



**HAL**  
open science

## Gestion quantitative de l'eau en territoires irrigués: intérêt et contraintes du numérique aux différentes échelles de décision

Delphine Burger-Leenhardt, Valérie Demarez, Patrice Garin, Ludovic  
Lhuissier, Clément Murgue

### ► To cite this version:

Delphine Burger-Leenhardt, Valérie Demarez, Patrice Garin, Ludovic Lhuissier, Clément Murgue. Gestion quantitative de l'eau en territoires irrigués: intérêt et contraintes du numérique aux différentes échelles de décision. Innovations Agronomiques, 2018, 67 (Juillet), pp.63-75. 10.15454/VCIPQY . hal-02105009

**HAL Id: hal-02105009**

**<https://hal.science/hal-02105009>**

Submitted on 19 Apr 2019

**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 - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

## Gestion quantitative de l'eau en territoires irrigués : intérêt et contraintes du numérique aux différentes échelles de décision

Leenhardt D.<sup>1</sup>, Demarez V.<sup>2</sup>, Garin P.<sup>3</sup>, Lhuissier L.<sup>4</sup>, Murgue C.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> AGIR, Université de Toulouse, INRA Auzeville, 24 chemin de Borde-Rouge, F-31326 Castanet Tolosan Cedex

<sup>2</sup> CESBIO (CNES-CNRS-UPS-IRD) 13 av. du colonel Roche, F-31401 Toulouse

<sup>3</sup> UMR G-EAU, Irstea, Université de Montpellier, 361 Rue Jean François Breton, F-34196 Montpellier

<sup>4</sup> CACG, Chemin de Lalette, CS50449, F-65004 Tarbes Cedex

**Correspondance** : Delphine.Burger-Leenhardt@inra.fr

### Résumé

La gestion quantitative de l'eau est un enjeu majeur, en particulier dans les territoires ruraux où l'activité agricole est soutenue par l'irrigation alors même que la ressource en eau est peu abondante. Cet article présente, à partir de 3 exemples (modélisation intégrée, données satellitales, compteurs communicants), tout l'intérêt du numérique pour gérer l'eau et prendre des décisions en amont et pendant la campagne d'irrigation. Il illustre également les besoins et contraintes techniques associés à l'usage du numérique. Il conclut sur l'importance du facteur humain pour rendre effectifs les atouts du numérique.

**Mots-clés** : Gestion de l'eau, Quantité, Territoire, Modèle intégré, Télédétection, Compteur.

### Abstract: Quantitative water management in irrigated areas: interests and constraints of the digital technology at the various decision scales

Quantitative management of water is a major issue, particularly in rural areas where agricultural activity is supported by irrigation even though water resources are scarce. This article presents 3 examples, integrated modelling, satellite data and communicating water meters, to show all the interest of digital to manage water and make decisions upstream and during the irrigation season. It also illustrates the needs and technical constraints associated with the use of digital. It concludes on the importance of the human factor in making the digital assets effective.

**Keywords**: Water management, Water scarcity, Landscape, Integrated model, Remote-sensing, Water meter.

### Introduction

La gestion quantitative de l'eau est un enjeu majeur, en particulier dans les territoires ruraux où l'activité agricole est soutenue par l'irrigation alors même que la ressource en eau est peu abondante. L'eau utilisée pour l'irrigation correspond à un flux entrant sur les exploitations et les parcelles. Elle est prélevée dans les ressources en eau (nappes, rivières, retenues) en réponse à une demande en eau des agriculteurs, elle-même régie par leurs objectifs de production en rapport avec leurs contraintes matérielles.

Plusieurs bassins français présentent un déséquilibre entre l'offre (ressource) et la demande en eau. Ce déséquilibre est particulièrement manifeste l'été : les cultures ont des besoins en eau importants alors

que les pluies sont rares et les rivières en période de basses-eaux (étiage). Ceci peut provoquer des « crises », c'est-à-dire des épisodes où le débit des rivières (ou le niveau des nappes) passe sous un seuil réglementaire (le débit d'objectif d'étiage, ou DOE, pour les rivières<sup>1</sup>), et, en conséquence, des restrictions d'usage de l'eau.

Pour éviter ces situations de crise, plusieurs actions de gestion de l'eau peuvent être mises en œuvre à différents pas de temps. Par exemple,

- En amont (horizon de plusieurs années), il s'agit de décider de politiques permettant de rééquilibrer offre et demande en eau ; pour cela différents scénarios (sur l'offre et sur la demande) peuvent être testés en vue d'identifier la politique la plus adaptée ;
- Avant la campagne d'irrigation, il s'agit d'évaluer l'offre en eau, pour pouvoir contraindre la demande en eau en attribuant des volumes adaptés à la situation de l'année en cours ;
- Pendant la campagne, la gestion de l'offre (pilotage des déstockages d'eau des retenues) nécessite d'évaluer au mieux la demande correspondant aux besoins écologiques du milieu et aux demandes des agriculteurs irrigants soumis aux aléas météorologiques.

Dans cet article, à partir de quelques exemples, nous précisons les besoins et contraintes associés à l'usage du numérique au sens large (données, modèles) pour gérer l'eau et prendre des décisions en amont et pendant la campagne d'irrigation.

## 1. En amont : décider de politiques adaptées

### 1.1 Les enjeux

La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (Loi n°2006-1772), dans son volet traitant de la gestion quantitative (circulaire de 2008), instaure la définition de Volumes Prélevables (VP) pour l'agriculture compatibles avec la ressource réellement disponible pour cet usage. Ces VP, définis par unité hydrologique élémentaire (sous-bassin versant), doivent permettre de satisfaire les DOE huit années sur dix et de ne plus gérer la crise que lors d'épisodes climatiques exceptionnels. Cette « réforme des volumes prélevables » a provoqué d'importantes réactions de la part du monde agricole qui s'élevait surtout contre la volonté d'instaurer une logique de gestion par les volumes définis sur la base de l'année hydrologique quinquennale sèche qui conduit à laisser couler, quatre années sur cinq, de l'eau qui aurait pu être utilisée pour l'irrigation sans remettre en cause le respect des DOE. Face à cette contestation particulièrement active dans le Bassin Adour-Garonne (BAG), un protocole d'accord entre l'Etat et les chambres régionales d'agriculture d'Aquitaine et de Midi-Pyrénées a été signé et permet, par dérogation, une gestion par les débits jusqu'en 2021 et l'atteinte progressive du VP définitif (Pour plus d'explication sur le contexte, voir Debril et Therond, 2012). Pour chaque périmètre élémentaire, un « organisme unique de gestion collective » (OUGC) a été désigné avec comme missions d'arrêter chaque année un plan de répartition entre les préleveurs irrigants du volume d'eau dont le prélèvement est autorisé, ainsi qu'un protocole de gestion, c'est-à-dire les règles pour adapter cette répartition en cas de limitation ou de suspension provisoires des usages de l'eau.

