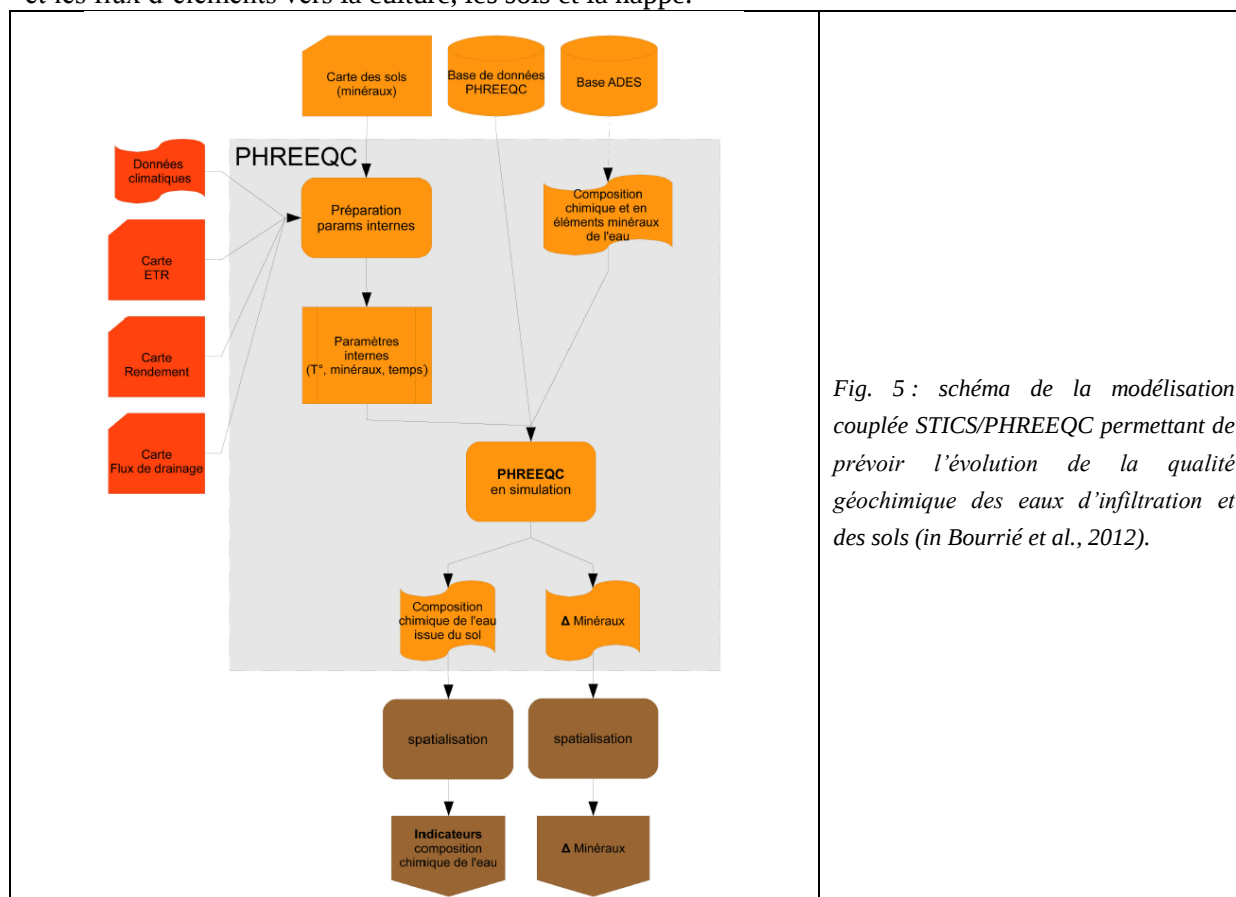


Fig. 5 : schéma de la modélisation couplée STICS/PHREEQC permettant de prévoir l'évolution de la qualité géochimique des eaux d'infiltration et des sols (in Bourrié et al., 2012).

Les résultats du bilan à l'échelle annuelle montrent que le système de production actuel et la composition chimique des eaux d'irrigation de la Durance favorisent la conservation des sols et la bonne qualité des eaux drainées. Ces résultats doivent être affinés en intégrant les dimensions spatiales (répartition des flux d'éléments minéraux vers la nappe) et temporelle ( volution des exportations vers la culture en fonction de la coupe). Pour cela, des suivis des eaux de nappe pluri-annuels et spatialisés sont en cours (cf. supra). Ils montrent que la qualité chimique des eaux de nappe évolue rapidement en réponse aux pratiques d'irrigation et à leurs variabilités spatiales et temporelles. Une campagne de suivi des exportations de minéraux dans le foin, permettant une validation approfondie du modèle, est en cours.

Appliqué à différents scénarios d'évolution (changements climatiques, modification des pratiques d'irrigation), un tel modèle permettra de prévoir leurs impacts sur la qualité des eaux et des sols.

A1.2 Contribution des cultures irriguées aux flux atmosphériques

Quantification et spatialisation par traçage naturel isotopique et modélisation : ces aspects n'ont pas été abordés durant le projet. Des premiers suivis et modélisation par MesoNH ont été réalisés en Camargue, les résultats ne sont pas présentés ici.

Suivi régionalisé et spatialisé des flux d'ETR. Le développement d'un prototype de chêne de traitement des données de télédétection pour cartographier l'évapotranspiration a continué dans le cadre du projet européen Sirrimed. Celui-ci avait été initié au préalable sous financement du TOSCA et en relation avec le projet de mission spatiale MISTIGRI. Il est effectué en lien avec le CESBIO et les universités de Carthagène, de Cordoue et de Valence en Espagne, avec des analyses communes à plusieurs sites SICMED (Crau, Campo de Cartagena, bassin du Tensift). Il s' st agi de (i) de fournir un

outil permettant de suivre l'évapotranspiration journalière à une résolution spatiale kilométrique permettant d'établir des bilans annuels ou mensuels d'évapotranspiration à l'échelle d'une petite région (Oliosio et al. 2012), (ii) de fournir des cartographies à des résolutions spatiales plus fines en fonction de la disponibilité des données ad-hoc (Courault et al. 2012, Mira et al. 2012), (iii) d'analyser la paramétrisation de certains processus et variables nécessaires au suivi de l'évapotranspiration comme la température aérodynamique (Boulet et al. 2012), la température de surface (Mira et al. 2012, Kallel et al. 2012), la fraction évaporative (Delogu et al. 2012, Oliosio et al. 2012), l'albédo (Mira et al. 2012), l'évaporation des eaux libres... L'acquisition de données de terrain par des stations de mesures micrométéorologiques des flux de surface s'est poursuivie (blé, prairie irriguée, coussoul, rizière, sansouire...). Parallèlement, les travaux sur la modélisation TSVA ont été poursuivis avec comme objectifs principaux la spatialisation du bilan d'énergie de surface, du bilan hydrique et de la recharge de l'aquifère à la résolution de la parcelle sur l'ensemble de la Crau. Ils ont porté sur les modalités de mise en œuvre de ISBA (in Surfex) sur des séries temporelles longues incluant plusieurs cycles culturaux et inter-cycles (Garrigues et al. 2011, 2012), la qualité des informations fournies par les cartographies de paramètres Ecoclimap et la spatialisation du climat Safran (Garrigues et al. 2012) et la description de la phénologie des cultures dans ISBA-A-gs (Moulin et al. 2012).

A2 Caractérisation et modélisation du fonctionnement et de la gestion des systèmes irrigués

A2.1 A l'échelle de l'exploitation : validation d'un modèle bio-décisionnel IRRIGATE et analyse de la variabilité des pratiques sur le territoire.

La validation d'un modèle bio-décisionnel tel que le modèle IRRIGATE¹ nécessite l'acquisition de nombreuses données sur les pratiques (calendriers d'irrigation, répartition (durée, dose, localisation) des arrosages au sein de l'exploitation, dates de coupe, rendement, ...). Deux approches complémentaires ont été mises en œuvre.

La première démarche a consisté à déterminer la capacité des outils de télédétection haute résolution à retrouver certaines de ces pratiques (dates d'arrosage, dates de coupes). Dans le cadre de la préparation de la mission spatiale Venus, des suivis du fonctionnement des couverts par télédétection à haute résolution temporelle ont permis de cartographier avec précision les dates de coupes des prairies irriguées (Hadj Said et al. 2011, Hagolle et al. 2011), d'en déduire les dates d'irrigation et d'analyser l'impact de la connaissance des calendriers culturaux sur la simulation spatialisée de la production de biomasse, de la consommation en eau et du drainage des prairies (Courault et al. 2012).

La seconde démarche a consisté à enquêter directement les agriculteurs. Une trentaine d'exploitants agricoles sont actuellement interrogés afin de recueillir leurs pratiques dans la conduite des prairies irriguées. Cette démarche est en cours et complètera les données issues du Domaine Du Merle (synthèse en cours) et celles issues des travaux précédents (thèse de A. Mérot²).

A2.2 A l'échelle du réseau de distribution (canaux primaires et secondaires) : mise en place d'une instrumentation pour préciser le bilan (entrées, sorties), essai de quantification des pertes en ligne, développement d'un modèle hydraulique.

Le canal primaire choisi est le Canal de Craponne, Branche d'Arles, qui représente la moitié des droits d'eau des canaux de la Crau. Les différentes campagnes de mesure (début de saison, mi-saison et pleine saison, 2012 et 2013) ont fourni les références nécessaires pour la construction d'un modèle hydraulique réalisé sous SIC³ et calé pour différentes périodes de fonctionnement (Mellali, 2013). Ces campagnes montrent également que les infiltrations ne sont pas quantifiables par bilan car négligeables par rapport aux autres flux. Le modèle hydraulique permettra d'analyser les capacités d'évolution de la

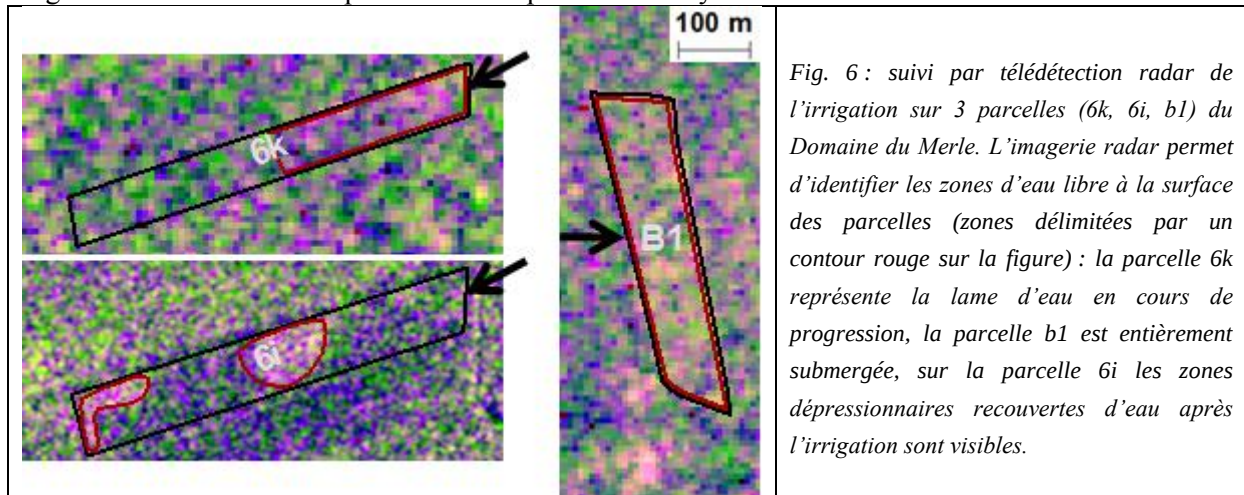
¹ A. Merot et J-E. Bergez, 2010. IRRIGATE: A dynamic integrated model combining a knowledge-based model and mechanistic biophysical models for border irrigation management, *Env. Model. & Soft.*, 25 (4), 421-432.

