

# Exemple d'utilisation de SIG dans un projet de recherche sur la gestion quantitative de l'eau d'irrigation sur un bassin versant

Denis Baudet<sup>1</sup>, Delphine Leenhardt<sup>1</sup>

**Résumé.** L'objet de cet article est d'illustrer un cas d'utilisation de SIG (système d'information géographique) pour spatialiser des données d'origine hétérogène dans le cadre d'un projet de recherche sur la gestion quantitative de la ressource en eau dans une zone de grandes cultures irriguées en Midi-Pyrénées. Dans cette région, la récurrence de situations de crise en période d'étiage pose la question de l'opportunité de modifier les systèmes de culture des territoires concernés. La recherche conduite visait à outiller le gestionnaire de la ressource dans leur activité prospective en tenant compte des points de vue des divers acteurs de terrain. Plus spécifiquement, elle a consisté à développer un prototype d'outil facilitant la construction et l'évaluation de scénarios d'usage du sol (et plus précisément, de systèmes de culture) avec les acteurs des territoires concernés. Le territoire d'étude retenu, situé dans les coteaux de Gascogne (Midi-Pyrénées) correspond à l'ensemble des bassins versants (8 000 km<sup>2</sup>) des rivières réalimentées par le Canal de la Neste. Dans cet article, nous nous attachons à lister la diversité des données mobilisées (météorologie, carte des sols, enquête RGA-recensement général agricole-, dire d'expert,...), à des échelles et emprises géographiques différentes, à poser les problèmes d'intégration de ces données et à exposer les solutions de spatialisation retenues. Les difficultés rencontrées émanaient du fait que les informations nécessaires devaient être obtenues par croisement de données qui n'étaient pas toutes spatialisées. La démarche et la construction de ce prototype (SPACSS-SPAtial Crop System Scenarii builder and evaluator) a fait l'objet d'un travail de doctorat qui a mobilisé des informaticiens.

**Mots clés :** base de données, hétérogénéité des données, spatialisation, SIG, Coteaux de Gascogne

## Introduction

Pour mettre en œuvre des politiques publiques impactant l'occupation du sol par les cultures, il est utile de décrire la distribution spatiale des systèmes de culture du territoire étudié, d'en construire des alternatives et de les évaluer.

Ainsi, la proposition gouvernementale d'augmenter significativement les surfaces en agriculture biologique (Barnier, 2009) ou la proposition de diminution des surfaces irriguées faite par les opposants à la construction du barrage de Charlas (Mandement, 2004) sont deux exemples pour lesquels les décideurs politiques doivent se poser les questions suivantes : où faut-il favoriser l'implantation de l'agriculture biologique / supprimer des surfaces irriguées ? Comment prendre en compte le point de vue des différents acteurs du territoire pour instruire cette question ?

Pour aider ces décideurs, un travail de Doctorat (Clavel, 2010) a été conduit dans le sud-ouest de la France, où les problèmes de pénurie d'eau sont récurrents et fortement liés aux choix de systèmes de cultures. Ce travail a permis d'initier le développement d'un outil permettant aux utilisateurs (différents porteurs d'enjeu d'un territoire) de représenter et d'évaluer leurs visions sur les distributions de systèmes de cultures qui leur semblent *a priori* souhaitables ou probables dans un contexte donné (Clavel et al., 2012). L'outil comporte quatre éléments essentiels : 1) une description du territoire d'étude en termes de distribution des systèmes de culture et de leurs facteurs de localisation (sols, types d'exploitation, etc.), il s'agit de la « **situation de référence** », 2) une interface pour construire une distribution alternative à la situation de référence, 3) un simulateur pour calculer des variables estimant l'impact de la distribution initiale ou alternative des systèmes de culture, 4) une interface pour construire des indicateurs adaptés aux besoins de l'utilisateur, par agrégation d'une ou plusieurs variables produites par le simulateur sur des unités spatiales adaptées.

