Décembre 2012
volume n°2 / numéro n°2
www.agronomie.asso.fr

Agronomie environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

Assolements et gestion quantitative de l'eau

de l'exploitation agricole au territoire

Agronomie, Environnement & Sociétés est une revue à comité de lecture et en accès libre éditée par l'Association Française d'Agronomie (AFA) sous le numéro ISSN 1775-4240. Plus d'informations www.agronomie.asso.fr/aes. L'AFA est une association à but non lucratif qui publie des travaux en accès libre.

Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Agronomie Environnement & Sociétés //volume 2 numéro 2 - décembre 2012

Article

Choix d'assolement : exemples de mise en œuvre d'outils d'aide à la décision

Valérie LEVEAU[a], Sylvain MARSAC[b], Pascal LEROY[c]

[a] : ARVALIS - Institut du végétal - E-mail : v.leveau@arvalisinstitutduvegetal.fr
[b] : ARVALIS - Institut du végétal, E-mail : s.marsac@arvalisinstitutduvegetal.fr
[c] : INRA, ALISS - E-mail : pascal.leroy@ivry.inra.fr

Résumé
Les agriculteurs sont confrontés à une augmentation des facteurs de risque économique et climatique. Le choix d'assolement reste un levier d'adaptation. Des outils d'aide à la décision associant modélisation et expertise ont été construits autour de ces risques (marché, organisation du travail et/ou gestion de l'eau) ; leur utilisation notamment au cours de démarches participatives assure une proximité avec les différents acteurs mobilisés tant dans la construction des études que dans la valorisation des résultats. L'utilisation récente de LORA, aide au choix d'assolement en sole irrigable, est un exemple de ces démarches qui permettent aux agriculteurs de s'approprier les résultats, d'analyser leur robustesse et font également ressortir le besoin d'indicateurs nouveaux d'aide au choix des cultures. Les outils s'orientent largement vers des choix multicritères plus complexes à mettre en œuvre, mais toujours consommateurs de références techniques.

Mots-clés
Assolement, aide à la décision, gestion des risques, systèmes irrigués, analyse de robustesse.

Summary
Farmers face increasing climatic and economic risks. Inputs and raw material market become highly variable. Moreover, market policy is disengaged and environmental rules increase. Crop allocation is still one of the adaptation means for the farmers to cope with these changes. But the way to support farmers in their crop allocation choice differs with the farm susceptibility to these changes. This vulnerability has to be assessed. Modelling and expertise tools were built to assess the market, the labour force management or the climate vulnerability. The use of these tools with participative approach maintains a necessary link with the expectations of the different actors from the building of the study to the results promotion. LORA was built to upgrade the use of the available water maximizing farmers' gross margin. Farmers can analyse, appropriate the results of this tool using participative approach but primarily assess strength of these results. Casdar Eau Midi-Pyrénées program used LORA model and showed some technical adaptations on the corn crop management in South Western France. But farmers revealed new needs as new and additional indicators to help the crop choice with its own constraints and objectives. References need is still high to develop these models which will integrate new multi criteria approach.

Keywords
Crop rotation, decision support systems, uncertainty, risk management, irrigated crop systems, robustness.

Introduction

Les producteurs sont aujourd'hui confrontés à de rapides et profonds changements du contexte de production en termes de marché, de réglementation et de climat.
Les prix de marché des productions agricoles sont actuellement très variables. Ceci provient d'une tendance haussière de la demande mondiale en produits alimentaires et non alimentaires, associée à des fluctuations plus notables de la production mondiale liée à une variabilité climatique accrue. Le coût des intrants (semences, engrais, produits phytosanitaires eau, énergie …) est également plus variable qu'auparavant et en hausse tendancielle. La politique agricole européenne est en pleine mutation avec cinq réformes en vingt ans modifiant les niveaux des filets de sécurité (intervention) pour les producteurs. Enfin, la société est plus attentive vis-à-vis de l'agriculture européenne, sur l'accès à l'alimentation (prix, quantité, qualité) et la gestion de l'environnement. Les conditions de production des exploitations sont plus contraintes, que ce soit en termes d'utilisation de la fertilisation, de la protection phytosanitaire ou de l'eau.
Pour répondre à cette nouvelle donne, « produire plus et toujours mieux » est une des voies à privilégier. Le producteur doit cependant gérer la viabilité économique de son exploitation. Mais la volatilité des prix de marché et des intrants et le risque climatique réduisent sa visibilité à moyen comme à court terme, voire en cours de campagne. Le producteur, comme tout chef d'entreprise, doit disposer d'une bonne vision de la vulnérabilité ou de la sensibilité de son exploitation aux évolutions du contexte et aux risques associés (climat, marché, réglementation). Ses objectifs doivent ensuite être définis en termes de

rentabilité souhaitée et d'acceptation d'un niveau de risque économique.

L'identification, puis l'efficacité de différents leviers d'adaptation à ce contexte peut alors être réalisée (Jacquin *et al*, 2005 ; Leveau, 2012).

L'assolement est, depuis toujours, un des leviers internes à l'exploitation utilisés par le producteur pour s'adapter au contexte de production. Son choix se raisonne selon un objectif de marge de chaque culture en cohérence avec les filières (présence de débouchés et d'approvisionnement), le milieu (climat - sol), l'organisation du travail (matériel et main-d'œuvre), la présence d'irrigation et le contexte réglementaire (Bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE), disponibilité en eau d'irrigation…). Ce raisonnement se complexifie dans cet univers plus incertain :

- le climat a toujours été un facteur de risque. Les dernières années montrent une variabilité climatique accrue : variabilité des rendements due à une fréquence accrue des années difficiles et atypiques (Coumou et Rahmstorf, 2012) ;
- l'augmentation du coût des intrants renchérit le coût de production à la tonne produite. Le prix d'intérêt (ou seuil de commercialisation) calculé à partir de ce coût de production duquel sont déduites les aides européennes (ramenées à la tonne produite) suit la même tendance. Le risque de ne pas couvrir ce prix d'intérêt par un prix de marché très fluctuant s'accroit ;
- la réglementation enfin, avec des mesures obligatoires de diversification des assolements ou de limitation d'intrants, peut conduire à changer les systèmes de culture en cas d'impasses techniques.

Dans le cas des systèmes irrigués, les choix sont complexifiés par les problématiques d'accès à l'eau et de limitations structurelles ou conjoncturelles (arrêts en cours de campagne).