² A. Merot, 2007. *Analyse et modélisation du fonctionnement biophysique et décisionnel d'un système prairial irrigué*. Doctorat Montpellier SupAgro, 200pp.

³ J.P. Baume et al, 2005. "SIC: a 1D Hydrodynamic Model for River and Irrigation Canal Modeling and Regulation", in *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 7*, ABRH, Coppetec Fundacao, Editor Rui Carlos Vieira da Silva, pp 1-81, ISBN 85-88686-14-7.

régulation du système pour les scénarios futurs, et l'effet possible de la modernisation de l'infrastructure sur la redistribution des flux au niveau de la plaine de Crau.

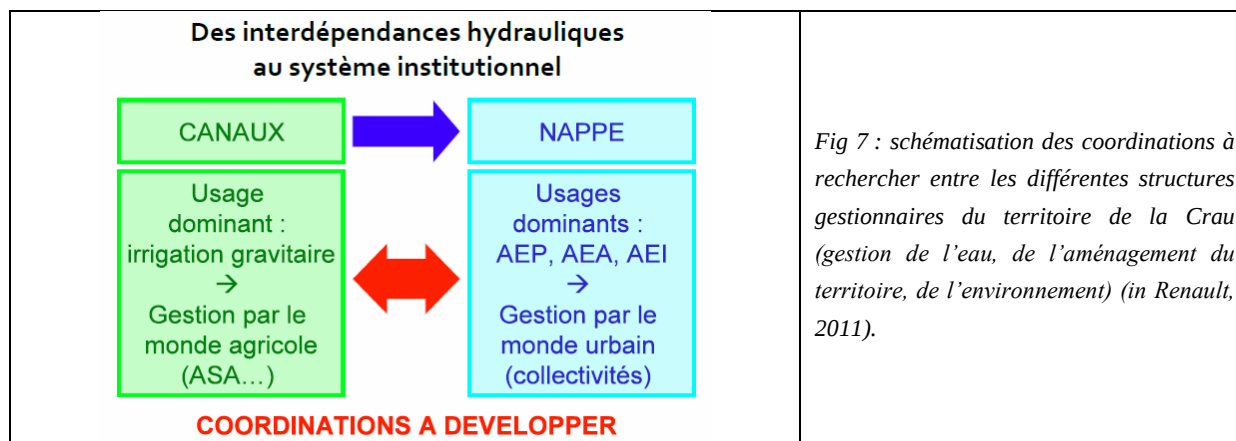
Les écarts entre débits théoriques et flux réels illustrent les difficultés de suivre les flux spatialisés, ce qui a encouragé à développer des travaux sur les suivis hydriques par télédétection (thèse de Mohammad El-Hajj, 2013-2015). Ces écarts ne remettent pas fondamentalement en cause les bilans régionaux mais ils seront à prendre en compte dans l'analyse des relations entre acteurs.



Les mesures de terrain ont mis en évidence la difficulté d'effectuer des bilans quantitatifs sur des canaux secondaires. L'entrée peut être facilement mesurée (ce qui confirme l'existence possible d'écarts importants entre théorique et réel), en revanche les sorties sont très diffuses (multiples points de sortie, réutilisation des eaux de drainage). Au niveau du réseau secondaire, on observe des refus de tour d'eau de plus en plus fréquents, notamment en période de nuit. Ceci a conduit à développer des travaux sur l'optimisation des calendriers d'arrosage (cf. **B2.2.** plus loin, thèse de S. Hong, 2011-2014). Les mesures hydrauliques sur un réseau tertiaire révèlent des tours d'eau de durées très variables (de 8 à 20 jours) en fonction des contraintes de main d'œuvre et d'infrastructure. Un modèle hydraulique du réseau du Merle a également été construit, permettant (comme pour le canal primaire) de simuler des scénarios d'évolution de la gestion et de l'infrastructure (cf **B2.2.**).

A2.3 Analyse de la gouvernance pour la gestion intégrée de la ressource en eau

L'analyse vise à identifier les possibilités de formaliser le partenariat entre collectivités et ASA autour des externalités des réseaux d'irrigation. Le diagnostic institutionnel a été établi dès le début du projet et a donné lieu à un document de synthèse (Renault et al. 2011), diffusé lors du CSU du Domaine Du Merle de 2014. Ce travail a montré que l'interdépendance physique entre eaux de surface et eaux souterraines impliquait la nécessité d'une coordination accrue et/ou d'un partenariat entre les différentes structures gestionnaires (de l'eau, du territoire, de l'environnement) (Fig. 7). Les travaux montraient également que cette coordination était de fait à l'œuvre à l'échelle locale au travers des participations croisées dans les instances décisionnelles des différentes structures et qu'elle anticipait ainsi les évolutions institutionnelles en visant à mettre en place une démarche concertée et collective pour une gestion prospective et durable du territoire.



L'analyse du cadre juridique des formes de partenariat entre monde agricole (ASA) et collectivités locales (communes) afin de pérenniser les fonctions non-agricoles des canaux d'irrigation a été réalisé (Bah, 2012). Une typologie des différents types de partenariats, contractuel/conventionnel d'une part et dispositifs d'intégration d'autre part, a été réalisée. Les forces/faiblesses et impacts des différents dispositifs sur la responsabilité juridique des ASA ont été analysés. Certains offrent un cadre favorable à une bonne gestion des fonctions non agricoles des systèmes d'irrigation gravitaire, mais les incertitudes en particulier sur le partage des responsabilités doivent être levées.

A3 Fonctionnement des terres de Parcours

Une réalisation de méta-analyses sur les jeux de données existants pour discriminer les facteurs d'évolution était prévue. La phase préliminaire de cette analyse, à savoir la conception et la mise en place d'une base de données botaniques et édaphiques concernant les zones sèches de la Crau, a été réalisé (Lorenzetti, 2012).

(B) Elaboration d'outils de quantification, de spatialisation, d'intégration

B1 : outils pour le suivi et la spatialisation du fonctionnement hydrologique du système

B1.1 : détermination et spatialisation des paramètres hydrodynamiques effectifs « sol » sur l'ensemble des parcelles de prairies irriguées.

La problématique de détermination des paramètres hydrodynamiques effectifs a été abordée à deux échelles :

- *A l'échelle locale* (placette, m², site de bilan hydrique), les sols de Crau, présents sur les terres de parcours ou les prairies irriguées, sont des milieux hétérogènes, mélanges de cailloux et de terre fine. L'objectif était de mettre en œuvre une méthodologie de transfert d'échelle (« d'homogénéisation ») permettant de déterminer par modélisation le comportement hydrodynamique « moyen » du sol à partir d'une distribution spatiale volumique des différents éléments (terre fine et cailloux) et de leurs propriétés hydriques et des incertitudes associées. Un modèle basé sur l'équation de Richards en 3D a été développé et parallélisé. Cette méthodologie a été validée dans un cadre applicatif différent⁴. Cependant, du fait de l'abandon du travail de thèse par le doctorant, l'adaptation au contexte local, en particulier au type d'irrigation et à la prise en compte des écoulements préférentiels, n'a pas pu être réalisé,
- *A l'échelle parcellaire et régionale*, un travail de thèse a débuté fin 2012. L'objectif est de développer une méthodologie permettant de déterminer les paramètres hydrodynamiques moyens (réserve utile, conductivité hydraulique à saturation) des sols des prairies irriguées, de calculer les doses d'eau apportées à chaque irrigation, de spatialiser ces résultats à l'ensemble des périmètres irrigués. Une analyse du modèle CALHY⁵ qui simule l'avancée et l'infiltration

⁴ Mesgouez A., Buis S., Ruy S., Lefeuvre-Mesgouez G., 2014. J. Hydrol., 512, 303-314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.02.065>.

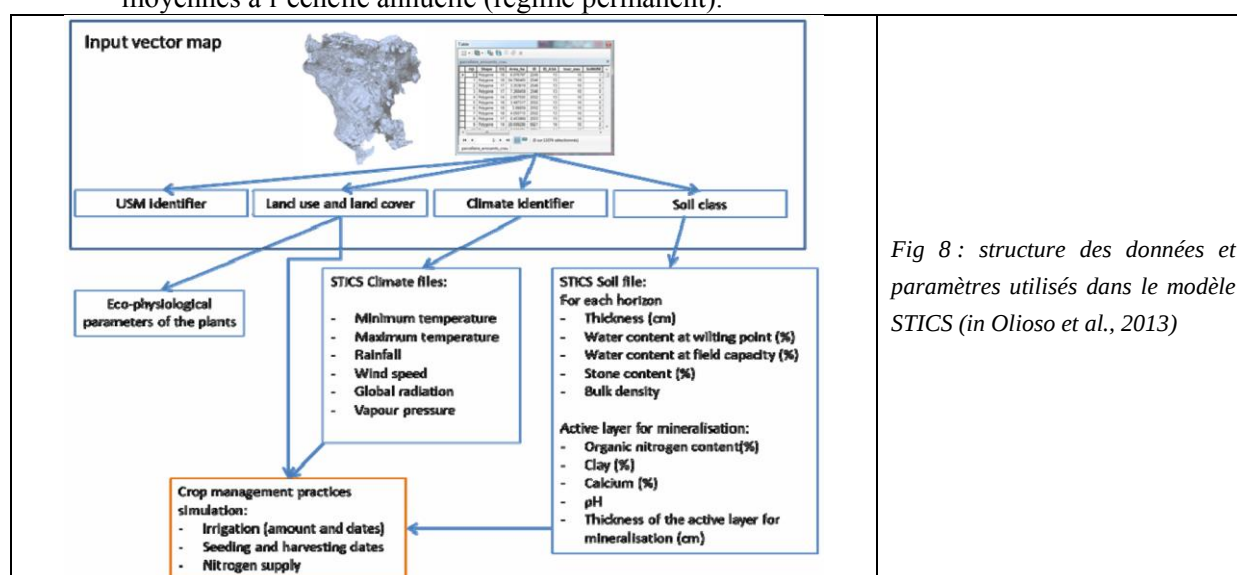
⁵ Bader et al., 2010. Hydrological Sciences Journal, 177-191. DOI: 10.1080/02626660903546050.

de la lame d'irrigation dans une parcelle a permis (i) d'identifier les paramètres « sensibles », (ii) de définir une configuration expérimentale qui maximise cette sensibilité. Actuellement, le dispositif expérimental issu de cette analyse est déployé chez une quinzaine d'agriculteur afin de caractériser la variabilité des dynamiques d'irrigation sur les différentes parcelles.