Sur une partie du BAG, les VP introduisent des restrictions importantes par rapport aux volumes précédemment prélevés, eux-mêmes souvent bien inférieurs aux volumes précédemment autorisés. Cela signifie que des changements structurels doivent être mis en place pour adapter l'activité agricole à cette nouvelle contrainte. Les idées ne manquent pas sur les leviers à actionner (favoriser des cultures moins consommatrices d'eau, améliorer les pratiques d'irrigation, revoir complètement les

---

<sup>1</sup> Pour simplifier, dans cet article, nous parlerons de DOE pour évoquer aussi bien les objectifs seuils en cours d'eau que dans les nappes

systèmes agricoles, arrêter l'irrigation sur certaines zones, stocker de l'eau en hiver pour l'utiliser l'été, remettre en état des retenues, moderniser les réseaux d'irrigation, appliquer des normes plus strictes, etc.), mais le consensus sur leur pertinence, leur performance ou leur acceptabilité sociale n'est pas au rendez-vous.

Le recours à la modélisation peut être une option intéressante pour étudier les modalités de répartition du VP entre irrigants d'un périmètre et pour choisir un protocole de gestion en cours de campagne (missions des OUGC) ou pour discuter et débattre entre acteurs du territoire de scénarios activant différents leviers. Dans cet article, nous proposons d'éclairer cette hypothèse à travers deux projets, SIMULTEAU (Lacroix et al., 2018) et la thèse de S. Allain (Allain et al., 2018), qui ont mobilisé le modèle MAELIA.

### 1.2 Modéliser le fonctionnement d'un territoire de gestion de l'eau

MAELIA<sup>2</sup> (Gaudou et al., 2013) est une plateforme de modélisation et de simulation qui a été développée pour permettre d'évaluer, à l'échelle du territoire, les impacts environnementaux, économiques et sociaux des changements combinés de normes de gestion de l'eau, d'activités agricoles et de contexte (ex. dynamique d'occupation du sol, prix des productions agricoles).

MAELIA modélise les processus à l'origine des crises de gestion quantitative de l'eau au travers de trois modules en interaction (Figure 1) : l'un simule la circulation de l'eau dans les différents "compartiments" du territoire (rivières, nappes souterraines, sol...) ; un autre les opérations techniques de chaque agriculteur sur son exploitation (semis, irrigation, récolte, etc.) ; enfin un troisième module représente les décisions de gestion de l'eau (lâchers, restrictions...). Ces trois modules interagissent dans l'espace (de la parcelle au territoire) et à plusieurs pas de temps (du jour à l'année), de sorte que MAELIA est en mesure de proposer une modélisation à des résolutions spatiales et temporelles fines, avec une approche d'exhaustivité. Pour exemple, le modèle agricole implémenté sur le Tarn aval simule la décision d'environ 4 500 agriculteurs sur 60 000 parcelles chaque jour.

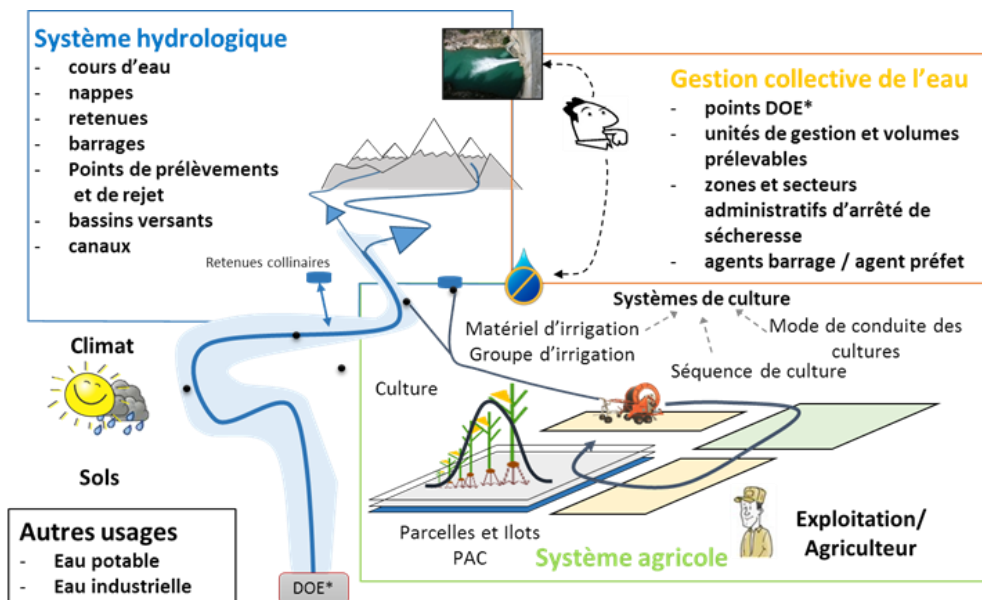


Figure 1: Eléments clés d'un territoire irrigué représentés dans MAELIA.

<sup>2</sup> Pour plus d'information : <http://maelia-platform.inra.fr>

Ce choix de finesse et d'exhaustivité permet de tenir compte de la nature distribuée et spécifique des situations de pénurie d'eau au sein des bassins versants à déficit. En outre la dimension multi-agent et dynamique de MAELIA permet de rendre compte des phénomènes liés aux interactions entre les acteurs et les éléments du territoire et de leur temporalité, ce qui est crucial pour la gestion de l'eau : dans certaines situations, l'enjeu peut être de limiter ou déplacer un pic de demande en eau, plutôt que de baisser le volume global prélevé. Tout cela fait de MAELIA un producteur d'objets intermédiaires faisant sens pour les acteurs et donc un outil au service des processus de conception participative.