Ces choix sur les assolements sont conduits par les agriculteurs à différentes échelles temporelles et spatiales :

- la décision stratégique avec une orientation pluriannuelle intervient dans le cadre d'un changement de système de production (équilibre entre différents ateliers d'une exploitation). Plus précisément pour les systèmes de grandes cultures étudiés dans cet article, c'est la recherche d'un nouvel équilibre entre assolement, itinéraires techniques, disponibilité en eau, matériels et main d'œuvre.
- la décision semi-tactique en début de campagne est liée à un changement annuel sur une partie de la sole pour s'adapter aux conditions de l'année. Pour les systèmes irrigués, l'état attendu (prévisionnel) de la ressource en eau est un critère de décision, de même que la réglementation et l'anticipation des prix de marché. L'assolement évolue par exemple sur le type de cultures de printemps, ou sur le choix de précocité variétale d'une culture donnée (maïs par exemple).
- enfin, la décision tactique en cours de campagne est conditionnée par le climat en cours d'année, la disponibilité effective en eau d'irrigation, les conditions au semis ou les conditions de marché. L'assolement évolue peu, mais les conduites de cultures sont adaptées.

Les décisions tactiques en cours de campagne peuvent s'appuyer sur divers avertissements ou recommandations (bulletins de santé du végétal…) et un suivi technique souvent intégré dans des outils d'aide à la décision. À titre d'exemple parmi d'autres outils, IRRINOV ® et Irré-LIS ® sont deux outils proposés par ARVALIS - Institut du végétal pour la gestion de l'irrigation. D'autres outils sont également proposés pour la protection des cultures, ou le raisonnement de la fertilisation.

Les choix stratégiques à semi-tactiques ont un impact particulièrement fort en systèmes irrigués (répartition des cultures d'hiver, de printemps, choix a priori de la conduite de l'irrigation). La connaissance de l'état de la ressource, de sa variabilité au cours des années passées (restrictions, arrêts d'irrigation, débits limitants…) est essentielle à la prise de décision tout comme le climat en cours de campagne qui va modifier les rythmes d'irrigation voire l'affectation de l'eau entre cultures.

Afin de produire des informations utilisables, les outils d'aide à la décision stratégique d'une exploitation doivent intégrer trois volets :

- une mesure de la vulnérabilité de l'exploitation agricole par rapport aux différents facteurs de risque ;
- une évaluation de l'efficacité que procurent différents leviers d'adaptation, tels celui de la modification d'assolement parmi les leviers disponibles pour gérer le risque économique ;
- la proposition des solutions, différenciées en fonction des objectifs et du niveau de risque accepté par le producteur.

Cet article s'intéresse au choix d'assolement des exploitations de grandes cultures françaises et l'accompagnement qui peut leur être proposé via l'usage d'outils d'aide à la décision.
Trois exemples d'outil développés par ARVALIS - Institut du végétal sont présentés, associant modèles et expertise et dans certains cas une démarche d'utilisation dite participative. Ils prennent en compte les risques suivants :
- assolement, risques climatiques et de marché, et gestion de l'irrigation (Jacquin, Deumier et Leroy, 1993) ;
- assolement, risque climatique et organisation du travail (Gillet *et al.*, 1992) ;
- assolement et risques de marché (Nicoletti *et al.*, 1996).
Il n'est pas dans l'objectif de cet article de faire un état de l'art en termes d'outils d'aide au choix d'assolement, mais plutôt d'illustrer les notions s'y rapportant à travers quelques réalisations. L'exemple des systèmes irrigués sera privilégié.

Accompagner le producteur dans son choix stratégique d'assolement : généralités sur les trois outils présentés

Des outils qui intègrent modélisation et expertise
Les trois outils d'aide aux choix d'assolement présentés ont été développés au début des années 1990 en pleine mutation de la PAC avec la réforme de 1992. Leur évolution s'est poursuivie dans ces dernières années selon les besoins des utilisateurs. Ils sont utilisés à la fois pour mesurer la vulnérabilité de l'exploitation aux différents risques et pour tester l'efficacité des différents leviers, dont l'assolement. Ils intègrent un modèle technique qui simule le fonctionnement des plantes, du sol, et du mieux possible les mécanismes de prise de décision.
Ces modèles sont intégrés dans des outils de simulation technico-économiques (modèles reproduisant le fonctionnement de l'exploitation) ou des outils d'optimisation (modèles reproduisant le fonctionnement de l'exploitation et intégrant une fonction de recherche d'une solution optimale maximisant la marge par exemple). L'expertise et les résultats expérimentaux sont mobilisés dans la phase de paramétrisation des modèles.
Ces outils représentent des facteurs de risque et des contraintes techniques et/ou agronomiques :
- des contraintes de rotation, voire dans certains cas de matériel et/ou de disponibilité en main d'œuvre (SIMEQ , ATOUPRIX et LORA) ;
- les scénarios climatiques (SIMEQ et LORA), basés sur des séries d'années météorologiques enregistrées par une station météo proche du site étudié (15 à 20 ans selon les outils). Ces scénarios reproduisent l'incertitude vécue et permettent de dégager une solution prenant en compte cet aléa. Des séries spécifiques reprenant seulement certaines années de la série historique peuvent être étudiées dans certains outils pour reproduire différents phénomènes (réchauffement, concentration des précipitations…) ;
- le risque « marché » est envisagé en définissant différents scénarios de prix des cultures et/ou de coûts des intrants, probabilisés ou non. Ce risque est présent dans les trois outils mais avec différents degrés d'automatisation.
C'est une analyse multicritère qui permet une véritable mesure de l'efficacité des solutions obtenues : indicateurs techniques, environnementaux, de performance économique et de robustesse des solutions proposées. Les outils présentés ici n'intègrent pas tous ces indicateurs aujourd'hui, mais leur évolution va dans ce sens. Pour le producteur, par exemple, ces critères doivent permettre de choisir sa solution, en fonction de son aversion au risque, qu'il soit climatique, réglementaire ou économique. Pour l'un, la solution « optimale » pourra ainsi correspondre à une attitude de moindre variabilité économique, tandis que pour un autre, il s'agira de saisir des opportunités potentielles plus risquées. Ainsi, lorsque l'outil propose, à l'issue de l'optimisation linéaire par exemple, une solution dite optimale, des solutions dites « équivalentes » sont également fournies.
Autre exemple, si l'on considère le risque économique, certains outils peuvent proposer, dans une gamme de scénarios de prix, plusieurs solutions peu différentes en termes de niveau moyen de marge, mais caractérisées par des niveaux différents de variabilité de cette marge. Le producteur peut ainsi faire son choix en fonction de la vulnérabilité de son exploitation et de sa propre aversion au risque.