B1.2 : développement d'un modèle intégré surface-souterrain [Oliosio et al., 2013a et b]

Une chaîne de modélisation a été développée (Fig. 8). Cette chaîne de modélisation se base sur les quatre modules suivants :

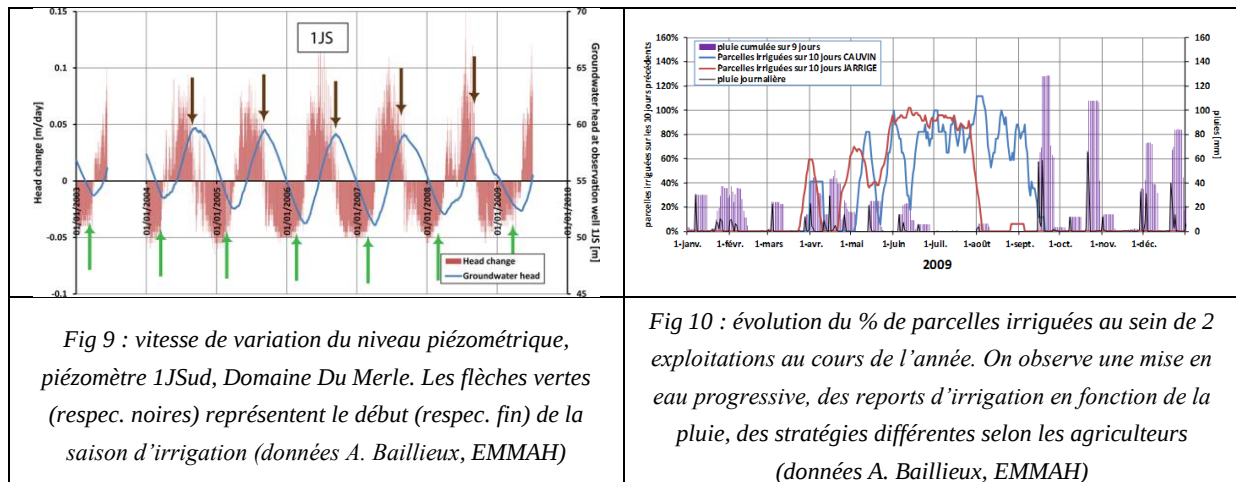
- Modèles de fonctionnement des parcelles cultivées et des zones naturelles. Le fonctionnement des parcelles cultivées de prairies (biomasse, flux hydriques) est simulé par le modèles STICS. Les pratiques (irrigations, fertilisations, coupes) sont prises en compte. Des modèles simplifiés de bilan hydrique sont utilisés pour calculer les flux d'évaporation et de drainage sur les autres cultures et les zones naturelles de coussouls (prairies sèches),
- Distribution du modèle et de ses paramètres à l'échelle du territoire : la bibliothèque de programmes MultiSimLib⁶ permettant initialement de gérer de multiples simulations du modèle STICS, a été modifié pour spatialiser l'ensemble des modèles sur le territoire de la Crau. La résolution spatiale se base sur le parcellaire cadastral et les cartes d'occupation des sols mises à jour.
- Elaboration d'un calendrier d'irrigation : un modèle générant le calendrier d'irrigation et les doses apportées sur les prairies irriguées a été développé et est spatialisé sur tout le territoire. Ce calendrier intègre les données climatiques, les tours d'eau, les pratiques des agriculteurs et les contraintes liées à l'AOC Foin de Crau.
- Modèle de nappe : un modèle hydraulique de nappe a été développé sous Visual-Modflow. Les versions en régime permanent et transitoire ont été implémentées. Les flux de recharge, assimilés aux flux de drainage sous les parcelles cultivées ou naturelles, sont distribués sur tout le territoire. Ces flux sont calculés au pas de temps journaliers (régime transitoire) ou moyennés à l'échelle annuelle (régime permanent).



Les différents modules ont été validés par confrontation à des données expérimentales (niveaux piézométriques, données de rendement, enquêtes sur les pratiques). Ce modèle intégré a été utilisé pour tester certains scénarios prospectifs (cf. C1.2). De plus, l'utilisation du modèle en régime transitoire a permis de montrer la forte réactivité de la nappe à la mise en place de la saison

⁶ Buis S, Wallach D, Guillaume S, Varela H, Lecharpentier P, Launay M, Guerif M, Bergez JE, Justes E. The STICS crop model and associated software for analysis, parameterization and evaluation. In: Ahuja LR, Ma L, editors. *Methods of Introducing System Models into Agricultural Research. Advances in Agricultural Systems Modeling 2*. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America; 2011. p.395-426.

d'irrigation : ainsi il semble possible d'utiliser ce modèle en « mode inverse » afin de mieux connaître et modéliser les calendriers d'irrigation et les règles de décision d'arrosage à l'échelle de l'ASA et de l'exploitation respectivement (cf. Fig. 9 et Fig. 10).



B2 : gestion de l'eau dans les systèmes irrigués

B2.1 : scénarios d'adaptation à l'échelle de l'exploitation agricole : taille de calan⁷ idéal, recherche de compromis, impact de différentes stratégies de réduction de l'irrigation.

Des stratégies d'adaptation visant à assurer la durabilité du système prairies-foin de Crau-système d'irrigation peuvent être recherchées à l'échelle de l'exploitation. Dans ce cadre, l'utilisation d'un modèle bio-décisionnel, tel que le modèle IRRIGATE, qui regroupe un modèle de décision de l'exploitant et un modèle biophysique (modèle de culture PRAIRRIG et modèle hydraulique SIPMerle), permet de quantifier l'impact de différents scénarios (taille de parcelle, pilotage de l'irrigation selon différentes modalités, restriction d'eau,) sur plusieurs indicateurs de performances du système prairial (rendement, volume d'eau apportée en entrée de parcelles, volume d'eau drainée, temps de travail,) et d'identifier, de façon automatique ou manuelle, des solutions permettant un compromis entre ces indicateurs. Ce travail a été accompli en 2013 à deux échelles en simulant le comportement d'une parcelle ou d'une exploitation pendant l'année 2006 (Lemaire, 2013) :

- à l'échelle de la parcelle, il s'est agi dans un 1^{er} temps de déterminer une taille de calan d'irrigation optimale au sens de la maximisation du rendement, de la minimisation du temps de travail et de l'eau apportée à la parcelle, et de la maximisation du volume d'eau drainé, en l'absence de contraintes sur la disponibilité en eau. Les simulations montrent que les débits disponibles en entrée de parcelles ne permettent pas d'irriguer la totalité de celles-ci à partir d'une certaine taille : l'aménagement de parcelles de très grandes tailles, déjà à l'œuvre sur le territoire de la Crau et qui permet de minimiser le temps de travail lié à l'irrigation, ne permet pas d'optimiser les performances du système prairial (Fig. 11). Une recherche manuelle de compromis a permis de définir des tailles optimales de parcelle. Dans un 2nd temps, l'impact de différentes stratégies de conduite de l'irrigation et/ou de disponibilité en eau a été quantifié.
- à l'échelle de l'exploitation, différentes configurations ont été testées (parcelles de taille homogène ou hétérogène, répartition spatiale au sein de l'exploitation, découpage de la parcelle en calan) pour différentes tailles d'exploitations.

⁷ Un calan représente un découpage de la parcelle en sous unités irriguées à tour de rôle.

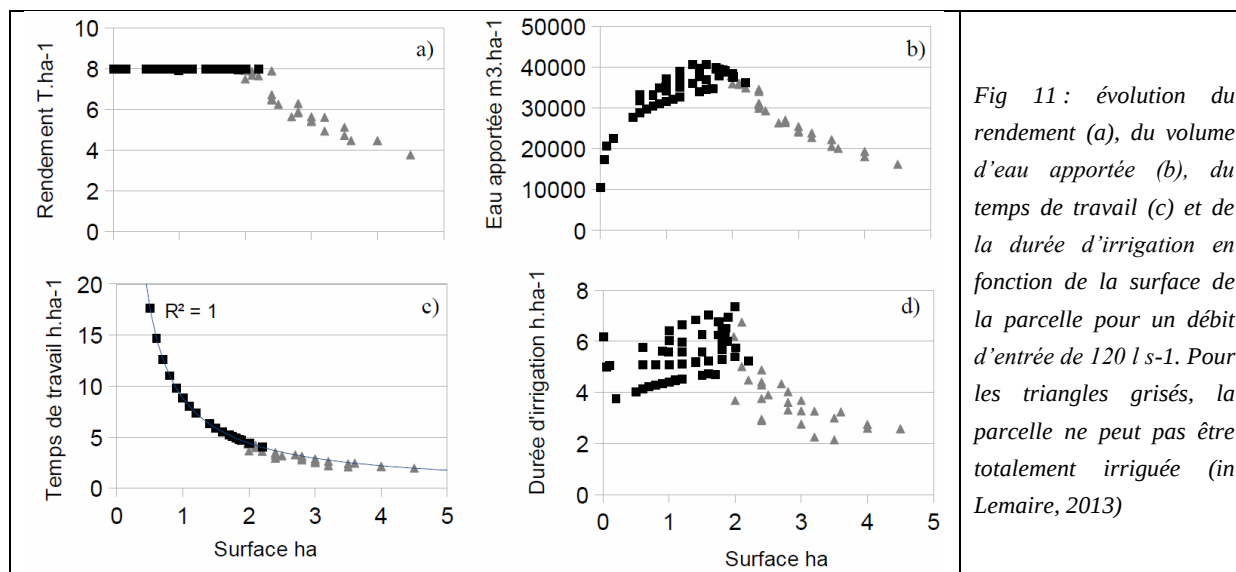


Fig 11 : évolution du rendement (a), du volume d'eau apportée (b), du temps de travail (c) et de la durée d'irrigation en fonction de la surface de la parcelle pour un débit d'entrée de 120 l s-1. Pour les triangles grisés, la parcelle ne peut pas être totalement irriguée (in Lemaire, 2013)

Les travaux montrent l'intérêt du modèle et de la démarche. La finalisation de ces travaux requiert cependant :

- (i) une validation plus complète du modèle IRRIGATE : ceci nécessite l'acquisition d'une importante base de données sur la variabilité des pratiques et des rendements à l'échelle du territoire (en cours),
- (ii) la mise en place d'une procédure automatique pour la recherche de compromis,
- (iii) la prise en compte de la variabilité climatique (seule une année climatique a été utilisée dans l'étude).