### 1.3 Contraintes et problèmes soulevés

L'utilisation d'un modèle intégré, complexe et visant des résolutions spatiales et temporelles fines, pour répondre à des questions appliquées de gestion de l'eau, dans des dispositifs participatifs ou en amont de ceux-ci, pose différents problèmes que nous allons évoquer ici.

#### 1.3.1 Un besoin en données nombreuses et hétérogènes

Le besoin en données de ce type de modèle (intégré) est très important en paramétrage d'entrée (description de chacun des systèmes - agricole, hydrologique et de gestion) et en forçage (météo, et éventuellement débits d'amont). Outre la nature hétérogène des données du fait de l'intégration de processus divers, ces données sont également nombreuses en raison du choix de résolution fine et d'exhaustivité.

Pour illustrer le caractère hétérogène des données nécessaires, on peut distinguer :

- Des données génériques, facilement disponibles pour la France entière (ex. données sur les sols issues de la BDGSF<sup>3</sup>, données météorologiques SAFRAN<sup>4</sup>, données de cultures du RPG<sup>5</sup>), vs. des données locales (ex. ouvrages de prélèvements, retenues).
- Des données disponibles selon des maillages et résolutions différents : ex. les sols cartographiés au 1/1 000 000, les points de prélèvements localisés au centroïde des communes ; etc.

Pour pouvoir appréhender la diversité de ces données, il a été nécessaire d'inclure dans la plateforme MAELIA, en plus du simulateur évoqué ci-dessus, un ensemble de codes informatiques (prétraitements) qui permettent de mettre en cohérence ces données issues de sources et de formats divers.

Si la question technique de la mise au format des données a pu être résolue, il n'en reste pas moins d'autres problèmes :

- **Disparité de l'information** : par ex. des bases de données génériques à des formats standardisés, avec une grande profondeur historique, vs. des bases de données locales naissantes donc peu structurées ; cette disparité rend non pérennes les codes de prétraitements du fait du caractère évolutif de la structure de certaines bases de données et limite la période possible de simulation du fait des hétérogénéités entre bases des périodes de recueil des données ;
- **Propriété intellectuelle** : selon les types de données et leur provenance, les droits d'accès sont variables, ce qui rend le modèle inutilisable à certains utilisateurs potentiels.

<sup>3</sup> Base de Données Géographique des Sols de France

<sup>4</sup> [http://www.cerfacs.fr/~page/publications/report\\_cerfacs\\_scenarii\\_safran\\_format.pdf](http://www.cerfacs.fr/~page/publications/report_cerfacs_scenarii_safran_format.pdf)

<sup>5</sup> Registre Parcellaire Graphique : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/registre-parcellaire-graphique-rpg-contours-des-parcelles-et-ilots-cultureux-et-leur-groupe-de-cultures-majoritaire/>

Pour faciliter l'accès aux données génériques, il est envisagé de rassembler celles-ci sur un portail web, avec des mises à jour annuelles, et proposer des extractions semi-automatiques. Concernant les bases de données locales, il est important d'en assurer le stockage (pour assurer leur pérennité) sous un format défini qui pourra être repris aisément sur de nouveaux territoires n'ayant pas encore collecté ce type de données. Un prototype, le SI BAG (Système d'Information pour le Bassin Adour-Garonne), a été développé et installé sur le portail de l'ODR (Observatoire du Développement Rural, unité de service INRA).

Pour surmonter le problème de l'accès aux données brutes par certains utilisateurs à cause de problèmes de propriété intellectuelle, il est envisagé de proposer directement une extraction et un prétraitement des données sur le portail, ce qui permettrait de ne délivrer à ces utilisateurs que des données transformées, donc sans limitation d'accès.

### **1.3.2 Pallier les données manquantes**

De nombreuses données nécessaires sont souvent inexistantes sur les territoires étudiés. C'est souvent le cas des données de caractérisation et localisation des retenues, et systématiquement le cas pour les données sur les rotations culturales, les opérations techniques et les équipements d'irrigation. Il est donc nécessaire de les acquérir.

Pour cela nous recourrons à l'hybridation de données existantes (partielles) avec les connaissances expertes d'acteurs locaux, en mobilisant éventuellement des outils de médiation (ex : cartes de sols, statistiques sur les assolements, schéma conceptuel de la décision technique (Rizzo et al., soumis) et/ou des outils de traitement statistique (ex : entropie croisée, Clavel et al., 2011).

### **1.3.3 Avoir accès efficace à un simulateur fiable**

L'utilisation d'un modèle intégré pour aider le choix des acteurs locaux quant aux modalités à mettre en œuvre pour la gestion de l'eau et du territoire suppose que ce modèle soit digne de confiance, c'est-à-dire qu'il produise des sorties cohérentes au regard des connaissances expertes et des données observées sur le fonctionnement de ce territoire.

Nous n'allons pas ici dissenter sur la difficulté à « valider » un modèle complexe comme MAELIA alors que les données accessibles sont elles-mêmes partielles et ne correspondent pas exactement aux sorties simulées par le modèle.

Le processus de validation d'un modèle complexe est d'autant plus long que ce modèle est en constante évolution du fait que l'application à de nouveaux territoires et de nouvelles questions est l'occasion d'identifier des bugs et de développer de nouvelles fonctionnalités. L'enjeu est alors, pour un utilisateur lambda, de savoir à tout moment quelle est la version validée du modèle qui lui convient, d'y avoir accès, de savoir si des modifications (debugages, développements) y sont apportées. Pour cela, l'équipe de développement de MAELIA utilise une forge logicielle : SourceSup (réseau RENATER). Cet outil permet de gérer les différentes versions du code, de les mettre à disposition des utilisateurs et de tracer les bugs et demandes d'évolution.

Enfin, pour une utilisation efficace du simulateur (réduction des temps de calcul) et économique (limitation des coûts d'achat et de maintenance informatique), nous souhaitons rendre ces versions validées de MAELIA lançables sur des serveurs à distance (ex : sur France-Grilles).