1 INRA, UMR 1248 AGIR CS 52627, F- 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France ; Denis.Baudet@toulouse.inra.fr

Dans cet article, nous nous intéresserons au premier élément, la description de la situation de référence (Clavel et al., 2011), qui prend la forme d'une base de données géoréférencée, construite et stockée avec un SIG (système d'information géographique). Nous présenterons d'abord les données qui la composent, puis nous expliquerons en quoi la simple juxtaposition de ces données était insuffisante pour répondre aux besoins de l'outil développé. Nous exposerons ensuite la méthode que nous avons utilisée pour combiner ces données. Enfin nous concluons en présentant les perspectives d'évolution des recherches sur cet outil en lien avec les nouvelles données géographiques disponibles.

## La zone d'étude et les données utilisées pour la décrire

### La zone d'étude

Le territoire d'étude, situé en Midi Pyrénées au sud de la Garonne, s'étend sur 8 000 km<sup>2</sup>, du sud du plateau de Lannemezan à la plaine de la Garonne. Il est centré sur la ville d'Auch chef-lieu du Département du Gers qui recouvre près de 80 % de cette zone d'étude (**Figure 1**). D'un point de vue climatique, ce territoire est influencé à l'est par le climat méditerranéen, à l'ouest par le climat océanique et au sud par la présence des Pyrénées : on y observe donc des gradients de températures et de précipitations, ces dernières subissant une forte variabilité annuelle et interannuelle. La région est en moyenne marquée par des hivers pluvieux et des étés secs : de mai à octobre, les précipitations sont insuffisantes pour combler l'évapotranspiration. (**Figure 2**).



Figure 1. Le territoire d'étude : système NESTE, (géoportail, BD Ortho, BD Carto- IGN).

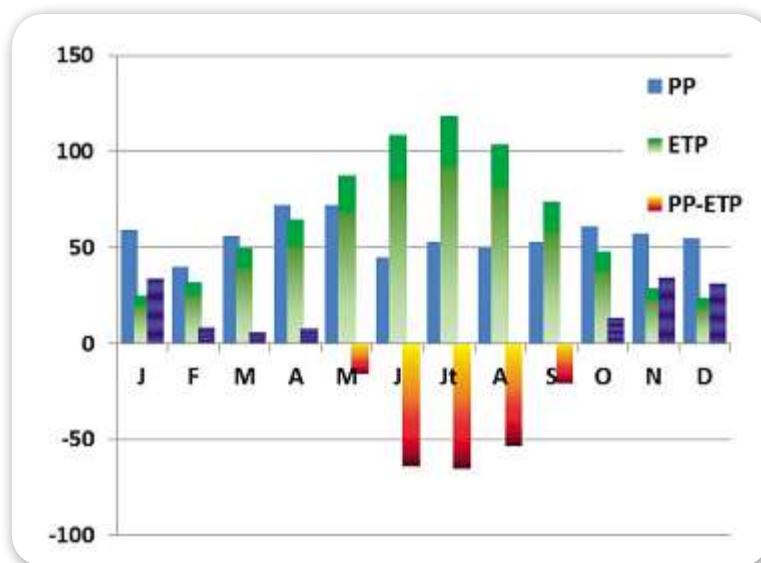


Figure 2. Précipitations (en mm) et ETP (moyennes mensuellement à Auch, 1998-2008).

D'après les données du recensement général agricole (Agreste, 2002), ce territoire comprend 9225 exploitations pour une SAU (surface agricole utile) de 523 982 ha. L'assolement de cette zone est principalement constitué de grandes cultures (63 % de la SAU), de prairies et cultures fourragères (19 %) (Soudais, 2008). Une agriculture irriguée a pu se développer au fil des ans grâce à la construction du « système Neste », un système de barrages de haute montagne, de réservoirs de coteaux et de canaux permettant de réalimenter les rivières gasconnes, conçu puis géré par la Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne (CACG).