B2.2 : scénarios d'adaptation de gestion des canaux : étude sur modèle et scénarios de différentes modalités de gestion des canaux sur les volumes d'eau en transit et la disponibilité de l'eau à l'exploitation.

Suite à la tâche A.2.2, l'ASCO des Arrosants de la Crau a programmé des études de dimensionnement d'ouvrages de mesure et de régulation dans le cadre du Contrat de Canal Crau-Sud Alpilles. Les scénarios d'adaptation de la régulation pourront être plus précisément évalués après validation des résultats de l'étude (menée par un prestataire externe au projet). Au niveau des canaux de distribution, l'enjeu est d'accroître très fortement l'adéquation offre-demande, soit en adaptant l'offre grâce à une anticipation des demandes en eau, soit en adaptant la demande par une optimisation des calendriers d'arrosage, soit enfin en mettant en place des bassins de régulation. Les études hydrauliques confirment que les réseaux ont très peu de capacité de stockage. Le scénario d'adaptation ne nécessitant que peu d'investissements consiste alors à optimiser les calendriers d'arrosage, en tenant compte des diverses contraintes hydrauliques et de disponibilité de main d'œuvre. La formalisation de ces différentes contraintes et objectifs de performance s'est appuyée, entre autres, sur le Domaine du Merle (Hong, 2014) où ont été analysés les calendriers d'arrosage et de manœuvre des ouvrages hydrauliques (Mellali, 2013).

Au-delà de la définition de calendriers maximisant l'adéquation offre-demande, le cadre d'optimisation développé (Hong et al., 2013) permet par ailleurs de prioriser les ouvrages à moderniser. Pour le Domaine du Merle, il s'agit par exemple de vannes qui pourraient être automatisées. Sur d'autres systèmes, la maximisation de la performance du système de gestion hydraulique passe par la mise en place de bassins de stockage (Hong, 2014).

B3 : le rôle des terres de parcours : production de biomasse, impact sur le cycle hydrologique (recharge, évapotranspiration)

B3.1 Analyse des évolutions passées et mise en place d'un suivi.

Ces aspects n'ont pas été abordés.

B3.2 Modélisation de la production de biomasse et de son fonctionnement hydrologique.

L'un des objectifs des opérations menées par le CEN PACA dans ce programme était de participer à la modélisation du fonctionnement des terres de parcours de Crau, les coussouls. Il s'agissait, en collaboration avec l'IMBE et l'unité EMMAH, d'utiliser l'outil télédétection pour modéliser la structure et l'état de la végétation steppique, mesurées par des relevés de végétation sur le terrain (tâche B3). Les travaux en cours et les disponibilités au sein des équipes impliquées ont conduit à mettre de côté ce volet, en raison des difficultés à coordonner les différents techniciens spécialisés dans les différents domaines impliqués (télédétection, botanique, pastoral). Parallèlement, le besoin de mettre à jour la carte d'occupation des sols est apparu (Fig. 12). En effet, elle est nécessaire au suivi et à la spatialisation des cycles hydrologiques. De plus, l'analyse de l'évolution des surfaces des différents usages par rapport aux précédentes cartographies servira à paramétrer les scénarios d'évolution du territoire. Nous avons donc décidé de mettre à jour la cartographie de l'usage des sols en Crau.

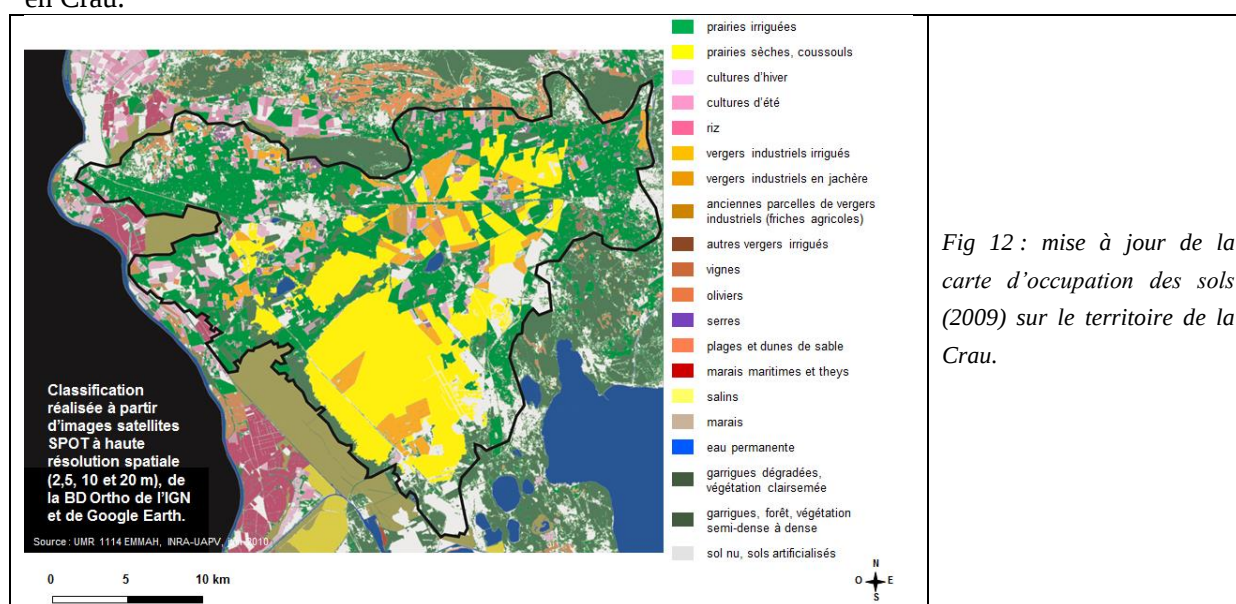


Fig 12 : mise à jour de la carte d'occupation des sols (2009) sur le territoire de la Crau.

B4 : valorisation des données

Le projet SICMED-Crau a contribué à mettre en place plusieurs systèmes de mesures. De plus, de nombreuses enquêtes sur les pratiques agricoles dans les systèmes prairiaux de Crau sont en cours et compléteront les bases de données partielles existantes (domaine du Merle, thèse de A. Mérot).

La valorisation de l'ensemble de ces données (accessibilité, partage, visibilité sur internet) doit être réalisé en 2014.

(C) Identification des leviers d'action

C1 Elaboration de scénarios et évaluation des impacts sur la production et la recharge.

C1.1 : adéquation entre adaptation des pratiques d'irrigation à l'échelle de l'exploitation et modification des modes de gestions des canaux.

Les travaux exploratoires décrits dans la section B2.1 supposent une disponibilité en eau non limitante à l'échelle de l'exploitation. Les résultats obtenus dans le cadre de la recherche de « compromis » montrent que, dans certains cas, cela nécessiterait une modification soit du tour d'eau, soit du débit fictif continu disponible, donc que cela impliquerait une modification des pratiques de gestion des canaux (cf. B2.2). La confrontation entre contraintes issues de l'optimisation de l'irrigation à l'échelle

de l'exploitation et celles issues de l'optimisation de la gestion des canaux à l'échelle du périmètre irrigué n'a pas encore été réalisée.

C1.2 : quantification des impacts de changements/adaptation à l'aide de scénarios.

Quatre scénarios contrastés ont été élaborés. Ces scénarios, élaborés dans le cadre des projets SIRRIMED et Astuce & Tic prennent en compte les changements climatiques futurs, l'évolution de l'occupation des sols, une diminution de la disponibilité en eau pour l'irrigation, avec différentes combinaisons. Leurs impacts ont été comparés entre eux et avec le fonctionnement actuel.

Scénario	Climat	Occupation du sol	Disponibilité en eau
ref_a	Actuel	Actuel	100 %
ref_f	Futur	Actuel	100%
ref_r	Futur	-11% surface prairies	100%
rte	Futur	Actuel	70%
rte_sc2	Futur	-11% surface prairies	70%

Climat Actuel : données climatiques de 2006 (données SAFRAN)
 Climat Futur : A1B 2025-2035de GIEC (2007), http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html
 Occupation du sol : Actuel = carte mise à jour en 2009 (Oliosio et al., 2013). Scénario futur : 11% des surfaces de prairies disparaissent au profit de l'urbanisation. L'eau dédiée à l'irrigation des prairies disparues est réallouée aux prairies restantes.
 Disponibilité en eau : 30% des volumes d'eau alloués à l'irrigation disparaissent. Ceci se traduit par un allongement des tours d'eau.

Les simulations sur scénarios permettent de déterminer la part relative des différents facteurs sur la production et la recharge. Les résultats sont illustrés pour le scénario *rte_sc2* dans la figure XXX. L'impact sur le rendement des prairies est faible, alors que l'impact sur la recharge de la nappe est important : sur la base d'une porosité du terrain aquifère de 10%, le scénario *rte_sce2* conduit à une diminution du volume d'eau stocké dans la nappe de près de 20 % (Oliosio et al., 2013), la baisse de niveau piézométrique pouvant atteindre plusieurs mètres dans les zones gagnées par l'urbanisme, ce qui pourrait remettre en cause l'exploitation de la nappe dans ces zones.