### **1.3.4 Etre en mesure de lancer les simulations aisément pour répondre aux besoins de gestion**

Pour rendre l'utilisation du modèle aisée, c'est à dire faciliter son instanciation (description du territoire d'étude, spécification des scénarios envisagés), son lancement (simulation de la situation de référence et des scénarios) et l'analyse des sorties, une interface utilisateur s'avère nécessaire.

Une telle interface a été développée dans le cadre du projet SIMULTEAU pour aider les OUGC à simuler l'effet de différentes options (scénarios) de répartition des volumes d'eau entre agriculteurs (Lacroix et al., 2018). Cette interface (Figure 2) permet de spécifier :

- Les données du territoire : météo, sols, occupation du sol et assolements agricoles, données économiques, cours d'eau, retenues d'eau, points de prélèvements d'eau.
- Les volumes d'irrigation, selon différentes clés de répartition : zonage climatique, autre découpage territorial, nature de la ressource en eau (rivière, retenue, nappe), type de sol, type de culture, etc.
- Les modalités de gestion du périmètre élémentaire, c'est-à-dire les règles régissant les restrictions de prélèvements et les lâchers des retenues de soutien d'étiage.
- Les simulations à réaliser : années climatiques de simulation, choix des modules du simulateur.
- Les sorties à produire pour l'évaluation des différents scénarios de répartition du volume prélevable et/ou de gestion. Les sorties comprennent : les prélèvements d'irrigation (volume et débits de prélèvements dans le temps) à différentes échelles spatiales, les débits des cours d'eau, les niveaux de restriction, les productions et rendements et les résultats économiques (échelles exploitation et territoire). Plusieurs modes de représentation des sorties sont proposés.

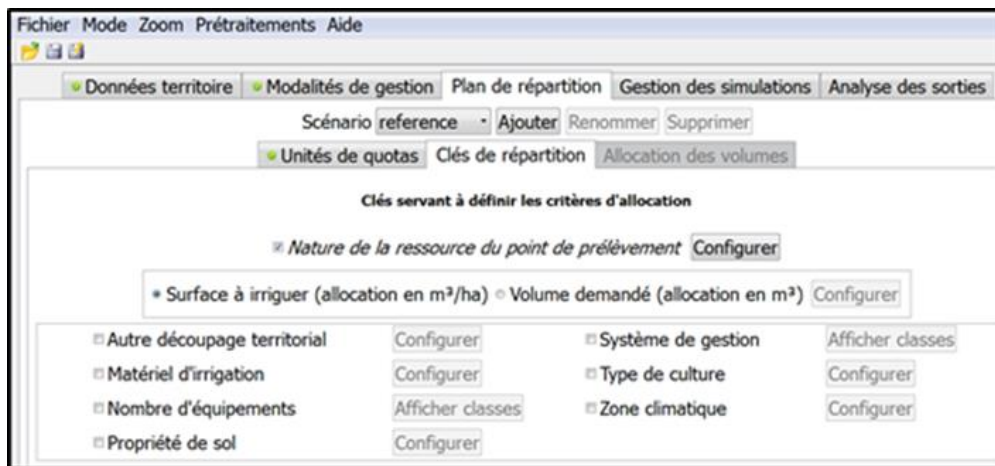


Figure 1 : Interface SIMULTEAU

## 2. A court terme : anticiper les besoins et gérer l'eau

### 2.1 Les enjeux

Dans un contexte de volume stocké limité, le défi pour le gestionnaire est de réguler les lâchers de barrages afin de satisfaire les demandes des agriculteurs et les consignes de débit minimal à l'aval de points de référence, en minimisant les volumes « perdus », c'est-à-dire les débits qui dépassent le DOE du dernier seuil de mesure à l'aval du système.

En pratique, aux environs du mois de mai, les gestionnaires font le point sur les ressources disponibles pour la campagne pour pouvoir répartir les volumes autorisés (VP), éventuellement revus à la baisse si le remplissage des réserves est incomplet, entre les différents usagers. Ensuite, le gestionnaire va chercher à affiner sa connaissance des besoins réels à venir pour anticiper d'éventuelles situations de crise. Pour cela, il doit 1) évaluer les demandes (qui dépendent des cultures en place et des choix stratégiques des agriculteurs) juste avant et régulièrement au cours de la campagne et 2) gérer l'adéquation offre-demande en temps réel. La cartographie des surfaces irriguées par télédétection et les compteurs communicants contribuent à ces deux missions.

## 2.2 Evaluer les demandes en eau et leur répartition spatiale

Le volume total d'eau nécessaire et sa répartition dans le temps (notamment démarrage, pic, arrêt) dépendent des espèces cultivées et des itinéraires techniques qui leur sont appliqués, en particulier les dates de semis et de récolte ainsi que la conduite de l'irrigation. La connaissance des opérations techniques, on l'a déjà vu précédemment, constitue un réel verrou, surtout à court terme, et la simulation de règles de décisions basées sur la connaissance des pratiques observées par culture les années précédentes semble aujourd'hui la meilleure option. Mais encore faut-il savoir où sont implantées ces cultures et si elles peuvent bénéficier de l'irrigation. En effet, la répartition spatiale des cultures et des ressources en eau mobilisées pour les irriguer influence la dynamique de réalimentation des cours d'eau par le gestionnaire. Ainsi une sole maïs avec prélèvements directs en rivière concentrée à l'amont d'un bassin n'aura pas le même impact que la même surface cultivée de façon homogène sur l'ensemble du territoire avec une ressource en eau « rivière + nappe + retenues collinaires déconnectées ». La connaissance de l'extension réelle des surfaces potentiellement irriguées permet d'évaluer a priori une demande en eau théorique de façon plus fine qu'avec une estimation statistique de ces surfaces.

Cependant, la connaissance des assolements et des surfaces irriguées sur un grand territoire n'est pas simple à appréhender du fait de la variabilité des choix cultureux (cultures et pratiques) entre agriculteurs et même entre parcelles pour un agriculteur donné. Des bases de données existent, mais ont leurs limites. Par exemple, le RPG n'est disponible que tardivement (bien après la campagne d'irrigation), certaines cultures n'y sont pas incluses, car non concernées par les aides PAC, et la pérennité de la base est dépendante des aides PAC. Aussi, la télédétection a un rôle fondamental à jouer dans ce contexte. Cet article illustre l'apport des images satellitaires pour la cartographie des assolements et des surfaces irriguées s'appuyant sur les travaux conduits notamment dans les projets MAISEO<sup>6</sup> et Simulteau.