Ainsi, en 2000, 45 % des exploitations du territoire pratiquaient l'irrigation et la surface irriguée atteignait 87 400 ha (dont 73 % en maïs). Le développement de l'irrigation, conjugué à un déficit hydrique estival fréquent a rendu cette zone très dépendante de la qualité de gestion du système Neste.

## Les sols

Le réseau hydrographique dense et orienté sud-nord (sens d'écoulement) du système Neste confère à ce territoire une alternance d'est en ouest de sols de coteaux, argilo-calcaires, et de sols d'alluvions. Localement, on appelle les sols de coteaux « les terreforts » : les **terreforts**, argileux, ont une bonne réserve utile (RU) due à un fort taux d'argile qui permet de limiter les irrigations ; cependant, leur RU varie selon leur situation dans le relief ainsi que leur pente (de faible à prononcée). Localement on distingue également deux types de sols d'alluvions : les alluvions anciennes appelées **boulbènes**, et les **alluvions récentes**. Les **boulbènes** sont des sols limoneux et légers, donc faciles à travailler mais ils cumulent les inconvénients d'être battants, très hydromorphes et très pauvres chimiquement : la pratique de l'irrigation dans ces sols compense en partie leur faible potentiel agronomique. Les **alluvions récentes** se retrouvent généralement en basses plaines alluviales : ces sols limono-argileux ont une grande réserve utile et une bonne capacité de drainage, ce qui leur confère un meilleur potentiel agronomique que les boulbènes. Sur la partie midi-pyrénéenne du système Neste, ces trois grands types de sols sont décrits par 12 ensembles morpho-pédologiques dans l'étude « Les grands ensembles morpho-pédologiques de Midi-Pyrénées » réalisée par la chambre régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées (CRAMP) (Figure 3).



