Innovations Agronomiques 14 (2011), 151-164

Pourquoi irriguer le tournesol, une culture réputée tolérante à la sécheresse ?

Champolivier L.[1], Debaeke P.[2], Merrien A.[3]

(1) Cetiom, Centre INRA de Toulouse, BP 52627, 313216 Castanet-Tolosan cedex

(2) INRA, UMR AGIR, BP 52627, 31326 Castanet-Tolosan cedex

(3) Cetiom, Laboratoire d'analyses d'Ardon, BP 90635, 45166 Olivet Cedex

Correspondance : champolivier@cetiom.fr

Résumé

Le tournesol est une culture réputée tolérante à la sécheresse mais qui valorise bien de faibles apports d'eau apportés autour de la floraison. A l'aide d'expérimentation et de modélisation, il a été montré que 100 mm d'eau d'irrigation permettent d'augmenter le rendement de 5 à 15 q/ha selon les sols et les conditions climatiques. La teneur en huile profite également du maintien de la surface foliaire active permise par l'irrigation de complément. Si moins de 5 % des surfaces de tournesol sont irriguées actuellement, cette proportion pourrait augmenter avec la raréfaction des ressources hydriques car le tournesol se satisfait d'un faible volume d'irrigation. Pour accompagner cette pratique, il convient d'améliorer les règles de décision et leur mise en oeuvre (modélisation, télédétection) et d'en faciliter la diffusion par des avertissements collectifs.

Mots-clés : tournesol, irrigation, règle de décision, indice foliaire

Abstract: Why to irrigate sunflower, a drought tolerant crop?

Sunflower is considered as a drought-tolerant crop which can use efficiently limited irrigation applications around flowering. With experimentation and crop simulation studies, it has been demonstrated that 100 mm of irrigation can increase grain yield by 5 to 15 q/ha according to soils and climatic conditions. By maintaining active leaf area during grain filling, supplemental irrigation contributes to higher achene oil content. Although less than 5 % of sunflower acreages are irrigated today, this proportion might increase with water scarcity as limited amounts are required on sunflower. To promote this practice, improved decision rules should be built and disseminated based on remote sensing and crop simulation.

Keywords: sunflower, irrigation, decision rule, leaf area index

1. Le tournesol et l'eau

Le tournesol est une composante majeure des assolements du Sud de l'Europe. Souvent cultivé sans irrigation, en alternance avec des céréales à pailles dans les situations sèches, en climat sub-humide à semi-aride, il peut aussi s'insérer dans la sole irriguée avec des cultures à forts besoins en eau et à forte valeur ajoutée.

En effet, parmi les cultures semées au printemps et réalisant leur cycle reproducteur en été, le tournesol est une des plus tolérantes à la contrainte hydrique (Morizet et Merrien, 1990). Deux principales raisons à cela : (i) un enracinement pivotant et profond, pouvant exploiter la gamme d'eau utile sur une bonne partie des horizons explorés (Cabelguenne et Debaeke, 1998) et (ii) une capacité à ajuster sa surface foliaire lorsque la plante est soumise à une contrainte hydrique précoce (Blanchet et Merrien, 1990). On

a parlé ainsi de mécanismes d'adaptation à la sécheresse, consécutivement à une contrainte modérée en phase végétative, mais sous condition d'une bonne implantation du pivot assurant une exploitation complète de la réserve en eau du sol (Blanchet et al., 1990). Cette adaptation permettrait à la culture de mieux gérer la ressource hydrique du sol en phase végétative et ainsi de limiter la survenue de stress en période de floraison, cette dernière phase étant la plus sensible au manque d'eau (Robelin, 1967). Pour cela, il a été proposé des parcours optimaux de croissance, basés sur des courbes d'indice foliaire, optimisant gestion de la ressource hydrique et interception du rayonnement (Picq, 1990). Le but de ces parcours est de limiter la croissance foliaire en phase végétative pour mieux gérer la réserve en eau et favoriser la mise en place éventuelle des mécanismes d'adaptation.