### **2.2.1 Cartographie des assolements et surfaces irriguées par télédétection**

La cartographie des assolements par télédétection est basée sur l'analyse de la signature spectrale de la réflectance des couverts mesurée grâce à des capteurs embarqués. La signature spectrale de la végétation varie selon la culture, son stade de développement, et en fonction des stress subis (dont le stress hydrique qui lui-même dépend de l'apport d'eau – pluie ou irrigation – et des capacités de stockage du sol). Ainsi, l'utilisation de mesures de réflectances multi-temporelles (acquises à différentes dates) permet de discriminer les cultures qui ont des calendriers cultureux et des comportements spectraux (liés à leur activité physiologique) différents. La difficulté méthodologique majeure provient de la difficulté à caractériser les signatures spectrales de chaque type de culture qui présentent de fortes variabilités spatio-temporelles. Cette variabilité est due aux stress subis résultant des caractéristiques morphopédologiques (sol, pente, exposition) et des pratiques agricoles (irrigation, protection phytosanitaire, fertilisation) variant d'une parcelle à l'autre.

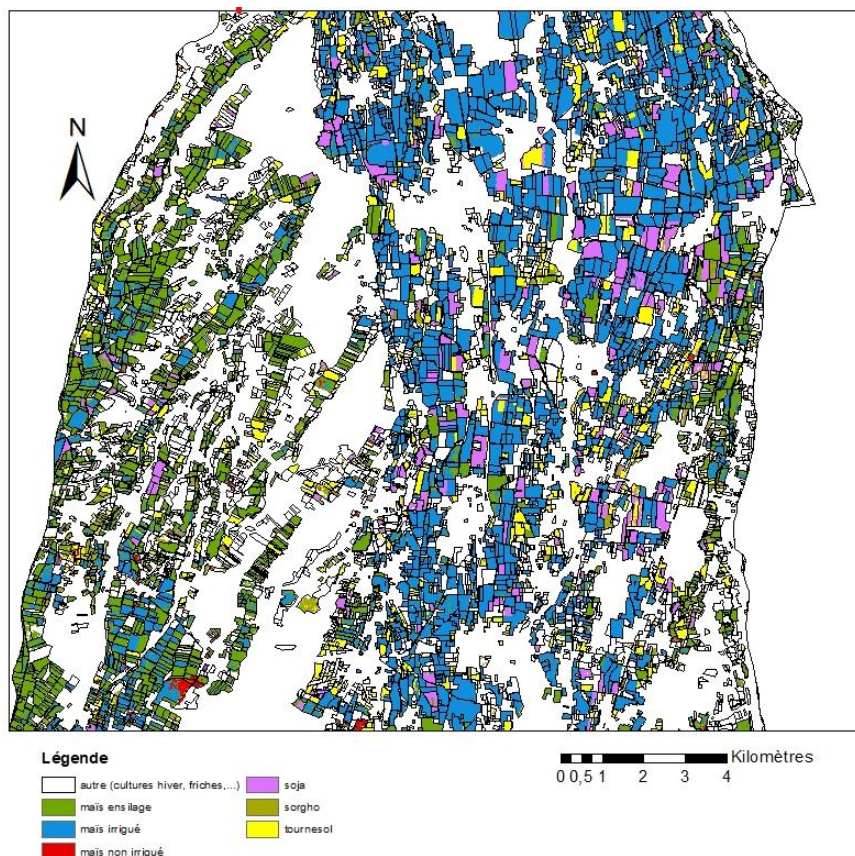
Les méthodes utilisées pour produire ces cartes reposent sur des algorithmes de classification. Il existe deux types d'approches : supervisées et non supervisées. Les approches non supervisées conduisent à des résultats peu robustes et ne sont donc que très peu utilisées. Les approches supervisées conduisent à de meilleurs résultats à condition de disposer de données in situ (information sur le type de cultures, irrigué ou non) permettant de réaliser l'apprentissage et la validation des modèles de classification. Parmi les modèles les plus fréquemment utilisés actuellement, on trouve les arbres de décision (Inglada, 2016, 2017). Cette méthode repose sur une approche dite hiérarchisée. Elle nécessite moins de données d'entrée que les autres méthodes (Support Vector Machine, Maximum Likelihood, ...) pour des performances comparables voire meilleures. La précision des cartes obtenues

<sup>6</sup> <http://www.pole-eau.com/Les-Projets/Projets-innovation-finances/Maiseo>



dépend donc du modèle de classification utilisé, de la quantité et de la qualité des données in situ disponibles et du nombre et du type d'images utilisées en entrée du classifieur. Ces deux facteurs (nombre et type d'image) dépendent respectivement du satellite utilisé (passant avec une fréquence donnée) et du capteur embarqué. Les précisions des cartes ont donc fortement évolué au cours du temps et continuent d'évoluer avec l'arrivée de nouveaux capteurs.

Les cartes de surfaces irriguées produites à partir d'images LANDSAT8 et SPOT4 et 5 ont donné des résultats encourageants, mais avec des précisions inégales pouvant varier de 60 à 90% selon les cultures et les années (Battude, 2017). Une part des incertitudes observées était due à la faible répétitivité temporelle (1 image par mois) des capteurs utilisés pouvant induire de longues périodes (jusqu'à 2 mois) sans images exploitables à cause de la présence de nuages. Nous avons également montré qu'il était possible de produire une cartographie des cultures d'été (sans distinction du type de culture) (Marais-Sicre, 2016) dès le mois de mai. Les cartes permettant de distinguer les principales cultures (maïs, tournesol, soja) peuvent être produites dès fin juin, et à partir de fin juillet, il est possible de faire la distinction entre le maïs irrigué et non irrigué avec une précision d'environ 65%. Cette précision s'améliore bien évidemment au fur et à mesure de l'exploitation de nouvelles images pour atteindre une valeur de 90% courant septembre. Depuis 2017, le programme spatial européen Sentinel fournit en accès libre et en temps réel des images optique (Sentinel 2) et radar (Sentinel 1) acquises tous les 5 jours, sur l'ensemble du globe avec une résolution spatiale d'environ 10 m. La disponibilité en temps réel de ces images va permettre de produire des cartes en cours de saison avec des informations qui s'enrichissent tout le long de la campagne d'irrigation (Figure 3).