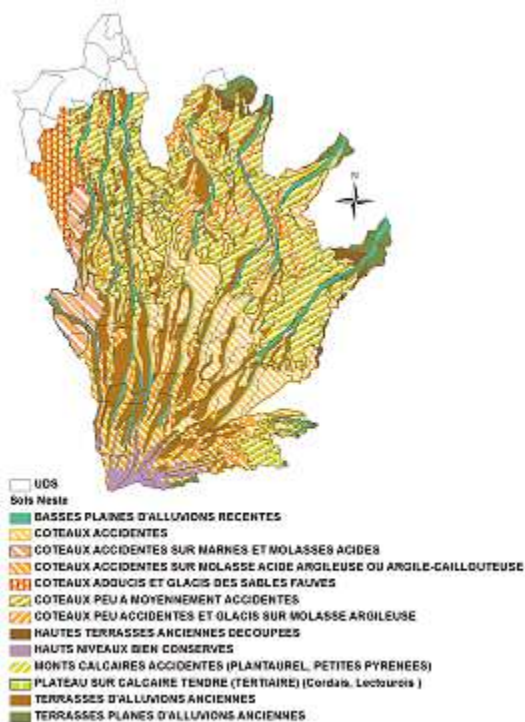


Fig. 3a

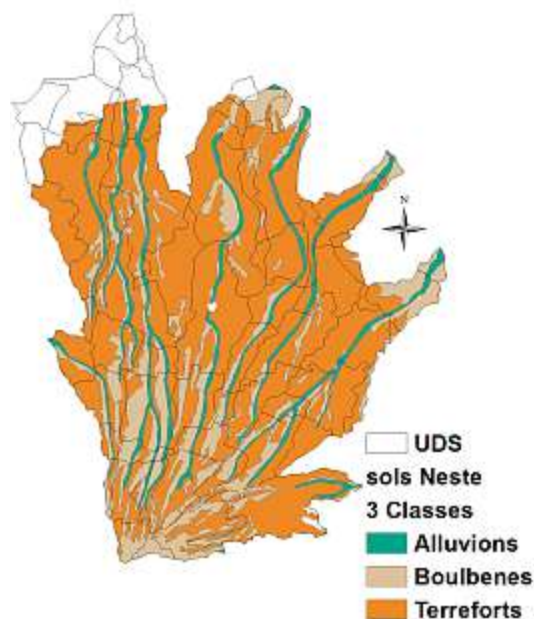


Fig. 3b

Proportion des 3 types de sol sur le secteur Neste

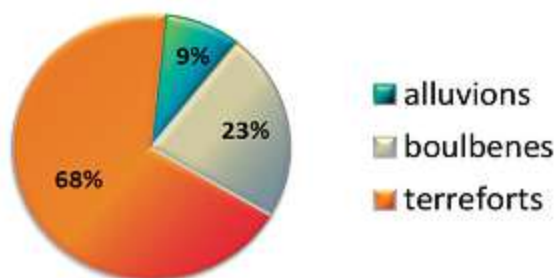


Fig. 3c

Figure 3. Les sols de la zone du système Neste : (a) cartographie de la CRAMP (chambre régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées) (b) cartographie selon les trois grands types de sols (c) importance relative des trois types de sols principaux.

### Données météorologiques

Nous avons utilisé les données journalières de précipitation, température et évapotranspiration potentielle des séries interpolées aux points de la grille Safran de météo France (12,5 km x 12,5 km). Le SIG nous a permis d'associer à chaque unité de simulation (UDS) via son centroïde le point de grille SAFRAN le plus proche afin d'y affecter les données météorologiques (Figure 4).

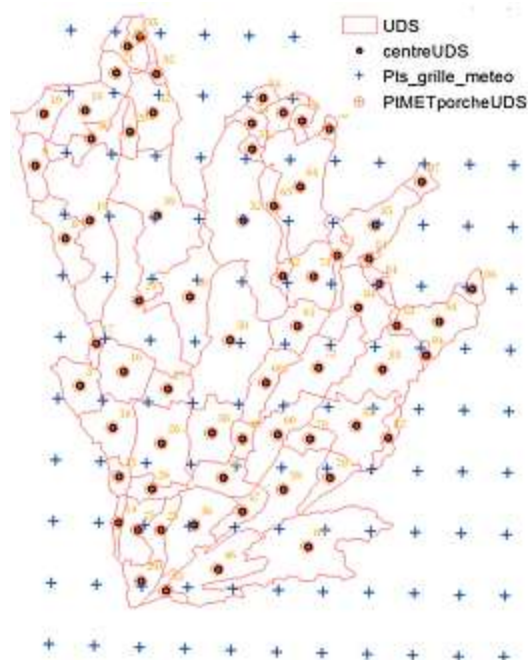


Figure 4 : Association des points de grille météo le plus proche du centroïde de chaque UDS.

## Les exploitations agricoles

Une typologie des exploitations (**Tableau 1**) ayant un comportement *a priori* homogène face à des changements en matière de gestion quantitative de ressource en eau a été construite à partir de trois critères identifiés à dire d'expert : la dimension économique des exploitations en UDE (unité de dimension européenne<sup>2</sup>), leur orientation technico-économique (OTEX), et le ratio surface irriguée sur surface agricole utile (SI/SAU) de l'exploitation pour les exploitations d'OTEX « grandes cultures ».

Tableau 1. Les 10 types d'exploitations résultant des critères choisis pour classer les exploitations recensées dans le RGA (recensement général de l'agriculture) (Soudais, 2008)

Taille économique (UDE)		8 à 40 = petite (p)		40 à 100 UDE = moyenne (m)		> 100 UDE = grande (g)	
		<20 Sec	≥20 Irrigué	<20 Sec	≥20 Irrigué	<20 Sec	≥20 Irrigué
O T E X	Grandes cultures (GC)	GCpS	GCpl	GCmS	GCml	GCgS	GCgl
	Polyculture- Elevage (PE)	PEp		PEm		PEg	
	Autre (AU)	AU					

Afin de rendre compte de la diversité des exploitations de la zone d'étude, nous avons choisi de caractériser chaque type d'exploitation dans chaque PRA (petite région agricole). Il en résulte la description de 240 exploitations types, caractérisées chacune par leur SAU moyenne, la part moyenne de chaque culture au sein de l'assolement, un ou plusieurs types de matériel d'irrigation (Soudais, 2008).