Une utilisation des outils pouvant aller jusqu'au participatif

Le mode d'utilisation de ces trois outils diffère selon les objectifs et les interlocuteurs des études conduites : études internes à ARVALIS - Institut du végétal ou regroupant plusieurs acteurs autour de démarches participatives. Selon ces modes d'utilisation, les travaux vont de la mesure de la vulnérabilité d'exploitations à la mesure d'impact réglementaire ou d'évolution de contexte (baisse des ressources en eau liée au climat par exemple), ou à l'évaluation de la mise en œuvre de leviers d'adaptations. Les travaux réalisés sous forme de démarches participatives peuvent regrouper différents types d'acteurs : des groupes d'agriculteurs et/ou agents d'organismes économiques, mais également des organismes administratifs pour apprécier l'intérêt et les contraintes de modifications d'assolement.

Pour les différents outils, des réunions préalables à la mobilisation des outils permettent de mieux cerner les attentes des différents partenaires et de partager les données d'entrée, les scénarios à mettre en œuvre. D'autres réunions sont organisées au cours de l'étude pour présenter les premiers résultats et dégager les besoins en travaux complémentaires. Les résultats finaux sont validés collectivement.

Dans ces démarches participatives, les résultats proposés prennent en compte des besoins différenciés selon les acteurs : les critères d'évaluation des résultats demandés vont par exemple pour les études d'impact de la solution chiffrée avec des indicateurs de risque pour les agriculteurs à des plages de variation pour les valeurs de différents indicateurs.

Trois outils avec des finalités différentes

Choix d'assolement, risque climatique et gestion de l'eau en système irrigué : LORA

Le choix d'assolement en système irrigué intègre la contrainte de l'accès à l'eau, de sa disponibilité et de la réponse à l'eau des cultures. Car c'est l'équilibre entre les lourds investissements en irrigation et la sécurisation de la production qui fait le revenu de l'exploitation.

Principes

L'outil LORA (Logiciel d'Optimisation de la Recherche d'Assolement) est à la base de la réflexion sur l'évolution des systèmes irrigués. Ce modèle a été co-construit par ARVALIS - Institut du végétal (ITCF) et l'INRA (Jacquin *et al.*, 1993 ; Marsac *et al.*, 2010). Son objectif est de rechercher un assolement et les conduites d'irrigation par culture qui, sur la sole irrigable, maximisent la marge brute tout en respectant les contraintes liées à la ressource en eau (volume d'eau disponible) et à son usage (selon le débit disponible lié à l'équipement et la disponibilité de la main d'œuvre à l'échelle décadaire) (Fig. 1).

Les aléas climatiques sont intégrés en mobilisant les enregistrements météorologiques annuels disponibles sur une station météo proche de l'exploitation étudiée. Quinze scénarios climatiques peuvent être mobilisés.

Les données agronomiques sont les types de sol qui composent la sole irrigable et les rendements potentiels des cultures sur ces sols. Les données économiques sont le prix de vente des produits des cultures ; les charges opérationnelles par hectare différenciées selon une conduite en irrigué ou pluviale ; le coût unitaire d'irrigation par m^3 d'eau intégrant le coût de l'eau et l'énergie de pompage.

Sur la sole irrigable, et pour les différents types de sol qu'elle peut comporter, les cultures sont envisagées en conduite pluviale ou irriguée, et dans ce cas selon différents niveaux de couverture de leurs besoins en eau (100% des besoins en eau d'irrigation à l'ETM[1], 80%, 60%).

LORA calcule alors pour chaque culture sur chaque type de sol et pour tous les modes de conduite envisagés, des bilans hydriques décadaires pour tous les scénarios climatiques envisagés, et, sur la base de fonctions de production, évalue les pertes de rendement vis-à-vis du rendement potentiel ainsi que leur niveau de consommation en eau et sa répartition décadaire.