**Figure 3** : Carte des cultures irriguées du BV de l'Adour-Amont obtenue à partir de 20 images Sentinel2 acquises entre mars et octobre 2017 (projet Simulteau, <http://www.theia-land.fr/fr/produits/cartes-cultures-ete>).

Ainsi, grâce à la télédétection, le gestionnaire a une vision de plus en plus précise de la localisation des demandes en eau futures pour gérer plus finement la ressource disponible, ce qui est de plus en plus crucial au fur et à mesure du déroulement de la campagne. En corollaire, les situations de crise peuvent être mieux anticipées et leurs impacts pour la production agricole ou l'environnement sensiblement réduits. Les travaux de recherche sont donc consacrés à la réduction des délais d'obtention des cartes décrites ci-dessus. Notons que les informations acquises en fin de campagne seront capitalisées pour enrichir les cartographies théoriques pour les campagnes futures.

### **2.2.3 Contraintes et problèmes soulevés**

Plusieurs problèmes ou contraintes sont associés à ce type d'approche.

Premièrement, la précision des approches basées sur l'utilisation d'images dépend de la quantité d'images exploitables. Or certaines zones du territoire sont observées trop peu fréquemment par les capteurs optiques en raison de la couverture nuageuse. De plus, certaines classes d'occupation des sols sont difficilement séparables avec des images acquises uniquement dans le spectre visible et infrarouge. Dans ces 2 situations, l'utilisation d'images radar, indépendantes de la couverture nuageuse et avec une physique de la mesure différente, peut aider à améliorer la reconnaissance des cultures. La complémentarité des images radar (Sentinel1) et optique (Sentinel 2) offre donc de nouvelles perspectives, en améliorant la distinction des cultures (Inglada, 2016) et de leur caractère irrigué ou non (Ferran, 2017) et ce quelles que soient les conditions météorologiques.

Deuxièmement, l'acquisition de données terrain est indispensable pour la mise en œuvre des approches supervisées et pour la validation des méthodes développées. Les bases de données adhoc font malheureusement souvent défaut ou sont difficilement accessibles et l'acquisition directe est coûteuse en temps et main d'œuvre.

Enfin une dernière série de contraintes est liée à l'importante quantité de données à traiter. Une année d'acquisition Sentinel-2 fournit 72 produits d'environ 1Go chacun (10 images par produit, tous les 5 jours). Idem pour les images Sentinel1. La gestion de l'espace de stockage et du temps de traitement est donc un verrou majeur pour l'exploitation de ces données. Des travaux de recherches sont en cours afin de trouver de nouvelles solutions de stockage telles que le cloud computing et d'évaluer des méthodes de classification basées sur le deep learning pour diminuer les temps de traitement.

Le libre accès aux images Sentinel et la politique de développement de logiciels libres telle que celle menée au CESBIO permettent d'envisager le transfert des méthodes vers les gestionnaires. Une partie de ces méthodes a d'ailleurs déjà été transférée, avec succès, à la CACG, dans le cadre du projet MAISEO.

## *2.3 Gérer l'adéquation offre-demande en temps réel*

Dans les systèmes d'irrigation à la demande, chaque agriculteur décide du moment opportun pour irriguer. La régulation des ouvrages est définie par anticipation du calendrier de prélèvement de tous les agriculteurs, en tenant compte des temps de transfert de l'eau – plusieurs dizaines d'heures parfois (et même quelques jours) selon la longueur du cours d'eau – entre le barrage et ces points de pompage.

Demander aux agriculteurs de prévenir qu'ils vont irriguer est illusoire, car ils sont débordés. Faire relever les index de tous les irrigants plus d'une fois dans la saison serait trop coûteux. À défaut de mesure directe, les gestionnaires doivent se contenter d'approximations des règles de conduite des agriculteurs, par l'analyse *a posteriori* de chroniques de prélèvements de panels d'irrigants, de modèles calculant les besoins des cultures et de retours d'expérience. Historiquement, l'efficacité de cette approche, mesurée par le pourcentage de volumes perdus par rapport aux lâchers, a connu deux grandes phases de progrès. L'équipement des cours d'eau de différents points de mesure du débit a

permis d'arriver à 50% d'efficacité. Avec la connaissance de la météo (image radar antilope), l'anticipation de la spatialisation des arrêts et redémarrages d'irrigation s'est affinée (80% d'efficacité). Un progrès supplémentaire pourrait être obtenu par la connaissance journalière et spatialisée des prélèvements. C'est ce qui motive l'introduction des compteurs communicants qui devrait permettre d'aboutir à une efficacité supérieure à 85 voire 90%.

### **2.3.1 Le compteur communicant**

Les premiers compteurs communicants sont apparus sur le marché il y a une dizaine d'années, mais leur diffusion est restée marginale, pour des raisons de coûts d'investissement, de fonctionnement (abonnement pour la télétransmission) et d'autonomie du système (consommation élevée affectant la durée de vie des piles). De nouveaux compteurs ultrasoniques robustes, fiables, peu coûteux connectés au réseau Sigfox et faiblement consommateurs (plusieurs années d'autonomie des piles) sont disponibles, comme celui développé par la CACG avec l'entreprise Yzatec<sup>7</sup>. Ils mesurent le débit instantané avec une précision de 2% (contre 5 à 15 % pour les compteurs mécaniques) et le transmettent 1 fois par jour avec la consommation des dernières 24 h. L'agriculteur peut lire le débit instantané sur le compteur et a accès via internet à l'historique de ses consommations et de son reste à consommer.