2 UDE - L'unité de dimension européenne sert au calcul de la marge brute standard des exploitations européennes. Une unité de dimension européenne correspond à 1200 euros ou 1,5 ha équivalent blé [http://ec.europa.eu/agriculture/rca/methodology1\\_fr.cfm](http://ec.europa.eu/agriculture/rca/methodology1_fr.cfm)



## Les itinéraires techniques

L'information collectée sur les itinéraires techniques a été réduite aux pratiques d'irrigation du maïs, car, étant donné la part importante du maïs dans les surfaces irriguées (73 %), nous avons estimé que ces pratiques avaient le plus fort impact sur la demande en eau d'irrigation et sur sa variabilité spatiale. Cette information a été collectée auprès d'un conseiller agricole : celui-ci a décrit la variabilité des pratiques en fonction des trois types de sols identifiés sur la zone d'étude, mais a été plus évasif sur l'association entre types de sols et types d'exploitations (**Tableau 2**).

*Tableau 2. Relations entre type de sols, type d'exploitation agricole et gestion du maïs irrigué obtenu par expertise*

Types de sol	Sol limoneux hydromorphe (boulbènes)	Sols argileux calcaire (terrefort)	Sol d'alluvion
<b>Principales caractéristiques</b>	Faible potentiel agronomique, très hydromorphe	Bon potentiel agronomique, argileux	Très bon potentiel agronomique, bon drainage
Réserve en eau (RU)	Faible	Elevée	Elevée
Topographie dominante	Plat	Pentus	Plat
Situation géomorphologique	Près de cours d'eau	Eloigné de cours d'eau	Près de cours d'eau
<b>Modalités d'irrigation</b> durée de tour d'eau apport d'eau / tour	5 - 6 jours 25 - 30 mm	10 - 15 jours 35 - 45 mm	6 - 8 jours 30 - 35 mm
<b>Type d'exploitation agricole dominant</b>	Cultures irriguées Polyculture élevage	Cultures non irriguées	Cultures irriguées

Nous avons considéré comme négligeable la variabilité spatiale des autres pratiques culturales du maïs (choix de précocité, de date de semis, de fertilisation) et des itinéraires techniques des autres cultures.

## Problématique : combiner des données hétérogènes

Les données décrites ci-dessus définissent l'état du système (le territoire étudié) et permettent l'utilisation d'un modèle simulant la croissance des cultures et les décisions des agriculteurs, notamment en matière d'irrigation. Un tel modèle, utilisé sur l'ensemble des parcelles d'un territoire, permet d'estimer la production agricole et l'impact des systèmes de cultures portées par ces parcelles sur la consommation en eau d'irrigation. Néanmoins, pour faire tourner un tel modèle, il est nécessaire de définir des « unités de simulation » correspondant à une combinaison unique [sol X culture X itinéraire technique]. Cette exigence pose problème car :

- les données décrites ci-dessus sont disponibles à des résolutions très différentes : par exemple, les données météorologiques sont disponibles sur des mailles carrées de 12,5 km x 12,5 km tandis que les données sols sont disponibles sur des polygones polymorphes ;
- l'information sur les cultures n'est disponible que via le descriptif des exploitations, lesquelles n'ont comme seul géo-référencement possible que la commune de leur siège (cf. § *les exploitations agricoles*) ;
- les itinéraires techniques ne sont localisés que par leur lien à un type de sol et un type d'exploitation (**Tableau 2**).

## Méthode développée

L'enjeu était donc de déterminer les associations entre types de sols et types d'exploitation de manière à accéder aux combinaisons [culture X itinéraire technique X sol] permettant de faire tourner le modèle de simulation. Pour répondre à cet enjeu, nous avons procédé en deux étapes que nous détaillons ci-après.