[1] ETM = Évapotranspiration maximale

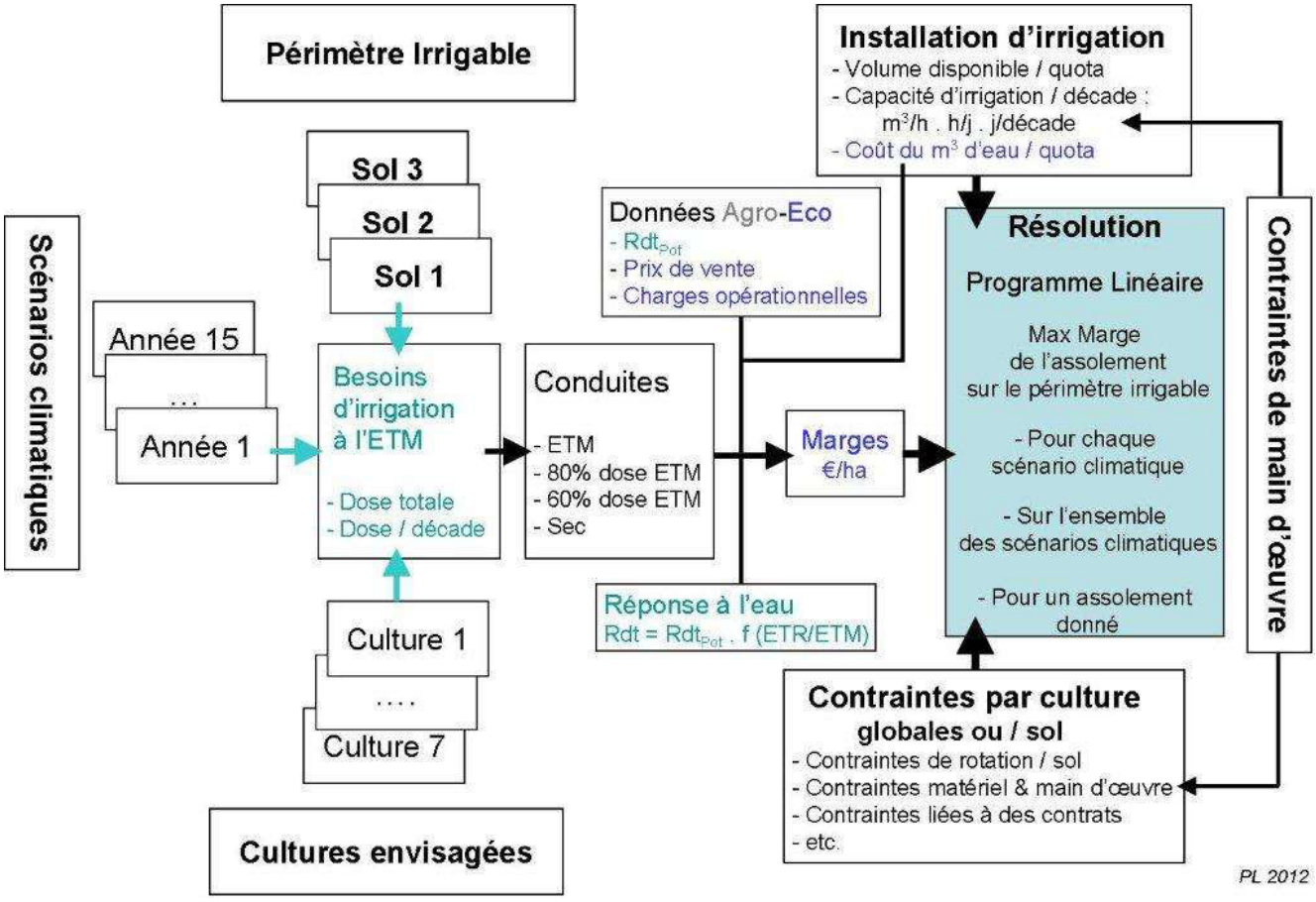

Figure 1 : Schéma synoptique du fonctionnement de l'outil LORA
Tabular scheme of the operating model LORA

Ces fonctions de production ($\frac{Rdt\ ETR}{Rdt\ ETM} = a * \frac{ETR}{ETM} + b$)[2], calculant la réduction du rendement potentiel en fonction de la satisfaction en eau de la culture, sont issues d'expérimentations pluriannuelles qui testent différentes conduites d'irrigation dans un même milieu. Les consommations en eau des cultures sont mesurées par des sondes ou estimées par bilan hydrique après une bonne estimation de la réserve utile, et sont mises en relation avec les rendements mesurés. Les dates d'apparition des stress pour les conduites limitantes ont un impact sur la forme de ces fonctions. Des stress répartis sur l'ensemble du cycle ont été appliqués pour affiner les fonctions monophase utilisées par LORA. Ces fonctions de réponse à l'eau par culture ont été récemment mises à jour pour l'ensemble des cultures dans le cadre de l'UMT Eau[3].

Dans LORA, les besoins en eau sont dépendants des types de sol caractérisés par leur réserve facilement utilisable (RFU). Celle-ci est établie pour chacune des cultures selon différentes phases de son cycle à partir des profils d'état hydrique du sol (fonction de la profondeur d'enracinement). Les règles de conduite d'irrigation sont également paramétrables : déclenchement à RFU vide ou maintien d'une partie de la RFU pour satisfaire des contraintes ultérieures de débit, de volume ou de main d'œuvre.

Dans un contexte réglementaire et de marché donné, LORA propose alors des assolements optimaux pour chaque année climatique et l'assolement qui se positionne le mieux en moyenne sur l'ensemble des scénarios climatiques envisagés. La robustesse de ces solutions est ensuite analysée par rapport aux aléas de marché (scénarios de prix différents) et à la réglementation (scénarios de variation de volumes ; de débits disponibles, d'aides, etc.).

La méthode de résolution de LORA est basée sur de la programmation linéaire avec recherche du maximum d'une fonction objectif (marge sur l'assolement) tout en satisfaisant un ensemble de contraintes (liées aux capacités de l'installation d'irrigation - volumes par quotas et capacités

[2] ETR = Evapotranspiration réelle
[3] Unité Mixte technologique : « Outils et méthodes pour la gestion quantitative de l'eau du bloc d'Irrigation au collectif d'irrigants »

d'irrigation décadaires -, liées aux contraintes sur les cultures, les matériels et la main d'œuvre.). Le module de résolution intégré dans LORA est basé sur la méthode Gradient-LP développée par Euro-Décision.

L'analyse des données météorologiques de chaque année permet d'évaluer et de caractériser l'aléa et de réaliser un choix critique des scénarios mobilisés dans les simulations. Des séries climatiques estivales et/ou printanières sèches peuvent être sélectionnées selon les exploitations étudiées. La variabilité de ces scénarios permet d'apprécier la robustesse des simulations dans un contexte de changement climatique. L'intérêt de l'introduction d'une culture dans l'assolement ou la substitution d'une autre peut aussi être évalué. La marge brute de ce nouvel assolement peut être comparée, en termes de variabilité, à celle d'un assolement initial, de référence, reproduisant le système actuel. Cette variabilité est un des indicateurs du risque utilisable.

Les débits d'eau disponibles sur une exploitation sont l'association des débits de la ressource, des matériels de pompage mais également de la disponibilité de la main d'œuvre. Cette main d'œuvre dédiée à l'irrigation peut être réduite à certaines périodes par les besoins d'autres ateliers concurrents. C'est pourquoi la connaissance précise de la ressource en eau de l'installation d'irrigation et de ses contraintes de fonctionnement est une seconde phase essentielle : ressources disponibles, quotas et dates d'utilisations associés, débits, main d'œuvre, réduction en cours de campagne.

Ces paramètres techniques, ces hypothèses de ressources, de charges en intrants et de prix de marché peuvent ensuite être fixés ou discutés avec des agriculteurs ou gestionnaires de l'eau. Les rendements potentiels utilisés par les fonctions de production sont également discutés avec les agriculteurs pour être le plus proche des conditions locales. Ces potentiels de rendement sont fixés pour des cultures bien alimentées en eau pour chacun des types de sol. L'aléa de marché n'est pas un élément directement intégré dans les simulations. Cependant, il est évalué en envisageant différents scénarios de simulation, ce qui permet une analyse de la robustesse des résultats.