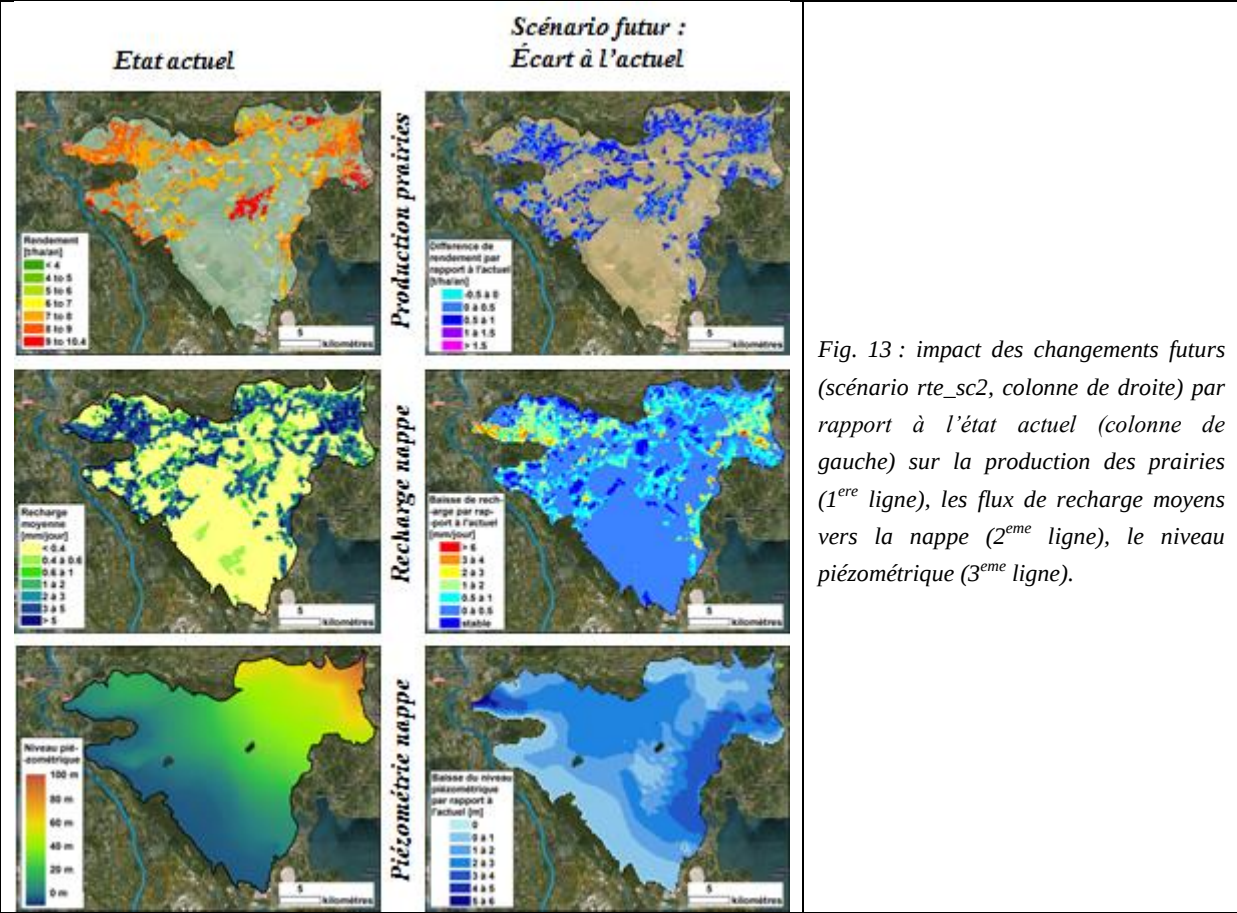


Fig. 13 : impact des changements futurs (scénario *rte_sc2*, colonne de droite) par rapport à l'état actuel (colonne de gauche) sur la production des prairies (1^{ère} ligne), les flux de recharge moyens vers la nappe (2^{ème} ligne), le niveau piézométrique (3^{ème} ligne).

C2 Acceptabilité des scénarios par les acteurs

Ce point n'a pas été abordé de façon globale au niveau du projet SCIMED-Crau. Cependant, les travaux ont fait l'objet de présentations auprès des gestionnaires et professionnels du territoire. En particulier, les résultats des scénarios issus du modèle intégré ont été présentés à l'Agence l'Eau RMC et au SYMCRAU, dans le cadre d'un projet de transfert de l'outil, ainsi que dans le cadre d'une réunion du Conseil Scientifique des Utilisateurs (CSU) du Domaine du Merle (2014) qui regroupait des représentants des différentes structures gestionnaires et professionnelles concernées par la gestion de l'eau d'irrigation sur la Crau (CA13, EDF, Société du Canal de Provence, Syndicat du Foin de Crau, ASA, SYMCRAU, ...). Ces présentations ont permis, sans aller jusqu'à la validation des scénarios proposés ou la co-construction de scénarios alternatifs, d'illustrer les potentialités de l'outil comme aide à la prise de décision.

Parallèlement, les travaux issus de l'étude de la gouvernance de la gestion intégrée des ressources en eau sur la Crau (cf. section A2.3) a fait l'objet d'une plaquette diffusée aux professionnels et gestionnaires concernés (Renault et al., 2011).

Un séminaire de restitution en direction des acteurs du territoire est prévu en fin d'année 2014.

Conclusion

Plusieurs éléments peuvent être mis au crédit du programme SICMED et du projet SICMED-Crau. Celui-ci a permis :

- La mise en place d'une dynamique territoriale : le projet a tout d'abord pu donner un cadre à un ensemble de relations entre organismes de recherche et acteurs professionnels et gestionnaires du territoire. Il a permis de rassembler sur un territoire commun un ensemble d'unités de recherches aux compétences et thématiques complémentaires, en élargissant les partenariats tels qu'ils avaient été mis en place lors du projet EC2CO HYDROCCAM (2007-2009) ou du projet FUI Astuce & Tic (2007-2011). La dynamique engendrée a débouché sur la rédaction de deux projets regroupant l'ensemble des partenaires, les crédits incitatifs du projet ne permettant pas à eux seuls de financer l'ensemble des actions proposées. Ces projets avec une dimension pluri-disciplinaire fortement marquée ont été soumis à l'ANR, mais n'ont cependant pas été retenus. D'autres projets, regroupant une partie des partenaires, ont également été déposés dans diverses instances.
- La mise en place et le suivi d'un ensemble de sites de mesures sur le territoire : SICMED-Crau a significativement contribué à instrumenter plusieurs sites de mesures sur le territoire, permettant ainsi d'acquérir des données sur le fonctionnement hydro(géo)logique et hydraulique de milieux complexes ou mal connus. Ces sites sont à la fois des sites permettant le suivi du bilan hydrique et de bilan d'énergie installés sur les grands types d'occupation du sol (prairies irriguées, vergers, terres de parcours), mais également des sites de suivi du fonctionnement hydraulique des canaux principaux et secondaires (en relation avec les associations syndicales impliquées dans le Contrat de Canal Crau-Sud Alpilles), la méconnaissance des débits transitant dans les canaux étant une source importante d'incertitude. De plus, une dynamique originale a été mise en œuvre avec l'organisme gestionnaire de la nappe de la Crau (SYMCRAU) afin de constituer un réseau de surveillance quantitatif (surface piézométrique) et qualitatif (géochimie et chimie isotopique) de la nappe de la Crau.

Enfin, de nombreuses enquêtes sur les pratiques agricoles dans les systèmes prairiaux de Crau sont en cours et compléteront les bases de données partielles existantes (domaine du Merle, thèse de A. Mérot).

La valorisation de l'ensemble de ces données (accessibilité, partage, visibilité sur internet) doit être réalisé en 2014.

- L'élaboration d'un modèle intégré à l'échelle du territoire, couplant le fonctionnement de la surface (production agricole, flux hydrique) et le fonctionnement de la nappe souterraine de la Crau. Plusieurs scénarios d'évolutions ont été traduits en variables et paramètres du modèle intégré, ce qui a permis de quantifier l'impact de ces scénarios sur la production et la recharge de la nappe. Ces résultats, valorisés ou en cours de publications, ont été présentés aux partenaires socio-économiques du territoire. Une réflexion est en cours sur l'utilisation/transfert de ce modèle et/ou de ses résultats par le SYMCRAU, syndicat mixte gestionnaire de la nappe de la Crau.

Les actions décrites dans le projet n'ont pas toutes été finalisées. Plusieurs éléments d'explications peuvent être avancés :

- Une faible lisibilité sur le financement annuel SICMED et sa mise à disposition tardive, ainsi que les contraintes administratives de gestion entre organismes ont abouti à ce que, dans certains cas, la mise à disposition du budget ne permette pas le recrutement de stagiaire,
- Le faible taux de succès des réponses aux divers appels d'offre auxquels ont répondu les partenaires du projet,

- Un départ anticipé (printemps 2012) et des recrutements tardifs de doctorants (2 doctorants ont débuté leur travail en automne 2012, un doctorant à l'automne 2013).

Liste des principaux contributeurs (scientifiques permanents) au projet SICMED-Crau

Organisme	Scientifiques participants
CEN-PACA	A. Wolff
CEREGE	C. Vallet-Coulomb, J. Goncalvez
EMMAH	A. Chanzy, G. Bourrié, A.L. Cognard-Plancq, D. Courault, C. Doussan, M. Gillon, A. Olios, F. Ruget, S. Ruy, F. Trolard
G-EAU + Domaine du Merle	G. Belaud, F. Charron, L. Guerrin-Schneider, JC Poussin, JP Baume, D. Dorchies, PO Malaterre
IMBE	T. Dutoit
SYSTEM	A. Mérot

Liste des personnes non permanentes participantes

<i>Nom Prénom</i>	<i>Statut</i>	<i>Nb de mois / Année</i>	<i>Laboratoire</i>	<i>Financement SICMED ?</i>	<i>Rapport/article/....</i>
Simmarrano J.B.	Stage M2	5 [2012]	CEREGE		R
Branchu A.	Stage M2	5 [2013]			R
Alkassem Alosman M.	Doctorant	36 [2013]	EMMAH	<i>Fonctionnement</i>	
Bailleux A.	CDD	[2013]		FP7 Sirrimed	
Branquinho P.	Stage M1	4 [2011]			R + Poster
Corneil Y.	Projet M2 Ing	6 [2011]			R
Delvoye P.	Stage M1	4 [2013]		<i>Fonctionnement</i>	R
Furet M.	Stage M1	4 [2011]			R
Gallego B.	Post-Doc	24 [2012]		Fondation R. Areces	
Josse A.	Stage M2	6 [2012]			R
Juliand J.	Stage M1	5 [2011]			R
Lecerf R.	CDD			FP7 Sirrimed	R + Poster + Article
Lesturgeon M.	Stage L3	2 [2012]			R
Ma D.H.	Post-Doc	18 [2010]			R + Poster EGU
Mira M.	Post-Doc	24 [2011]		Generalitat Valenciana	
Mohammed G.	Doctorante	36 [2013]		<i>Fonctionnement</i>	
Tridon E.	Projet M2 Ing	6 [2011]			R
Renault A.	Stage M1	[2010]	G-EAU		R + Conf
Bah M.	Stage M1	4 [2012]		<i>Gratification</i>	R
Falerne R.	Stage M2 Ing	6 [2012]			R
Mellali M.	Stage M2	5 [2013]		<i>Fonctionnement</i>	R
Auvet B.	Doctorant	36 [2013]			
El-Hajj M.	Doctorant	36 [2013]		<i>Fonctionnement</i>	
Hong S.	Doctorant	36 [2011]			
Lorenzetti O.	Stage IUT2	3 [2012]	IMBE	<i>Gratification</i>	R
Lemaire L.	Stage M1 Ing	3 [2013]	SYSTEM	<i>Gratification</i>	R