### Le choix d'une « unité de support »

L'unité de support (UDS) est l'unité spatiale sur laquelle est collectée l'information nécessaire pour caractériser le territoire et faire tourner le modèle de simulation, mais aussi sur laquelle sont représentées les sorties du modèle qui seront présentées aux décideurs et aux différents porteurs d'enjeu du territoire. L'objectif du travail était d'estimer la demande en eau d'irrigation à l'échelle du territoire et pour des unités de surface infra qui auraient du sens pour les décideurs et les porteurs d'enjeu. Nous avons considéré que l'estimation de la demande en eau d'irrigation ne requerrait pas un positionnement des parcelles (combinaisons [culture X itinéraire technique X sol]) les unes par rapport aux autres, car il n'y a pas de flux naturel d'eau entre parcelles. Nous avons donc décidé de traiter la question comme un problème agrégatif, sans prendre en compte les relations de compétition sur les ressources en eau, travail, équipement qui existent au sein de chaque exploitation. En conséquence, l'unité de support à retenir n'était pas obligatoirement la parcelle agricole, mais pouvait être une unité de surface plus grande.

Différents zonages du territoire préexistaient. Le premier, un zonage en « unité de gestion de l'eau » (UGest), est utilisé par le gestionnaire (la CACG) pour prendre ses décisions de déstockage de barrage ou de demande de restriction d'eau. Le second, le zonage des régions agricoles et petites régions agricoles (PRA), a été établi sur l'ensemble de la France dès 1946 sur des critères d'homogénéité agro-pédo-climatique. Ces deux zonages nous ont semblé pertinents pour les utilisateurs potentiels de SPACSS (SPAtial Crop System Scenarii builder and evaluator). En conséquence, nous avons choisi comme unités de support (UDS) les unités spatiales résultant du croisement de ces deux zonages (Figure 5).

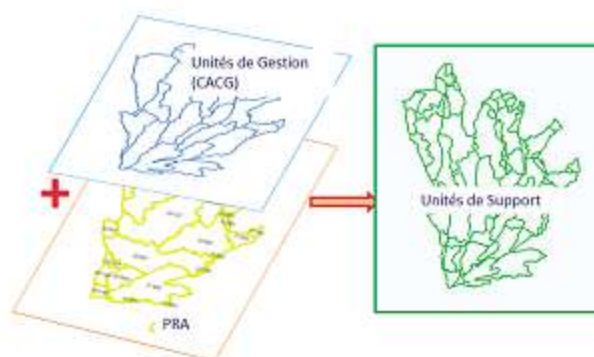


Figure 5. Création des unités de support (UDS) par intersection des petites régions agricoles (PRA) et unités de gestion.

### Caractérisation des UDS

L'objectif était non seulement de caractériser les UDS en termes de sols, climat, systèmes de culture, exploitations agricoles, mais aussi d'identifier les unités de simulation correspondant aux combinaisons [culture \* itinéraire technique \* sol] au sein de chaque UDS.

Pour les données météorologiques, la série climatique du point de grille le plus proche du centroïde de chaque UDS a été affectée à l'ensemble des UDS.

Pour les sols, chaque UDS a été caractérisée par une distribution des trois types de sols principaux identifiés dans le **Tableau 2**. Chaque UDS étant constituée d'un ensemble de communes, une distribution des types d'exploitation (et donc des cultures) est directement affectable à chaque UDS.