Exemples d'utilisation

LORA a été utilisé lors de réflexions collectives pour anticiper l'évolution structurelle de ressources en eau ou pour apprécier l'adéquation des installations d'irrigation des producteurs à l'introduction de nouvelles cultures dans leur assolement. Mais LORA a surtout été utilisé lors des grands changements réglementaires (PAC, Loi sur l'eau, …) avec des groupes d'irrigants voire des gestionnaires de l'eau. Nous présentons ici sa mise en œuvre lors d'une étude récente dans le cadre du projet CASDAR Eau Midi-Pyrénées[4] avec trois collectifs d'irrigants (Marsac *et al.*, 2012).

La première phase a consisté en l'évaluation de la vulnérabilité des exploitations. Pour mesurer cette vulnérabilité à système constant, des scénarios d'évolution des contraintes sur les ressources en eau et des scénarios relatifs aux prix de marché ainsi qu'aux hausses de charges qui pénalisent fortement les exploitations ont été discutés et affinés. Le Tableau 1 montre par exemple la vulnérabilité d'une exploitation de grandes cultures en Vallée de Garonne (évaluation effectuée en 2011 sur des références 2008) :

- le marché est le principal facteur de variabilité : 115 €/ha de variation de marge brute pour une variation de prix de 10 €/t ;
- la variabilité climatique des 15 dernières années pour cette exploitation peut générer une perte de revenu jusqu'à 100 €/ha à assolement, à disponibilité en eau et prix de marché constants (référence de prix de maïs net de séchage à 140 €/t) ;
- l'irrigation est un facteur de production fréquemment utilisé dans de tels milieux pour stabiliser les revenus en limitant l'aléa climatique. Deux risques liés à l'irrigation ont été mis en avant et évalués : hausse des tarifs d'électricité (dérégulation des marchés et loi NOME[5]) et des redevances aux Agences de Bassin et limitation des volumes prélevables (Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques). Les hausses de tarifs pourraient générer à elles seules près de 20 €/ha d'augmentation de charges pour cette exploitation. Les potentielles révisions de volumes prélevables (volumes non connus en 2011) ou restrictions estivales pourraient accentuer la vulnérabilité, avec des pertes de 15 à 65 €/ha selon les niveaux de baisse de volume simulés pour différents types de ressource (lac réalimenté, rivière, nappe d'accompagnement …).

[4] Projet 2007 – 2010 coordonné par ARVALIS- Institut du végétal en partenariat avec CETIOM, INRA, CEMAGREF, CACG, Chambres d'agriculture de Midi-Pyrénées, Haute-Garonne, Gers, Hautes-Pyrénées avec le soutien financier du Ministère de l'agriculture de l'alimentation et de la pêche, Conseil régional de Midi-Pyrénées, Agence de l'eau Adour - Garonne

[5] Nouvelle Organisation du Marché de l'Electricité

Risque	Hypothèses	Impact Marge « brute »
Marché	+/- 10 €/t	+/-115 €/ha
Climat	Variation sur 15 ans avec assolement, prix des produits, coûts de l'eau d'irrigation constants	+/- 100 €/ha
Inputs : coût de l'eau d'irrigation (électricité + redevance agence de bassin)	Evolution des coûts entre 2008 et 2012 (énergie : +15%/an et redevances 2012 programmées)	- 20 €/ha
Baisse de volume d'eau pour irrigation	-5 % à – 20 % de l'eau disponible selon les ressources (unités de gestion)	- 15 à – 65 €/ha

Tableau 1 : Impact des différents risques sur une exploitation de la Vallée de la Garonne amont (31), Sud de Toulouse sur Terrasses avec sols limono-argileux).
Impact of various risks on a South-western France farm (Toulouse area in the High Garonna valley on loamy clay soils).

Dans une seconde phase, le levier assolement a été étudié selon les différents scénarios de contexte. Les principales voies d'adaptation de l'assolement qui se sont dégagées de cette étude pour des exploitations de Midi-Pyrénées en Haute-Garonne et Hautes-Pyrénées sur sols de Terrasses limono argileuses sont : (i) une évolution de la conduite du maïs irrigué, avec des préconisations d'avancement des dates de semis et de semis de variétés plus précoces ; (ii) une substitution d'une partie de la sole maïs par du blé dur irrigué (à l'ETM) et du soja en conduite limitante (80% de la dose ETM) en cas de volume réduit de plus de 15% ou en conditions d'années sèches récurrentes.
La troisième phase, avec un retour aux producteurs, a consisté à discuter de la faisabilité technique des résultats leur paraissant les plus intéressants. La faisabilité de certaines cultures proposées (soja, blé dur) sur les sols hydromorphes (sols avec une argile lessivée en profondeur, de 30 à 90 cm, créant une couche imperméable) a été discutée et appréciée par chacun selon : (i) sa technicité ; (ii) la connaissance de la culture liée à une présence précédente dans l'assolement ; (iii) le matériel disponible, notamment pour les céréales à paille. D'autres considérations agromiques non directement prises en compte ont également été discutées, car la variabilité des rendements ou des conditions de réalisation de certaines cultures ont été ressenties comme un élément de risque par les agriculteurs : la levée et le désherbage du sorgho, la faisabilité conjointe des semis de cultures d'été avec la protection phytosanitaire des céréales à paille, la faisabilité de la récolte du soja et la disponibilité en eau en fin de cycle pour cette culture, etc. Ainsi, l'adaptation de la conduite des maïs irrigués (dates de semis, précocité de variétés) est apparue comme la plus facilement réalisable dans un premier temps, mais seulement sur une partie des surfaces, le risque de mauvaise levée sur des sols froids et hydromorphes ayant été jugé trop important par quelques agriculteurs. Des indicateurs de risque à la culture se sont avérés alors nécessaires pour que les agriculteurs effectuent leur choix sur la base des premières recommandations issues de LORA.
La