Autres projets ayant financés des actions incluses dans SICMED

<i>Nom du projet</i>	<i>Financier</i>	<i>Montant et période</i>	<i>Objectif</i>
EVA2-IRT	CNES [TOSCA – 2013]	2013	Cartographie des variables biophysiques de surface (biomasse, ETR)
CALVADOSV	CNES [TOSCA - 2013]	2013	
SIRRIMED	FP7	2009-2013	Développer un modèle permettant la gestion intégrée de la ressource en eau
Astuce & Tic	FUI	2008-2011	Développer un OAD pour une évaluation environnementale prospective des politiques d'aménagement du territoire.
	Agence de l'Eau RMC	2010-2011	Analyse du cadre institutionnel autour de la gestion de la nappe de la Crau

Projets montés dans le cadre de SICMED

<i>Nom du projet</i>	<i>Financier</i>	<i>Montant et période</i>	<i>Projet financé ?</i>
VAIL-Crau	ANR Agrobiosphère 2012	48 m	Non
Vhys-Irr	ANR Agrobiosphère 2013	48 m	Non
TREASURE-MED	ANR 2014	48 m	Non
PRECOS	UE, Climate KIC	12 m	Oui

Annexe : Résumé du projet VAIL-Crau déposé à l'ANR Agrobiosphère 2012.

La demande alimentaire croissante associée au changement climatique et à une demande environnementale également en augmentation, vont conduire à une augmentation des pressions sur les ressources en eau. Ce sera particulièrement le cas dans la région méditerranéenne. En conséquence, les systèmes d'irrigation, qui représentent encore la majorité des prélèvements d'eau, sont invités à devenir plus efficaces en limitant les volumes d'eau prélevés, mais non utilisés. Cela peut menacer la fourniture par les paysages irrigués des services non agricoles, et souvent non-commercialisés. En particulier, les systèmes d'irrigation traditionnels, où l'eau est transportée sur de grandes distances par le biais de réseaux de canaux ouverts, ont développé de multiples fonctionnalités, comme la biodiversité, la recharge des nappes souterraines, l'utilisation domestique de l'eau... Mais ils sont aussi généralement considérés comme plus inefficaces que les autres techniques de distribution de l'irrigation. L'identification de la combinaison souhaitée par la société de services produits par les systèmes d'irrigation et l'évaluation de leur vulnérabilité dans un contexte de changement global est une condition préalable à la définition de stratégies d'adaptation appropriées. L'objectif principal de VAIL-Crau est de construire un cadre intégré pour analyser la vulnérabilité et l'adaptation des systèmes d'irrigation traditionnels, considérés comme des systèmes socio-écologiques complexes. Ce cadre sera appliqué à la région de la Crau, une plaine steppique irriguée par un réseau de 2000 km de long depuis plus de 3 siècles. Notre approche combinera l'interdisciplinarité entre les sciences sociales et biophysiques et la participation des parties prenantes, pour construire une représentation partagée du système, identifier des scénarios futurs possibles (à un horizon de une à deux générations), et discuter la vulnérabilité et la capacité d'adaptation du système. Les impacts des scénarios sur la combinaison des services offerts par le système seront quantifiés en utilisant l'expertise écologique et des modèles biophysiques, et seront ensuite évalués économiquement. Les modèles biophysiques seront basés sur des descriptions précises des processus qui se produisent dans les parcelles, les réseaux d'irrigation et de drainage, et dans l'aquifère. En outre, des modèles seront développés pour représenter les décisions stratégiques et tactiques des agriculteurs, puis évaluer leur vulnérabilité au changement global et les coûts de fourniture des services du système d'irrigation. Les impacts économiques sur les associations d'usagers de l'eau en charge de la gestion de l'irrigation seront également évalués. Un modèle conceptuel global du système, discuté avec les acteurs locaux, guidera l'intégration des différents modèles et assurera que les résultats seront utiles pour la prise de décision. En particulier en éclairant le lien entre la vulnérabilité des exploitations agricoles et celle des services fournis par le système d'irrigation traditionnel, il sera possible de concevoir des stratégies d'adaptation avec les parties prenantes. Les résultats finaux attendus du projet sont (i) une meilleure compréhension de la façon dont les forces motrices sont susceptibles d'influencer à l'avenir la gestion du système d'irrigation et comment celle-ci influe à son tour sur la fourniture de leurs multiples services; (ii) l'analyse de la vulnérabilité du système d'irrigation et de ses services au changement global, et (iii) l'identification des incitations et des politiques.

Unité	Responsable scientifique	Personnel permanents (mois)	Personnel non permanents	
			avec demande de financement	sans demande de financement
G-EAU (SupAgro-M)	G. Belaud ^s	36	36	0
G-EAU (IRSTEA)	L. Guérin-Schneider	114	114	2
UMR EMMAH	A. Oliso	152.1	102	18
UMR CEREGE	C. Vallet-Coulomb	19.2	18	0

CEN-PACA	A. Wolff	6	0	0
	Total (mois)	327.3	270	20

§ coordonnateur du projet.

Annexe : Résumé du projet Vhys-Irr déposé à l'ANR Agrobiosphère 2013.

Le projet vise à construire un cadre intégré pour analyser la vulnérabilité et l'adaptation des socio-hydrosystèmes alimentés par des systèmes d'irrigation traditionnels, considérés comme peu efficaces hydrauliquement mais pouvant néanmoins fournir des services écosystémiques variés et importants. A partir de l'exemple de la Crau, façonnée par quatre siècles d'irrigation gravitaire, une approche interdisciplinaire sera menée entre sciences humaines, sociales, écologiques et biophysiques avec la participation des parties prenantes. On analysera les dynamiques passées et actuelles des territoires et des aménagements hydroagricoles, leurs impacts hydrologiques et écologiques et les services associés. Une représentation partagée du socio-hydrosystème permettra d'identifier des scénarios futurs possibles, discuter sa vulnérabilité et sa capacité d'adaptation. Les impacts sur les services offerts par le système seront quantifiés par modélisation biophysique intégrée, puis évalués avec une combinaison de critères (agronomiques, écologiques, sociaux, économiques...). Cette analyse conduira à identifier et évaluer des stratégies d'adaptation, allant des domaines technologiques à institutionnels. Les résultats obtenus pour cette zone atelier seront mis en perspectives pour les écosystèmes irrigués dans le bassin méditerranéen.

Unité	Responsable scientifique	Personnel permanents (mois)	Personnel non permanents	
			avec demande de financement	sans demande de financement
G-EAU (SupAgro-M)	G. Belaud [§]	36		
G-EAU (IRSTEA)	L. Guérin-Schneider	130		
UMR EMMAH	A. Oliosio	158		
UMR CEREGE	C. Vallet-Coulomb	19		0
ArtDev	A. Brun	46		
IMBE	T. Dutoit	34		
CEN-PACA	A. Wolff	6	0	0
	Total (mois)	429		

§ coordonnateur du projet.

Annexe : Résumé du projet PRECOS, accepté à Innovation and pathfinder projects (Climate KIC), 07/2013-07/2014

Concept: The PRECOS project proposes an innovative IT platform and forecasting decision support tool (Astuce & Tic1) giving a synthesized vision of an area, measuring in real time, pressures, resilience potential and tipping points over natural resource assets and helping to manage ecosystem services under mounting climate and anthropogenic pressures. This has potential for radically transforming land management and resources based services and facilitating the transition of local stakeholders and economic actors to the quaternary economy.

This type of holistic approach is based on the latest innovations brought by Information technology and science based modelling. It is strategic for enabling local communities, stakeholders and investors to preserve a minimum level of welfare and competitiveness in a world characterised by higher environmental and climatic risks, and scarcer and more pricy resources assets. It provides a transparent framework with reliable indication on “a minima pressures” over land and water and how ecosystems are affected by it in real time and over the 2020/2030 horizon. This type of approach enables decision makers to:

- Determine how to protect their assets from reaching “tipping points” that would otherwise irrevocably compromise their development options;
- Show when, where and why they have an interest in taking action.

The pathfinder sets out to pave the way for the uptake of this prototype at different scales and for a variety of end-users in different economic and geographical contexts in order for it to thrive on the international market.

Partenaires	Domaine d’expertise pour le projet
INRA – UMR EMMAH (Fr)	Soils and water geochemistry & Economic models for land use
Imperial College (GB)	Business models for innovation
IBIMET / CNR (Italie)	Geospatial modelling-land management
Ecole des Mines d’Alès (Fr)	Benchmarking
Véolia (Fr)	Industrial and public utilities service provider

Annexe : Résumé du projet TREASURE-MED soumis à ANR 2014, non retenu

Le projet TREASURE-MED propose une solution intégrée pour la réutilisation des eaux dans l’agriculture péri-urbaine à la fois pour les pays du Nord et du Sud de la Méditerranée. Au lieu de se concentrer uniquement sur un point précis du cycle de l’eau, la solution prend en compte les ressources locales en eau sur le territoire, les besoins spécifiques des cultures et la protection des sols comme des contraintes en matière de qualité de l’eau. Les impacts socio-économiques sont également évalués pour vérifier l’acceptabilité de la solution proposée. Pour mettre en place cette approche et définir des indicateurs de bonnes pratiques pour les intervenants et les décideurs politiques, le projet regroupe des compétences dans les technologies de traitement de l’eau, de l’irrigation, de l’agronomie, de l’hydrogéologie, de la géochimie, de l’ingénierie de la modélisation et de la simulation, du contrôle, de l’aide à la décision et de l’analyse socio-économique.

Partenaires	Participants
Laboratoire de Biotechnologie de l’Environnement (INRA)	J. Harmand [§] N. Wery, J.J. Godon, M. Torrijos, F. Campillo (INRIA), C. Casenave
UMR EMMAH (INRA, UAPV)	F. Trolard, A.L. Cognard-Plancq, G. Bourrié, V. Vallès
Institut Européen des Membranes (Université de Montpellier II)	G. Lesage, M. Heran
Laboratoire de Mécanique, Modélisation et Procédés Propres (Université Aix Marseille)	N. Roche
UMR G-EAU (IRSTEA, CIRAD)	B. Molle, S. Marlet, S. Loubier

[§] coordonnateur du projet.