Cependant, cette tolérance à la sécheresse intrinsèque qui permet la diversification de la sole non irriguée par l'introduction d'un oléagineux d'été dans les régions méridionales, ne suffit pas à maintenir des rendements suffisants pour la filière. Ainsi, lors d'années humides comme 2007 ou 2008 les rendements nationaux ont pu atteindre 25-27 q.ha^{-1} ; à l'inverse, lors d'années sèches comme 2003, 2005 ou 2006, les rendements moyens ont stagné à 22-23 q.ha^{-1} (Figure 1).

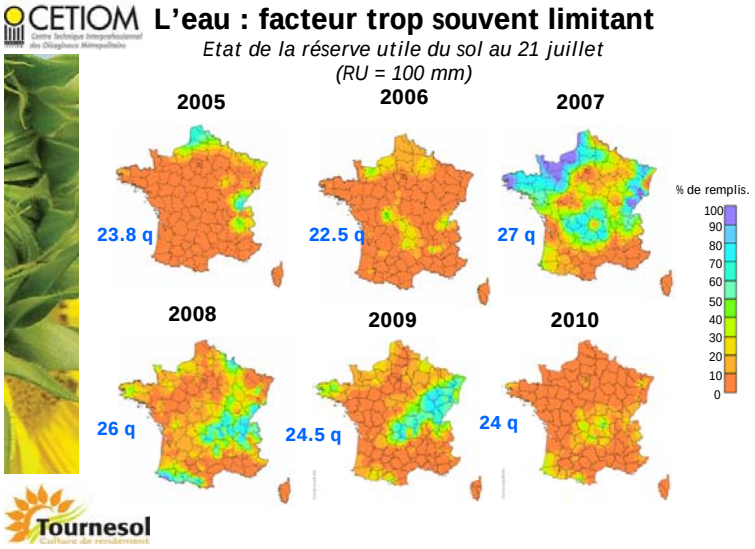


Figure 1 : Rendement du tournesol et intensité de la sécheresse estivale

Par ailleurs, depuis 30 ans, le cumul Pluie-Evapotranspiration Potentielle des mois de Juin à Août a diminué de 60 mm dans le Sud-Ouest (poste Blagnac, 1980-2009), justifiant plus que par le passé la nécessité d'un complément de disponibilité hydrique par l'irrigation. L'un des leviers les plus efficaces pour augmenter la production nationale souhaitée par la filière pourrait donc être l'extension de la pratique de l'irrigation d'appoint sur cette culture dans les exploitations équipées.

Bien que la réponse du rendement du tournesol à l'irrigation soit plus faible que celle du maïs (Cabelguenne et al., 1982 ; Stone et al., 1996), plusieurs études ont montré que le gain de rendement et la rentabilité de l'irrigation pouvaient être significatifs dans certains contextes économiques, climatiques et hydrauliques (Merrien et Grandin, 1990 ; Unger, 1990 ; Goksoi et al., 2004 ; Demir et al., 2006). Les besoins en eau de la culture pour maximiser le rendement ont été évalués à 420 mm en moyenne : ceci correspond à 69 % de l'évapotranspiration maximale du tournesol, contrairement à d'autres cultures comme le maïs qui maximisent leur production pour une consommation d'eau proche de 100 % de l'ETM (Merrien et Grandin, 1990 ; Nolot et Debaeke, 2003). Ainsi en tournesol, il ne faut pas chercher à maximiser la transpiration pour maximiser le rendement.

Les besoins optimaux par phase sont en moyenne de 160 mm en pré-floraison, 70 mm pendant la floraison, et 190 mm en post-floraison. Les 3 objectifs qui guident la gestion de l'eau en tournesol, qu'il s'agisse d'eau du sol ou d'irrigation, sont les suivants :

(i) en pré-floraison, obtenir un indice foliaire modéré (environ 2.5) ou une biomasse aérienne de 400 $g.m^{-2}$: tout excès de croissance foliaire entraîne une sur-consommation d'eau préjudiciable au maintien de la surface foliaire pendant la floraison et le remplissage des graines ; par ailleurs, certaines maladies (notamment le phomopsis) sont favorisées par un excès de surface foliaire précoce (Debaeke et al., 2003).

(ii) au cours de la floraison, une bonne alimentation hydrique est requise pour réussir la fécondation et la nouaison (Robelin, 1967)

(iii) le maintien de la surface foliaire active est une condition nécessaire au bon remplissage des akènes (rendement des akènes et teneur en huile). D'après Merrien (1992), maintenir un indice foliaire de 2 pendant 45 jours serait optimal pour le rendement et la production d'huile.