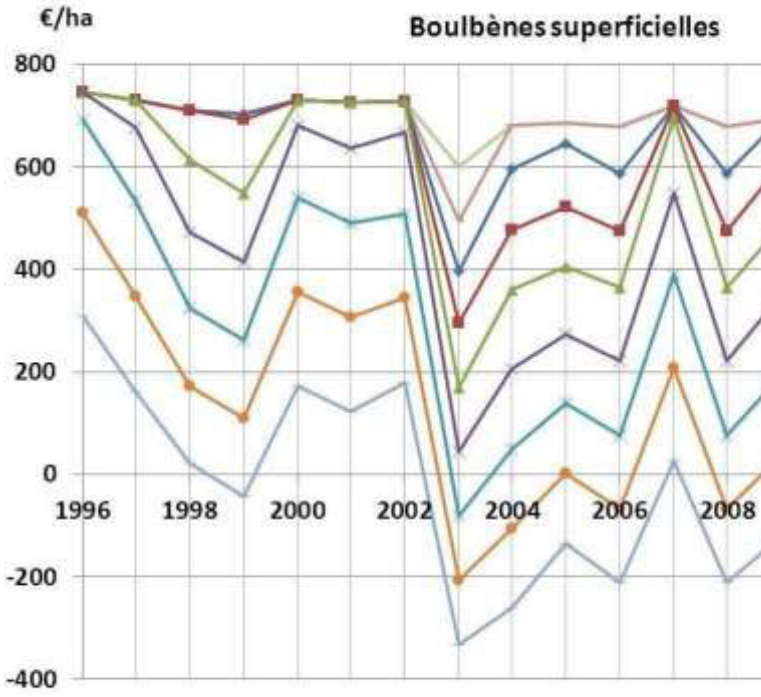

Figure 2 illustre le type d'informations à la culture demandées par des producteurs pour asseoir leurs choix en systèmes irrigués. Selon la ressource en eau disponible (entre 400 mm et des conditions pluviales), les marges d'une culture (maïs demi-tardif semé au 20 avril) sont calculées par LORA sur une série climatique (1996-2010). La variabilité de ces marges peut être appréciée par chacun des producteurs selon son niveau de revenu et de risque souhaités. Un volume supérieur ou égal à 300 mm dans les conditions de sols profonds sur les terrasses de la vallée de Garonne amont parait nécessaire pour limiter la variation de marge brute à 100 €/ha, hors année exceptionnelle comme 2003. Des comparaisons entre cultures, dates de semis ont ainsi été proposées,

mais un besoin complémentaire à ces résultats est apparu comme nécessaire : l'évaluation des jours disponibles pour les dates de semis proposées.

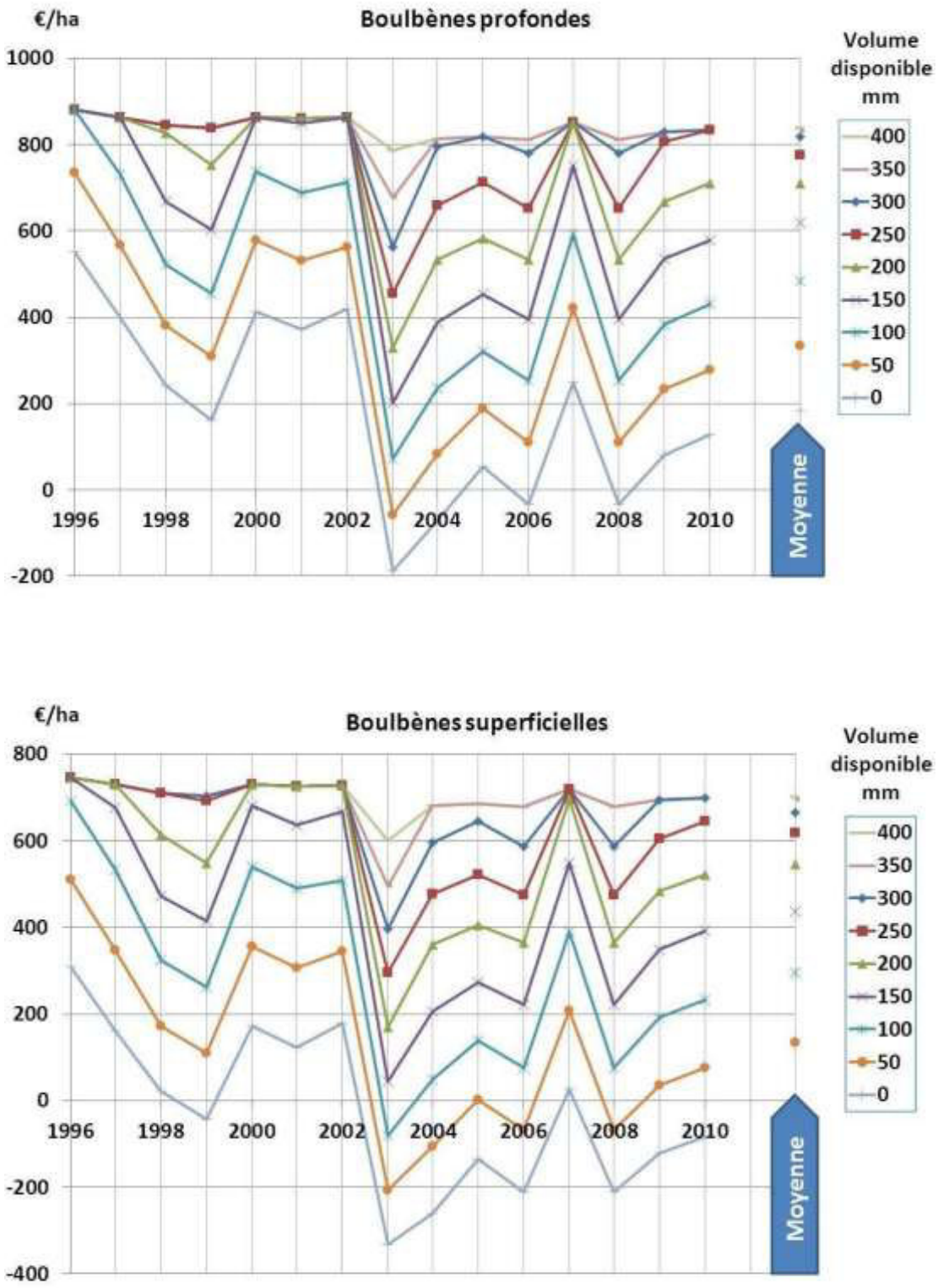

Figure 2 : Variation des marges brutes d'un maïs demi-tardif sur sols de boulbènes profondes et superficielles en vallée de Garonne amont (31) selon le volume d'eau disponible

Gross margin variability for a corn (500 - 550 FAO) on deep or shallow loamy clay soils in high Garonna Valley for different water availabilities

Choix d'assolement, risque climatique et organisation du travail : SIMEQ

Principes

L'outil SIMEQ (SIMulateur d'Equipement), développé par ARVALIS (ITCF), teste la cohérence entre l'investissement en matériel et la réalisation des opérations culturales d'un assolement donné en tenant compte de la main d'œuvre de l'exploitation étudiée, de sa disponibilité, de la variabilité climatique et du milieu. La disponibilité de la main d'œuvre est traduite par un temps de traction quotidien, évolutif selon les périodes de l'année. Chaque opération culturale est saisie avec des dates optimales de réalisation. Le risque de non réalisation des opérations est alors apprécié. La variabilité du climat est intégrée à travers le modèle Jdispo (Gillet *et al*, 1992) qui calcule les jours disponibles pour chaque opération culturale (portance des sols selon leurs caractéristiques physiques et le type d'opération culturale). La variabilité des jours disponibles dans SIMEQ, comme celle des besoins en eau d'irrigation dans LORA, est évaluée avec la prise en compte de différents scénarios climatiques reproduisant la variabilité climatique. La faisabilité et la réalisation de chaque intervention sont alors analysées. L'agriculteur peut alors positionner ses choix d'investissement, d'itinéraires techniques et d'organisation du travail en fonction du niveau de risque climatique choisi.