Pour reconstituer dans chaque UDS la surface de chaque combinaison [type de sol x type d'exploitation x système de culture], nous avons considéré d'une part les informations prodiguées par l'expert avec plus ou moins de conviction sur les liens entre types de sol et types d'exploitation, et d'autre part un certain nombre de contraintes données par le RGA et par la carte des sols (pour chaque UDS, la somme des SAU des différents types d'exploitation dans un sol ne doit pas dépasser la surface de ce sol ; la somme des SAU d'un type d'exploitation dans l'ensemble des sols ne peut pas dépasser la SAU de ce type d'exploitation). Nous avons donc développé une méthode qui repose sur l'utilisation successive de deux procédures d'allocation, chacune d'elle étant mobilisée selon la nature de l'association entre type de sol et type d'exploitation exprimée par le discours de l'expert. La première procédure consiste en un algorithme déterministe qui permet d'allouer prioritairement des surfaces aux combinaisons type de sol x type d'exploitations identifiées fermement par l'expert (associations considérées comme fortes). La seconde procédure permet de traiter les combinaisons [type de sol] x [type d'exploitation] présentées par l'expert avec moins de conviction tout en respectant les contraintes données par le RGA. Cette procédure consiste à mobiliser une approche statistique non standard (du champ de la théorie des informations) qui permet de résoudre ce problème où le nombre de paramètres à estimer est supérieur au nombre d'observations. Afin d'allouer les exploitations aux surfaces de sol restantes, nous avons utilisé un modèle économique (écrit sous GAMS<sup>3</sup>) utilisant comme critère d'optimisation le maximum d'entropie et nécessitant de définir a priori la matrice des probabilités de trouver un type d'exploitation  $k$  dans un type de sol  $s$ .

A chaque combinaison [type de sol x type d'exploitation], ainsi déterminée, a été affectée une conduite de l'irrigation du maïs décrite par le **Tableau 2**. Le reste de l'itinéraire technique du maïs (semis, fertilisation, récolte), ainsi que les itinéraires techniques des autres cultures, ont été considérés comme identiques pour toute l'étendue du territoire d'étude.

Les combinaisons [type de sol] x [type d'exploitation] de chaque UDS et les données qui y sont rattachées ont été stockées dans une base de données relationnelle. Cette base de données, couplée avec un système d'information géographique, permet la visualisation de la distribution des systèmes de culture selon différentes échelles d'agrégation (unité de support, petite région agricole, unité de gestion) et selon les différents facteurs (type de sol, type d'exploitation). Cette diversité des points de vue offerts à l'utilisateur est destinée à faciliter la construction de scénarios alternatifs de distribution de systèmes de culture.

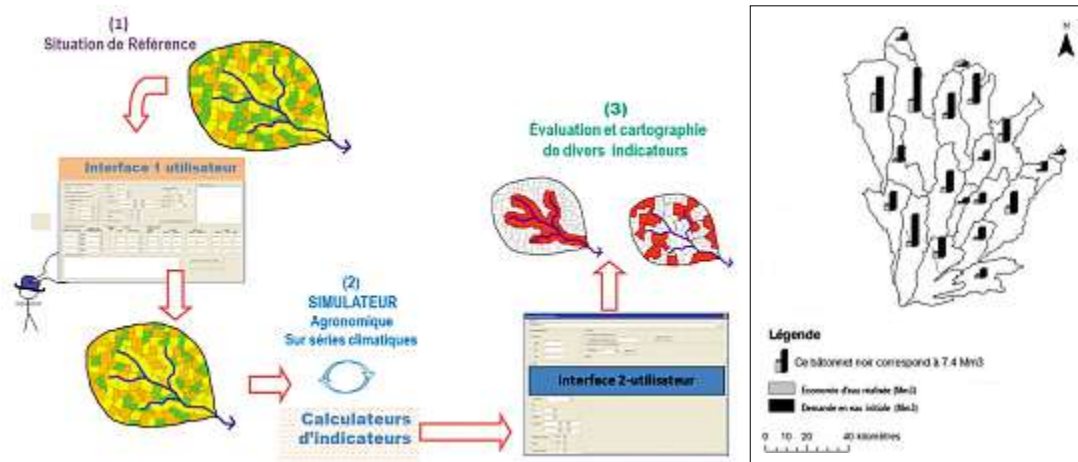


Fig. 6a

Fig. 6b

Figure 6. (a) Principe du prototype SPACCS (b) Exemple de cartographie d'un indicateur : économie d'eau.