Contribution à la formation initiale/continue : quelles sont les actions que SICMED a facilitées/permises

Le projet SICMED-Crau a permis de formaliser trois actions de formation :

- La première action, conduite par le CEREGE, vise à utiliser les dispositifs d'accès à la nappe du domaine du Merle (puits, piézomètres) dans le cadre de la formation des étudiants de l'université d'Aix-Marseille pour des TP d'hydrogéologie (convention en cours de rédaction). Le début effectif de ce partenariat a débuté à la rentrée 2012.
- La deuxième action, conduite par EMMAH et le Domaine du Merle, a consisté à accueillir au sein du domaine du Merle pendant 1 semaine (septembre 2011) les étudiants en géophysique de l'université Paris VI (Master Géophysique Appliquée, Ressources, Environnement », responsable pédagogique Christian Camerlink, UMR SYSIPHE) dans le cadre du stage de mise en œuvre de méthodes de reconnaissance géophysique pour la structure du sol et du sous-sol et de son fonctionnement (M2). Les données acquises ont été réinterprétées dans le cadre d'un stage de M2 (A. Josse, 2012)
- La troisième action, conduite par l'UMR G-Eau et SupAgro-M, a consisté à accueillir au sein du Domaine du Merle les étudiants du Master Eau et Agriculture de SupAgro-M lors d'un stage terrain de 1 semaine. Cette action récurrente a débuté en 2012.

Une quatrième action peut être rattachée à SICMED. Depuis 2009, dans le cadre du Master Hydrogéologie, Sol et Environnement l'UAPV a mis en place un projet tutoré visant à étudier sur la zone d'Avignon l'impact de l'urbanisation et des changements d'occupation du sol et de pratiques agricoles sur la ressource en eau souterraine. Le contexte est très similaire à celui présent sur le territoire de la Crau (irrigation traditionnelle de prairies par submersion à partir de canaux).

Parallèlement, la dynamique scientifique établie autour du projet SICMED-Crau a facilité des participations croisées dans différents comités de pilotage de thèse :

Doctorant	Sujet	Laboratoire d'accueil et directeur de thèse	Membre du projet SICMED-Crau participant au comité de pilotage
M. Alkassem Alosman	Adaptation de pratiques d'irrigation à une diminution de la disponibilité de la ressource en eau. Elaboration de scénarios et quantification de leurs impacts 2012-2015	EMMAH (A. Olivoso)	A. Mérot (SYSTEM) B. Cheviron (G-EAU)
M. El-Hajj	Suivi hydrique des sols et de la végétation pour la supervision et la gestion des systèmes irrigués 2013-2016	TETIS (N. Baghdadi) et G-EAU (G. Belaud)	D. Courault (UMR EMMAH)

Transfert/Partenariat : développement des relations avec les gestionnaires/professionnels, transferts d'outils/méthodes, participation à des instances de gestion, permises ou facilitées par SICMED. Développement des relations avec « les pays du Sud ».

Cet aspect a été abordé au travers de différentes actions :

- Rédaction d'une plaquette (10p) en 2011 à destination des élus portant sur l'analyse du système institutionnel autour de la gestion de la nappe de la Crau,
- Participation à des conférences/séminaires organisées par les organismes gestionnaires sur le territoire :
 - 2011 : Colloque organisé par le CEN-PACA : Colloque des 10 ans de la Réserve des Coussouls de Crau. « La plaine de Crau : Écologie et conservation d'une steppe méditerranéenne ». Bilan des travaux scientifiques récents. Définition des perspectives de recherche. Enjeux de territoire. Saint Martin De Crau, France, 24 et 25 Novembre 2011.
Voir aussi : L. Tatin, A. Wolff, J. Boutin, E. Colliot et T. Dutoit, 2013. *Ecologie et conservation d'une steppe méditerranéenne, la plaine de Crau*. Ed. Quae, 384 pp, ISBN 9782759220823.
 - 2012 : Conférence organisée par le SYMCRAU et le Contrat de Canal Crau Sud Alpilles: L'eau dans l'agroécosystème Craven, un modèle de développement durable à préserver. Saint Martin de Crau, France, 25 octobre 2012.
- Participation au comité technique du SYMCRAU sur la période 2011-2013 :
 - définition d'un réseau de surveillance, des variables hydrochimiques à suivre, participation aux réflexions (réunion SYMCRAU à Salon).
- Participation aux ateliers de réflexion préalable au contrat de nappe (SYMCRAU, 2013):
 - 25/11/2013 : Nappe de la Crau, quel équilibre entre usages et recharge ?
 - 05/12/2013 : L'eau, quelle place dans l'aménagement de l'espace Craven ?
 - 18/12/2013 : Synthèse

Le Domaine du Merle est l'instance privilégiée pour la structuration des relations entre le monde de la recherche et les professionnels impliqués sur le territoire (production agricole, gestion de l'eau) dans le cadre du projet SICMED-Crau. Lors du Conseil Scientifique des Utilisateurs (CSU) du 18/04/2014 dédié à la thématique « Eau et Environnement », 4 exposés ont été consacrés à la présentation des résultats et des démarches en cours du projet SICMED-Crau.

Enfin, le projet contribue (fourniture de données, cofinancement, ...) à la réalisation de deux films de vulgarisation sur (i) la mise en place de la géologie de la Crau, (ii) la place de l'eau et des canaux d'irrigation dans le système Craven. Ces projets sont pilotés par le CEN-PACA dans le cadre de la mise en place de l'Ecomusée de la Crau.

Liste de publications

Rapports

- Branquinho P., 2011. Influence de la phase caillouteuse sur les propriétés physiques, hydriques et sur les écoulements dans un coussoul de Crau Rapport de stage M1 HSE, EMMAH-UAPV, 67p.
- Corneil Y. et Tridon E., 2012. Construction d'un modèle numérique de la nappe de la Crau. Rapport de projet de laboratoire, 3ème année, ENSG et CRPG - Gocad, 30p.
- Delvoye, P., 2013. Analyses de données hydrochimiques en cours d'acquisition sur la nappe de la Crau. Rapport de stage M1 HSE, EMMAH-UAPV, 41 p.
- Furet M., 2011. Prairies sèches, validation d'un modèle d'irrigation, étude piézométrique. Rapport M1 Hydrogéologie, Sol et Environnement, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 70pp.
- Hong, S. 2014. Optimisation de tours d'eau sur un réseau d'irrigation gravitaire. Thèse de doctorat, soutenance prévue le 8/07/2014, Montpellier Supagro.
- Josse A., 2012. Apport de la géophysique dans l'étude de la structure et des transferts hydriques des sols de la plaine de la Crau. EMMAH-Paris VI M2 GARE.
- Juliand J., 2011. Caractérisation du fonctionnement hydrique d'un sol de Crau sous prairie irriguée. Rapport de stage M1 HSE, EMMAH-UAPV, 46p.
- Lemaire L., 2013. Test de scénarios et recherche de compromis grâce à la modélisation pour l'irrigation de la plaine de la Crau. AgroParisTech, 33p + annexes.
- Lesturgeon M., ????
- Lorenzetti O., 2012. Création d'une base de données botanique et édaphique pour les terres de parcours de la plaine de Crau. UAPV, 52 p.
- Ma D.H., 2012. Evaluation of the role of preferential flows during groundwater recharge in the Mediterranean region-Towards an estimate of their sensitivity to climate change. Rapport interne de séjour Post-Doctoral, EMMAH, 24p.
- Mellali M., 2013. Analyse et optimisation de stratégies de distribution de l'eau dans un réseau hydro-agricole gravitaire (Plaine de la Crau) Master Eau et Agriculture, Montpellier.
- Renault A., Guérin-Schneider L., Charron F., Poussin J.C., 2011. Vers une gestion intégrée de la nappe de la Crau : Etat des lieux du système institutionnel. M2, IEP Bordeaux, 10 p.

Présentations orales/posters dans des colloques nationaux/internationaux

- Boulet Gilles, Albert Olioso, Jonas Chirouze, Eric Ceschia, Vincent Rivalland, Ghani Chehbouni, and Jean-Pierre Lagouarde, 2011. An empirical expression to relate aerodynamic and surface temperatures for use within single-source energy balance models. In *EGU General Assembly 2011*, Vienna, Austria, 03 – 08 April 2011, Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-6401-1. [oral].
- Bourrié G., Trolard F., Chanzy A., Ruget F., Lecerf R., Charron F., 2012. Qualité de l'eau d'irrigation, des sols, de la nappe et nutrition minérale des prairies : un exemple ancien d'agriculture « écologiquement intensive », Workshop du Réseau Prairies, Lusignan, 18-19 déc 2012. [oral].
- Bourrié G., Trolard F., Chanzy A., Ruget F., Lecerf R., Charron F., 2013. Sustainable intensive agriculture : evidence from aqueous geochemistry. In *14th International Symposium on Water-Rock Interaction WRI*, Avignon, France, 09-14 juin 2013. [oral]. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7, 93-96, DOI: 10.1016/j.proeps.2013.03.077
- Branquinho, P., B. Bès, A. Chapellet, M. Debroux, J.C. Gaudu, D. Renard, C. Doussan, S. Ruy, 2011. Suivi in situ de l'infiltration dans un coussoul de Crau par traçage coloré et tomographie électrique. In *Colloque des 10 ans de la Réserve des Coussouls de Crau. La plaine de Crau : Écologie et conservation d'une steppe méditerranéenne. Bilan des travaux scientifiques récents. Définition des perspectives de recherche. Enjeux de territoire*. Saint Martin De Crau, 24 et 25 Novembre 2011. [poster]
- Courault D., Mira M., Marloie O., Gallego-Elvira B., Hagolle O., Olioso A., Castillo-Reyes S., 2012. Assessment of modelling uncertainties over a Mediterranean agricultural region using evapotranspiration models based on LANDSAT thermal data. In *AGU Chapman Conference on Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle*, Kona Hawai'i 19-22 février 2012. [poster]. <http://www.agu.org/meetings/chapman/2012/acall/pdf/FinalProgram.pdf>
- Courault D., Olioso A., Castillo-Reyes S., Hagolle O., Mira M., Gallego-Elvira B., Marloie O., Weiss M., 2012. Assessment of evapotranspiration and biophysical variables from various remote sensing data acquired on the HYMEX pilot site: 'the Crau Camargue region'. In 6th HyMeX workshop, 7-11 May 2012, Primosten, Croatia. [poster]. https://www.pentapco.org/hymex2012/abstract-preview/abstracts_print.php?abstractID=845&tema=8&back=poster
- Courault D., Olioso A., Chanzy A., Ruget F., Baret F., Marloie O., Weiss M., Cognard-Plancq A.-L., Banton O., Travi Y., Vallès V., Vallet- Coulomb C., Trolard F., Bourrié G., Hagolle O., Dedieu G., 2011. Modélisation des interactions surface - hydrosystèmes dans la région Crau Camargue. In *Colloque des 10 ans de la Réserve des Coussouls de Crau. La plaine de Crau : Écologie et conservation d'une steppe méditerranéenne. Bilan des travaux scientifiques récents. Définition des perspectives de recherche. Enjeux de territoire*. Saint Martin De Crau, France, 24 et 25 Novembre 2011. [poster]. http://www.hymex.org/public/workshops/4/posters/poster_CHC06.pdf
- Courault D., Hadria R., Ruget F., Olioso A., Duchemin B., Hagolle O., Dedieu G., 2012. Combined use of FORMOSAT-2 images with a crop model for biomass and water monitoring of permanent grassland in Mediterranean region. In *France – Israel Remote Sensing Workshop (Venpus)*, 25-26 Janvier 2012, Sede Boker Campus, Ben Gurion University of the Negev, Israel. [oral, invitée]