Exemples d'utilisation

La Figure 3 montre un exemple de résultats avec deux assolements comparés en termes de risque climatique : monoculture de blé et assolement composé de trois cultures. Les opérations culturales sont réalisées avec un même parc matériel et une même disponibilité de la main d'œuvre (7h/jour maximum). Le niveau de risque climatique est alors noté de 0 (ensemble des opérations culturales effectuées en période optimale tous les ans) à 5. La surface travaillée par le parc matériel est augmentée pour apprécier la faisabilité des opérations. Pour un même niveau de risque (2), l' « Assolement à 3 cultures » permet de travailler 25 % de surface en plus par rapport à l'assolement « Monoculture de blé ». Le poids de l'investissement ramené à la surface travaillée est donc plus faible.

Figure 3 : Evolution de la surface travaillée par un parc matériel, du coût associé et du risque climatique de réalisation des opérations culturales à partir des essais « Essai Fermes de Boigneville»

Trend of the machinery costs and climatic risks of the crop management for a farm equipment pool working an increasing land area (from the "Fermes de Boigneville" experiment)

Les usages les plus fréquents de SIMEQ ont consisté à rechercher la surface maximale cultivable pour un parc matériel et une main d'œuvre associée, un assolement et un niveau de risque donnés. D'autres ont évalué l'intérêt de la simplification du travail du sol pour réduire les charges de mécanisation et le temps sur parcelle. Des producteurs s'organisant en assolement en commun ont

également fait appel à la démarche SIMEQ pour tester la faisabilité technique de leur organisation et son intérêt économique.
L'assolement le plus performant sur le plan de la mécanisation et de l'organisation du travail peut cependant être pénalisant sur le plan de la rentabilité « marché ». La démarche d'accompagnement des producteurs peut donc intégrer une évaluation complémentaire de la sensibilité des assolements les plus pertinents sur le plan organisationnel au risque de prix de marché.

Choix d'assolement, et risque de marché : ATOUPRIX

Principes

Le risque de marché est intégré dans le mode d'utilisation des outils LORA et SIMEQ par l'étude de plusieurs scénarios de prix indépendants. Mais l'outil ATOUPRIX, spécifique au risque de marché a été élaboré par ARVALIS (ITCF) en complément des précédents outils dans un contexte de libéralisation des marchés (Nicoletti *et al*, 1996). L'objectif est de rechercher l'assolement maximisant la marge brute ou la marge directe (prise en compte des charges de mécanisation) d'une exploitation selon les variations de prix des productions. Cet outil fait appel à de l'optimisation linéaire (module de résolution Gradient-LP d'Eurodécision) et intègre des contraintes de succession (couple culture –précédent, surfaces maximales ou minimales par culture) dans le choix de l'assolement optimal.

La fluctuation des prix de marché nécessite de tester plusieurs scénarios de prix et d'évaluer la robustesse des assolements dits optimaux. La variation du prix des productions est intégrée à coût des intrants constant. Cinq cent scénarios de prix sont mobilisés avec ou sans corrélation entre cultures. Le modèle propose plusieurs assolements selon le niveau de risque économique souhaité (variabilité de la marge) : par exemple l'assolement qui dégage en moyenne sur les 500 scénarios la meilleure marge, l'assolement qui dégage la marge la moins variable ou celui qui maximise la marge sur quelques scénarios. Les assolements qui dégagent une marge équivalente à 1% près de l'optimum recherché sont également proposés et permettent une première analyse de la robustesse de cette optimisation.

Exemple d'utilisation

La Figure 4 illustre ce choix d'assolements équivalents sur une exploitation de Champagne Crayeuse. L'assolement optimal est composé de betterave, blé, pois, luzerne, colza et orge. Une substitution du pois et d'une partie du blé par une sole supplémentaire en orge ou en colza permet d'obtenir des résultats équivalents à 10 €/ha près. L'opportunité de contrats spécifiques sur l'orge ou le besoin d'un délai de retour plus long pour une culture peut entrer dans les critères du choix final de l'utilisateur.

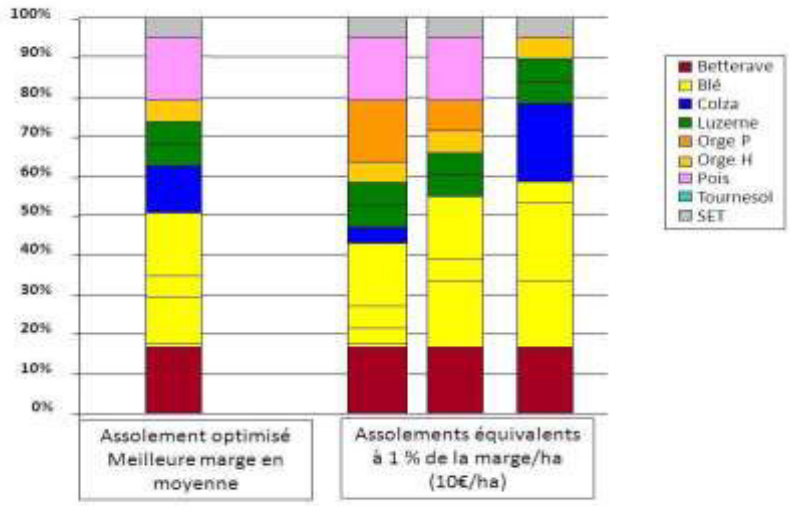

Figure 4 : Assolement optimisé et assolements dits équivalents issus de l'outil Atouprix sur une ferme type de Champagne crayeuse (SET : Surface équivalent Topographique)

Optimized and equivalent crop rotation from Atouprix model for a French Northern farm (Champagne area) (SET : Topographic equivalent area)

Ainsi l'utilisateur peut faire son choix d'assolement en fonction de sa propre aversion au risque économique (variabilité des marges) puis analyser ce choix en intégrant des critères plus techniques : la maîtrise des techniques de culture proposées ou la nécessité d'investir dans un équipement spécifique, ou impact sur l'organisation du travail. ATOUPRIX peut intégrer dans son choix d'assolement une contrainte « temps disponible par mois et besoin en temps par culture ». Une analyse plus complète de la contrainte organisation du travail nécessite par contre d'associer à l'utilisation d'ATOUPRIX celle de SIMEQ.