Cette innovation n'est pas sans effet social, car elle modifie assez profondément les rapports entre l'utilisateur et le gestionnaire du réseau, comme cela est déjà largement documenté pour les systèmes énergétiques et plus récemment pour l'eau potable (Boyle et al., 2013), notamment en France (Montginoul et Vestier, 2016). Pour ces auteurs, les réticences des usagers relèvent de 4 catégories : 1) les doutes sur la qualité de la mesure, 2) la sécurité et l'innocuité des moyens utilisés pour transmettre les index, 3) la manière d'analyser les données et les usages qui en sont faits et 4) les bénéfices pour l'abonné, notamment quand il doit assumer le coût de ce nouveau comptage. Se pose aussi la question de l'éthique de cette surveillance façon « big brother is watching you », accentuée en cas de publicisation des abonnés « vertueux » vs « gaspilleurs » (Giurco et al., 2010).

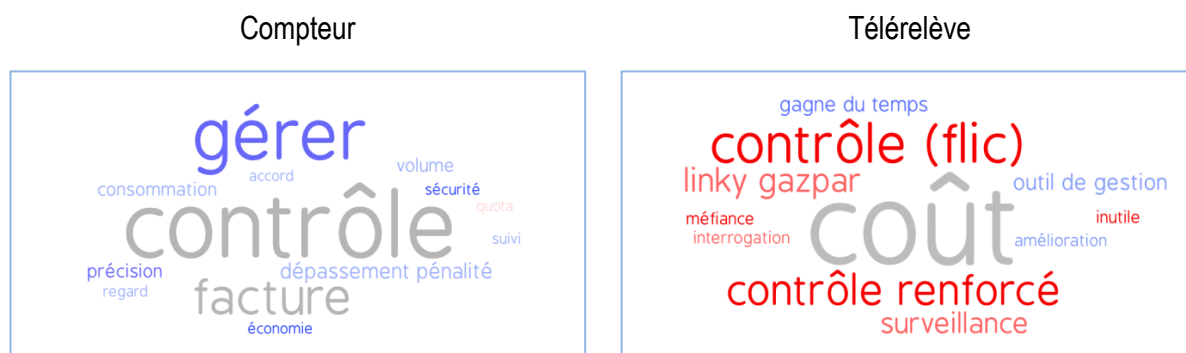
Un travail exploratoire a été mené par Irstea et la CACG pour identifier le point de vue des irrigants sur l'installation de tels compteurs communicants pour l'irrigation, sur le bassin du Louts équipé d'un barrage-réservoir en amont. Ce dernier nécessite une gestion fine des lâchers pour assurer la couverture des demandes en eau des irrigants jusqu'en fin de campagne. Des enquêtes individuelles et 3 ateliers avec des groupes d'agriculteurs ont révélé leurs réticences et leurs conditions au déploiement de ces compteurs.

### **2.3.2 Contraintes et problèmes soulevés**

Suite à une enquête inspirée des démarches de psychosociologues pour caractériser les représentations sociales d'un objet (Montginoul et Vestier, 2016), il apparaît (Figure 4) que les agriculteurs voient le compteur comme un mal nécessaire pour la gestion du système afin d'assurer, par un contrôle *a posteriori* le respect des règles collectives et le paiement de l'eau, dans une relation de confiance *a priori* avec le gestionnaire.

La télérelève, outre son coût supplémentaire, introduit la suspicion généralisée et permanente sur les consommations individuelles. Les agriculteurs doutent de la fiabilité des mesures. Ils craignent des constats d'infractions sur les débits et plus seulement sur les volumes, puis la mise au ban des contrevenants par une diffusion incontrôlée des données.

<sup>7</sup> <http://www.yzatec.com/fr/compteurs-d-eau-pour-l-agriculture>



**Figure 4** : Réponses des agriculteurs soumis à la consigne « quels sont les trois mots qui vous viennent à l'esprit quand on évoque le compteur/la télérelève ; ordonnez-les du plus important au moins important et précisez sur une échelle de -3 à +3 le caractère positif ou négatif de cette image ». La taille de caractère est proportionnelle à la fréquence d'apparition, les mots en bleu sont connotés positivement, en gris pour les neutres, en rouge pour les connotations négatives (tiré de Montginoul et al. 2018).

Pour dépasser ces réticences et renouer la confiance entre agriculteurs et gestionnaires de la ressource, nous avons mis en débat 4 modifications de règles de gestion qui pourraient accompagner le déploiement des compteurs communicants, afin que les irrigants y trouvent un intérêt direct ou indirect, au-delà d'une efficacité accrue de la gestion du barrage. Ces alternatives traduisent ce que nous avons retenu de leurs contraintes (Abannar, 2018) :

- Deux modifications valoriseraient effectivement le compteur communicant :
  - Le démarrage du décompte du quota d'eau le jour effectif du lâcher de barrage ;
  - Une bourse d'échanges entre agriculteurs des volumes d'eau non consommée ;
- Deux autres, indépendantes du compteur communicant, corrigeraient des inégalités d'un système de quota jugé obsolète par certains, car hérité d'un système figé depuis 20 ans.
  - Une mise à jour des souscriptions, avec un volume global par exploitation et par saison et abandon des limitations en débit d'équipement ;
  - Une tarification optionnelle, pour tenir compte de la variabilité spatiale des besoins ;

Ces 4 options ont été approuvées dans leur principe à plus de 80% par les participants, avec des nuances entre les agriculteurs sur sols superficiels ou profonds, gagnant ou perdant selon les cas. Toutefois, les agriculteurs exigent de pouvoir débattre des modalités concrètes de ces principes pour se prononcer, dans le cadre d'une assemblée générale pour accueillir l'expression de tous.

Les réserves exprimées par les irrigants sont en accord avec ce qui a été observé sur le déploiement des compteurs communicants pour l'eau potable ou l'énergie. La recherche d'un gain perceptible pour les usagers et pas seulement pour le gestionnaire de la ressource peut-être un moyen de lever ces réticences, quitte à remettre à plat les règles du système qui ne sont pas directement liées au comptage, mais sont jugées inéquitables par les usagers.

## Conclusion

Au travers de trois exemples (modèle intégré, données satellitales, compteurs communicants), nous voyons tout l'intérêt du numérique pour la gestion de l'eau à des temps-clé de la décision, mais aussi les problèmes techniques et réticences humaines à surmonter.