- El-Hajj M., Baghdadi N., Belaud G., Zribi M., Cheviron B., Courault D., Charron F., 2014. Soil moisture retrieval over grassland using X-band SAR data. IGARSS, Québec, 13-18/07/2014
- Garrigues S., Oliso A., Calvet J.-C., Lafont S., Martin E., Chanzy A., Courault D., Marloie O., Desfonds V., Bruguier N., Renard D., 2011. Multi-year assessment of Soil Vegetation Atmosphere Transfer (SVAT) modeling uncertainties over a Mediterranean agricultural site. In 3rd iLEAPS Science Conference, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 18-23 September 2011. 2 pages. [poster]. http://www.ileaps.org/sci_conf_book/pdf/20110413155819_Abstracttleaps011.pdf
- Garrigues S., Oliso A., Calvet J.-C., Lafont S., Martin E., Chanzy A., Courault D., Marloie O., Desfonds V., Bruguier N., 2011. Multi-Year Assessment of Surface Vegetation Atmosphere Transfer (SVAT) Modelling Uncertainties over a Mediterranean Agricultural Site. In EGU General Assembly 2011, Vienna, Austria, 03 – 08 April 2011. Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-3597. [poster]. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-3597.pdf>
- Garrigues S., Oliso A., Calvet J.-C., Lafont S., Martin E., Chanzy A., Marloie O., Bertrand N., Desfonds V., Renard D., 2012. Multi-year assessment of soil-vegetation-atmosphere transfer (SVAT) modeling uncertainties over a Mediterranean agricultural site. In EGU General Assembly 2012, Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-6530. [oral]. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-6530.pdf>
- Guérin-Schneider, L., Poussin, J.-C., Renault, A. et Charron, F. (2011). Diagnostic des acteurs et des dispositifs de coordination pour une gestion collective de la ressource en eau : le cas original de la nappe de Crau. In Ground Water Conférence 2011, Orléans. [oral].
- Krapez J.-C., Oliso A., 2011. Improvement of the Triangle method for soil moisture evaluation by adding a third index: albedo or Cellulose Absorption Index. In SPIE Remote Sensing 2011, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIII, 19-22 September, Prague, Czech Republic. Paper 8174-23. Proceedings SPIE 8174, 81740L (2011), C.M.U. Neale, A. Maltese (eds.), 12 pages. [oral]. [doi:10.1117/12.897733](https://doi.org/10.1117/12.897733)
- Lecerf R., Chanzy A., Oliso A., 2012. Modelling water balance and biomass production at the regional scale: Example of the Crau area. In 6th HyMeX workshop, 7-11 May 2012, Primosten, Croatia. [oral]. https://www.penta-pco.com/hymex2012/abstract-preview/abstracts_print.php?abstractID=804&tema=3
- Lecerf R., Chanzy A., Hadria R., Ruget F., Courault D., Oliso A., 2011. Simulation par un modèle de culture du drainage et des rendements des prairies irriguées à l'échelle de l'aquifère de la Crau. In LPED/IMEP International Colloquium Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en Méditerranée. Quels enjeux pour quels services ?. 20-21 janvier 2011. Marseille, France. [poster].
- Ma D.H., Doussan C., Chapelet A., Charron F., Oliso A., 2011. Monitoring soil to groundwater preferential flow during border irrigation using time-lapse ERT. In European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienna, Austria, 03 – 08 April 2011. Geophysical Research Abstracts, Vol. 13, EGU2011-9097. [poster].
- Ma D.H., Doussan C., Chapelet A., Charron F., Oliso A., 2011. Suivi des transferts hydriques préférentiels dans les sols lors des irrigations gravitaires en utilisant la tomographie de résistivité électrique. In Colloque des 10 ans de la Réserve des Coussouls de Crau. La plaine de Crau : Écologie et conservation d'une steppe méditerranéenne. Bilan des travaux scientifiques récents. Définition des perspectives de recherche. Enjeux de territoire. [poster]. Saint Martin De Crau, 24 et 25 Novembre 2011.
- Mira M., Courault D., Hagolle O., Marloie O., Castillo-Reyes S., Gallego-Elvira B., Oliso A., 2012. Study of uncertainties from evapotranspiration models applied to LANDSAT thermal data over a Mediterranean agricultural region. In 32nd EARSeL Symposium 2012, Mykonos Island, Greece. 21-24 May 2012. [oral]. <http://www.conferences.earsel.org/abstract/show/3001>. <http://www.earsel.org/symposia/2012-symposium-Mykonos/abstractbook-EARSeL32.pdf>
- Mira M., Courault D., Hagolle O., Marloie O., Castillo-Reyes S., Gallego-Elvira B., Oliso A., 2012. Water and crop monitoring from LANDSAT images over a Mediterranean agricultural region. Comparison of different algorithms based on thermal data. In ESA "Sentinel-2 Preparatory Symposium" 2012, ESA-ESRIN, Frascati, Italy, from 23 to 27 April 2012. [poster].
- Moulin S., Garrigues S., Oliso A., Ruget F., Desfonds V., Bertrand N., Ripoché D., Launay M., Brisson N., 2012. Assessment of the phenology impact on SVAT modelling through a crop growth model over a Mediterranean crop site: Consequences on the water balance under climate change conditions. In EGU General Assembly 2012, Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-6487-2. [poster]. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2012/EGU2012-6487-2.pdf>
- Oliso A., Lecerf R., Baillieux A., Chanzy A., Ruget F., Banton O., Lecharpentier P., Alkassam Alosman M., Ruy S., Gallego Elvira B., 2013. Modeling of drainage and hay production over the Crau aquifer for analyzing the impact of global change on aquifer recharge. In EGU General Assembly 2013, Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-5525. [oral]. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2013/EGU2013-5525.pdf>
- Oliso A., Boulet G., Castillo-Reyes S., Gallego-Elvira B., Mira M., Courault D., Marloie O., Lecerf R., Weiss M., Chehbouni A.G., Baret F., Jacob F., Lagouarde J.-P., Sobrino J.A., Hamimed A., 2012. Suivi spatio-temporel de l'évapotranspiration à partir de données de télédétection dans les domaines thermiques et solaires : développement d'une chaîne de traitement de données. In 1er colloque de restitution du TOSCA, CNES, 21 et 22 mars 2012, Paris, France. [poster].
- Oliso A., Ruy S., Chanzy A., Courault D., Babic M., Banton O., Baret F., Bertrand N., Branquinho P., Bès B., Castillo-Reyes S., Chalikakis K., Chapelet A., Cognard-Plancq A.-L., Debroux M., Desfonds V., Di Pietro L., Doussan C., Gallego-Elvira B., Garrigues S., Gaudu J.-C., Guérif M., Lecerf R., Ma D., Marloie O., Mira M., Moulin S., Renard D., Ruget F., Weiss M., 2011. Transferts hydriques aquifère-sol-végétation-atmosphère. In Colloque des 10 ans de la Réserve des Coussouls de Crau. La plaine de Crau : Écologie et conservation d'une steppe méditerranéenne. Bilan des travaux scientifiques récents. Définition des perspectives de recherche. Enjeux de territoire. Saint Martin De Crau, France, 24 et 25 Novembre 2011. [oral].

<http://www.reserve->

[crau.org/images/5_decouvrir/DOC/Transferts%20hydriques%20aquifere%20sol%20vegetation%20atmosphere_Olioso%20et%20al%202011_RNCrau.ppt](http://www.reserve-crau.org/images/5_decouvrir/DOC/Transferts%20hydriques%20aquifere%20sol%20vegetation%20atmosphere_Olioso%20et%20al%202011_RNCrau.ppt)

Trolard F. et al., 2012. Modélisation de la Crau : le programme ASTUCE & TIC. In *L'eau dans l'agroécosystème Craven, un modèle de développement durable à préserver*. Saint Martin de Crau, France, 25 octobre 2012. [oral].

Articles / Ouvrages / Chapitres d'ouvrage

Hong S., Malaterre PO, Belaud G., Dejean C., 2013. Optimization of water distribution for open-channel irrigation networks. *Journal of Hydroinformatics*, doi:10.2166/hydro.2013.194

Olioso A., Lecerf R., Baillieux A., Chanzy A., Ruget F., Banton O., Lecharpentier P., Trolard F., Cognard-Plancq A.L., 2013. Modelling of drainage and hay production over the Crau aquifer for analysing impact of global change on aquifer recharge. *Procedia Environmental Sciences*, 19, 691-700.

Olioso A., Lecerf R., Chanzy A., Ruget F., Huard F., Rossello P., Lecharpentier P., Trolard F., Charron F., Ruy S., Cognard-Plancq A.L., Seguin B., Courault D., Baillieux A., Gallego-Elvira B., Garrigues S., 2013. Réponse des agrosystèmes de Crau et de leur bilan hydrique aux changements globaux. In Tatin L. et al. Eds, *Ecologie et conservation d'une steppe méditerranéenne, la plaine de Crau*, Ed. Quae, 384 pp.

Trolard F., De Mordant de Massiac JC, Dangeard ML, Bourrié G., Lecerf R., Le Pors B, et al. Disparition des habitats naturels et agricoles : quelques enseignements tirés du programme *Astuce & Tic*. In: Tatin L et al. Eds, *Ecologie et conservation d'une steppe méditerranéenne, la plaine de Crau*, Ed. Quae, 384 pp.

Trolard F., Reynders S., Dangeard M.L., Bourrié G., Descamps B., Keller C., de Mordant de Massiac J.C., 2013. Territoires, villes et campagnes face à l'étalement urbain et au changement climatique. Une démarche intégrative pour préserver les sols, l'eau et la production agricole. Ed. Johanet, 152 pp, ISBN 979-10-91089-09-8.