Perspectives

Les outils d'aide au choix stratégique d'assolement présentés ont été utilisés avec différents acteurs : producteurs, agents ou décideurs d'organismes économiques ou réglementaires. L'intérêt de ces outils a été renforcé par la mise en place d'une forte interactivité entre les concepteurs et les utilisateurs, puis par des démarches participatives qui ont permis de mieux prendre en compte les attentes, les objectifs et les contraintes des acteurs.

Ces démarches ont été et peuvent être conduites lors de regroupement d'exploitations pour apprécier l'opportunité d'assolement en commun, pour en planifier l'organisation et partager les atouts et contraintes de cette stratégie d'organisation. Elles ont été largement mises en œuvre au cours d'études sur l'adaptation des systèmes irrigués à des contraintes sur les volumes d'eau disponibles ou leurs conditions d'usage.

L'utilisation des outils précités est généralement complexe, elle n'est donc pas de libre accès et nécessite une formation pour bien en appréhender les mécanismes, d'en connaître les paramètres de sensibilité et interpréter les résultats. Les utilisateurs doivent être particulièrement vigilants à la sensibilité ou la robustesse des solutions proposées et différencier des solutions selon les niveaux maximaux de « risque » souhaités par les producteurs.

Les besoins identifiés d'évolution de ces outils se classent selon trois axes.

Le premier est le besoin, pour les producteurs notamment, d'en revenir à des indicateurs par culture une fois que les enjeux sur les évolutions de l'assolement sont établis : cela a été notamment bien illustré en système irrigué, avec les différentes conduites du maïs en terme de précocité et de niveau de satisfaction des besoins en eau.

La deuxième est le besoin de disposer d'une évaluation multicritère des assolements proposés, à la fois sur le plan économique, technique, environnemental et réglementaire. Cette orientation est déjà engagée dans les outils cités précédemment. Elle est à poursuivre.

Le contexte et son évolution sont de plus en plus complexes et incertains. Le besoin de propositions d'assolements basées sur une optimisation « multi-facteurs » se fait de plus en plus sentir. Les outils présentés n'intègrent souvent que partiellement les différents facteurs de risque et dans ce cas ne les prennent en compte que par la définition de différents scénarios. Toutefois, la simulation n'est pas simple d'utilisation, encore insuffisante, et l'analyse et la présentation des résultats est souvent ardue.

Cependant, combiner plusieurs facteurs à la fois économiques et techniques associant des niveaux de risques différents est complexe. Une des voies de progrès est l'optimisation multicritère. Certains éléments sont difficiles à prendre en compte, comme l'aversion au risque. Le nombre de questions et d'éléments d'incertitude croît également avec les nouvelles attentes notamment environnementales comme la consommation d'énergie ou l'émission des gaz à effet de serre (GES). Les questions méthodologiques sont encore nombreuses.

Au regard de ces orientations, la question du type d'outil et sa complexité se pose une nouvelle fois : doit-on s'orienter vers des outils complexes et intégrateurs des différentes facteurs de risques ou vers une association de différents outils, plus simples, associant un nombre réduit de facteurs de risques, utilisés en parallèle ?

Pour une bonne utilisation de ces outils, actuels ou à venir, il est absolument nécessaire de continuer à disposer de référentiels techniques et économiques régulièrement mis à jour pour alimenter la réflexion sur l'assolement et les outils qui pourraient être développés. Ce besoin de connaissances et de références est particulièrement important pour les systèmes irrigués : connaissance des rendements potentiels et sous stress hydrique, besoins en eau d'irrigation, charges opérationnelles d'irrigation, pour différents contextes

pédoclimatiques. Les études, expérimentations, et références acquises sont partagées actuellement entre les différents acteurs de la recherche. Continuer dans cette voie est la condition nécessaire à l'opérationnalité des outils d'aide à la décision.

Références bibliographiques

Coumou, D., Rahmstorf, S., 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 25 march 2012, N°1452.

Gillet, JP., Boisgontier, D., Nicoletti, JP., 1992. SIMEQ SIMulateur d'EQuipement. *Compte rendu 4ème congrès d'informatique agricole* ; Paris-Versailles 1-3 juin 1992.

Jacquin, C., Leveau, V., Longchamp, JY., Nicoletti, JP., Rio J., 2005. Réforme de la PAC : l'impact sur vos marges, les leviers pour intervenir. *Grandes cultures infos -Perspectives Agricoles Hors-Série*, Juin 2005.

Jacquin, C., Deumier, JM, Leroy, P, 1993. LORA et la gestion de l'eau dans l'exploitation agricole. *Perspectives agricoles*,184 , 73-82.

Leveau, V., 2012. Bien évaluer ses risques pour mieux les gérer. *Perspectives Agricoles*, Juin 2012, 4-7.

Marsac, S., Deumier, JM., Moynier, JL., Lacroix, B, Leroy, P., Champolivier, L., 2010. Systèmes irrigués : LORA, un outil pour la réflexion sur les assolements et la gestion de l'eau. *Perspectives agricoles* n°365, mars 2010, 3p.

Marsac, S., Deumier, JM., Lacroix, B., Briand, S., 2012. Hausse des charges d'irrigation : agriculteurs et spécialistes réfléchissent à l'adaptation des assolements. *Perspectives agricoles* n°386, Février 2012, 5p.

Nicoletti, JP, Leroy, P., Maxime, F., Papy, F., 1996. Les décisions d'assolement dans un contexte de prix fluctuant. *Actes du Colloque du Cinquantenaire de l'INRA, Aide à la décision et choix de stratégies dans les entreprises agricoles,* Laon (FRA), 10-11/12/1996