La modélisation peut être un outil puissant à disposition des décideurs, notamment pour évaluer l'impact de scénarios d'aménagement et de gestion contrastés. Cependant, ces modèles restent une

simplification d'un système complexe et sont paramétrés avec des données de qualité variable. Ils ne sauraient se substituer aux nécessaires débats économiques, sociaux et in fine politiques, mais peuvent les alimenter. Dans le cas de MAELIA, il a fallu un partenariat suivi avec les acteurs du bassin aval de l'Aveyron pour que les sorties de ce modèle complexe soient acceptées et constituent un support utile à la réflexion dans le cadre d'une démarche prospective rassemblant des acteurs aux enjeux divergents (Allain et al., 2018).

L'utilisation d'images de télédétection à haute résolution spatiale et temporelle revêt un intérêt majeur pour le suivi des cultures et la gestion des ressources en eau ; elle permet d'enrichir l'information sur l'état du système non pas en moyenne, mais réellement pour l'année en cours et en tenant compte des hétérogénéités spatiales. L'anticipation des aléas et la maîtrise des risques en deviennent ainsi largement facilitées.

Enfin, l'exemple des compteurs communicants montre là encore que la technologie et le numérique permettent un grand pas dans la connaissance de l'état réel du système géré (et non plus seulement une connaissance théorique ou statistique). En revanche, l'intrusion des objets connectés dans la vie quotidienne pose clairement des questions d'acceptabilité sociale, voire économique. Le facteur humain n'est donc certainement pas à négliger pour rendre effectifs les atouts du numérique.

## Remerciements

Les travaux évoqués dans cet article ont bénéficié du concours des nombreux partenaires des projets évoqués, notamment Arvalis, la CACG, le CESBio, la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie, les Chambres d'Agriculture du Gers, des Hautes Pyrénées et du Tarn, l'INRA, MétéoFrance, Pioneer, Vivadour. Ces projets ont bénéficié des soutiens financiers de l'AEAG, du BPI, du FEDER, du CASDAR, de la Région Midi-Pyrénées et de l'ONEMA. Les collègues ayant rendu possible cet article par leur travail sont nombreux et il est impossible de tous les citer. Les auteurs tiennent cependant à remercier O. Therond et R. Lardy (INRA) et Bernard Lacroix (Arvalis) qui ont été en première ligne dernièrement dans le développement et l'utilisation de MAELIA ; C. Marais-Sicre, M. Battude, F. Helen, F. Baup et J. Inglada, du CESBio, pour leur contribution aux travaux sur la cartographie des cultures ; et D. Lepercq et K. Abannar (CACG) et M. Montginoul (Irstea) pour le travail sur les compteurs communicants.

## Références bibliographiques

- Abannar K., 2018. Acceptabilité du compteur à télérélevé pour l'irrigation : une étude de la perception des facteurs favorisant l'engagement des irrigants au service de la télérélevé - cas du bassin du Louts en France IAMM-CIHEAM
- Allain S., Plumecocq G., Leenhardt D., 2018. Post-normal science in practice: a method proposal and its application to agricultural water management. 13th European IFSA Symposium, 1-5 July 2018, Chania (Greece), 20p.
- Battude M., 2017. Estimation des rendements, des besoins et consommations en eau du maïs dans le Sud-Ouest de la France: apport de la télédétection à hautes résolutions spatiale et temporelle. 130p, Thèse UPS.
- Boyle T., Giurco D., Mukheibir P., Liu A., Moy C., White S., Stewart R., 2013. Intelligent metering for urban water: a review. *Water*, 5, 1052-1081.
- Clavel L., Soudais J., Baudet D., Leenhardt D., 2011. Integrating expert knowledge and quantitative information for mapping cropping systems. *Land Use Policy* 28: 57-65.
- Debril T., Therond O., 2012. Les difficultés associées à la gestion quantitative de l'eau et à la mise en œuvre de la réforme des volumes prélevables : le cas du bassin Adour-Garonne. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2 (2), 127-139.

Ferrant S., Selles A., Le Page M., Herrault P.-A., Pelletier C., Al-Bitar A., Mermoz S., Gascoin S., Bouvet A., Saqalli M., Dewandel B., Caballero Y., Ahmed S., Maréchal J.-C., Kerr Y., 2017. Detection of Irrigated Crops from Sentinel-1 and Sentinel-2 Data to Estimate Seasonal Groundwater Use in South India. *Remote Sensing*, 9, 1119.

Gaudou B., Sibertin-Blanc Ch., Therond O., et al., 2013. The MAELIA multi-agent platform for integrated assessment of low-water management issues. In: International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation - MABS 2013, 6-7 May 2013 (Minnesota, United States).

Giurco D.P., White S.B., Stewart R.A., 2010. Smart metering and water end-use data: Conservation benefits and privacy risks. *Water*, 2, 461-467.

Inglada J., Vincent A., Arias M., Marais-Sicre C., 2016. Improved early crop type identification by joint use of high temporal resolution sar and optical image time series. *Remote Sensing*, 8, 362.

Inglada J., Vincent A., Arias M., Tardy B., Morin D., Rodes I., 2017. Operational high resolution land cover map production at the country scale using satellite image time series. *Remote Sensing*, 9, 95.

Lacroix B., Lardy R., Murgue C., Eza U., Leenhardt D., 2018. SIMULTEAU : un outil pour la gestion collective de la ressource en eau par les Organismes Uniques. Phloème : 1ères biennales de l'innovation céréalière. Paris, 24-25 janvier 2018. 7p

Marais-Sicre C., Inglada J., Fieuzal R., Baup F., Valero S., Cros J., Huc M., Demarez V., 2016. Early Detection of Summer Crops Using High Spatial Resolution Optical Image Time Series, *Remote Sensing*, 8, 591.

Montginoul M., Vestier A., 2016. La télérelève des compteurs d'eau: nouveau service ou nouveau gadget numérique? *Techniques Sciences Méthodes*, 17-32.

Montginoul M., Lepercq D., Garin P., Abannar K., 2018. Acceptabilité du compteur à télérelève. Perception et facteurs favorisant l'engagement des irrigants. Cas du bassin du Louts, 97ème congrès de l'ASTEE: Marseille, pp. 131-132

Rizzo D., Therond O., Lardy R., Murgue C., Leenhardt D., 2017. A rapid, spatially explicit approach to modeling cropping systems at the regional scale. *Soumis à Agricultural Systems*.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).