## Conclusion

Dans ce travail, l'outil SIG nous a été utile pour la construction de certaines composantes du système d'information et spatialiser les données utilisées. Nous avons pu (i) créer les contours des UDS par intersection de deux autres découpages existants (PRA et unité de gestion CACG) ; (ii) associer des données météorologiques (maillées format

3 GAMS (general algebraic modeling system) est un logiciel de modélisation mathématique.



grille) aux UDS (polygones) ; (iii) utiliser les unités cartographiques de sols pour associer des propriétés agronomiques aux UDS par intersection des deux couches d'informations et (iv) qualifier les UDS en terme de répartition des différents types de sol. Cependant, les données utilisées étaient de nature et résolution très hétérogènes et n'étant pas toujours cartographiable *a priori*, ce qui a pu poser problème. Ainsi, l'information sur les exploitations agricoles ne pouvait être localisée à un niveau plus fin que la commune, tandis que l'information sur les sols était spatialisée pour tout point de l'espace à une certaine résolution. Cette hétérogénéité de l'information rendait inopérante la procédure classique de croisement d'information par des SIG. C'est pourquoi nous avons eu recours à une méthode liant expertise et statistique. Cette démarche, originale, pourrait être appliquée à d'autres types de données dès lors qu'on retrouve cette hétérogénéité de résolutions spatiales. En ce qui nous concerne, elle a néanmoins été rendue caduque avec l'accès à une nouvelle source d'information le RPG (registre parcellaire graphique) qui nous fournit désormais (depuis 2006) des données sur les assolements des exploitations à une résolution et une couverture spatiale compatibles avec celles des cartes de sol. Dans la base du RPG, les cultures et surfaces associées sont disponibles à la résolution spatiale de l'îlot de cultures et, grâce à un identifiant anonyme, les différents îlots d'une même exploitation peuvent être identifiés (Leenhardt et al., 2012). Cette évolution des données auxquelles nous pouvons désormais avoir accès nous a conduit à revoir complètement la forme de l'outil développé pour les gestionnaires de l'eau, en proposant désormais un outil permettant de décrire plus finement la situation de référence et de construire des scénarios plus précis.

## Références bibliographiques

Barnier M (2009) Objectif Terres 2020. Pour un nouveau modèle agricole français [http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Agirbis\\_plan.pdf](http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Agirbis_plan.pdf)

Clavel L (2010) Développement d'une méthode de construction et d'évaluation de scénarios portant sur la distribution des systèmes de culture de grands territoires. Application à la demande en eau d'irrigation dans le système Neste. Thèse de Doctorat, INP Toulouse. <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001099/>

Clavel L, Charron M-H, Therond O, Leenhardt D (2012) A modelling solution for developing and evaluating agricultural land-use scenarios in water scarcity contexts. *Water Resour Manag* **26** : 2625-2641. DOI 10.1007/s11269-012-0037-x

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.

Leenhardt D, Therond O, Mignolet C (2012) Quelle représentation des systèmes de culture pour la gestion de l'eau sur un grand territoire ? *Agron Environ Soc* **2** : 77-89.

Mandement A (2004) Compte-rendu et bilan du débat public de Charlas. *Revue de l'agence de l'Eau Adour Garonne*, 26-30.

Soudais J (2008) Document de synthèse du travail sur les données DRAF (recensement agricole 2000 et enquête pratiques culturales 2001). Rapport interne INRA, UMR AGIR, 60 p.

## Source des données

Les grands ensembles morpho-pédologiques de Midi-Pyrénées, réalisé par la chambre régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées. <http://www.mp.chambagri.fr/-Le-guide-des-sols-.html>

OTEX : cette nouvelle classification des exploitations selon leur spécialisation (orientation technico-économique et leur taille économique s'applique pour la première fois pour la diffusion des résultats du recensement agricole de 2010 : <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/orientation-technico-eco.htm>

Agreste (2002) Recensement général agricole 2000. Cartes thématiques Midi-Pyrénées. CD-Rom, Service régional de la statistique agricole de Midi-Pyrénées.

Données © IGN : BD TOPO.

Données météorologiques : Météo France.