Il peut donc être intéressant d'irriguer avant floraison pour augmenter l'indice foliaire si celui-ci est limitant par rapport à l'interception du rayonnement ; à l'inverse, si la végétation est exubérante à la floraison, l'irrigation en post-floraison aura pour objectif de maximiser la durée de surface foliaire en prévenant toute sénescence accélérée.

Cependant, l'intérêt d'irriguer le tournesol ne doit pas être évalué uniquement à l'échelle de la parcelle mais également à l'échelle de l'exploitation ou du collectif d'irrigants, notamment dans un contexte de ressources limitées (Jacquin et al., 1993 ; Lorite et al., 2004 ; Deumier et al., 2006). Par ailleurs, l'insertion du tournesol dans la sole irrigable, en vue ou non de son irrigation, peut répondre à d'autres impératifs notamment organisationnels ou agronomiques.

Dans cette synthèse, on se demandera s'il est opportun d'irriguer le tournesol, culture réputée tolérante à la sécheresse, en répondant à 3 questions :

1) comment et pourquoi le tournesol est-il inséré aujourd'hui dans la sole irriguée ?
2) quels résultats agronomiques peut-on attendre de l'irrigation du tournesol ?
3) comment faire évoluer le conseil stratégique et tactique pour mieux irriguer cette culture dans un contexte d'agriculture durable ?

2. **Typologie des irrigants du tournesol: qui sont-ils et pourquoi irriguent-ils ?**

2.1 Approche statistique nationale

A l'aide des enquêtes postales réalisées par le Cetiom depuis 2001 dans la plupart des régions de production (~ 1000 producteurs par an), on peut suivre l'évolution des surfaces irriguées en tournesol (Tableau 1).

Tableau 1 : Evolution par région de la part des surfaces de tournesol irriguées (%)

	2001	2002	2004	2006	2009
Centre-Pays de Loire	2	5	5.8	5.8	2.1
Ouest Atlantique	1.5	1.5	2.4	5	3.4
Rhône-Alpes + Sud-Est	8.5	4	17.7	33	12.8
Sud-Ouest	1	0	4	1.4	4

On constate que la fraction de tournesol irrigué est faible dans le Sud-Ouest, la priorité étant donnée au maïs dans la sole irriguée et le tournesol étant majoritairement cantonné aux coteaux argilo-calcaires peu équipés ou à faibles ressources.

Le développement récent de cette pratique est perceptible dans les régions Pays de la Loire et Poitou-Charentes. Dans le Sud-Est, la part des surfaces irriguées est forte et fluctuante mais la sole de tournesol est peu importante ; la part de la production de semences, les moindres restrictions en eau mais aussi un échantillonnage biaisé par les faibles surfaces peuvent expliquer ce plus fort pourcentage.

En dehors de ces zones où la culture est majoritairement pratiquée, l'irrigation n'est pas mobilisée pour le tournesol (sols profonds, plus faible demande climatique).

En 2009, seules 4% des surfaces enquêtées ont été irriguées au niveau national.

Dans le Sud-Ouest, des statistiques plus anciennes synthétisées par Balas (1988) sont disponibles : les différents observatoires et enquêtes conduits au cours des années 80, dans un contexte de prix attractifs pour les oléoprotéagineux, font état de taux d'irrigation du tournesol compris entre 10 et 15 %. Après la PAC 1992, les taux observés étaient de 2-3 % (enquêtes Cetiom 1996, 1999).

En moyenne, 1 à 2 tours d'eau sont pratiqués (30 à 50 mm) dans les régions Centre, Pays de la Loire, Poitou-Charentes et Midi-Pyrénées. En Rhône-Alpes, 3 tours d'eau sont réalisés (soit 100 mm en moyenne). En moyenne au niveau national, la quantité d'irrigation est de 50 mm en 2 tours d'eau. L'irrigation du tournesol est donc aujourd'hui une pratique peu répandue ; la conduite de l'irrigation est de type 'appoint'.

2.2 Approche par entretiens auprès d'irrigants

En 2009, une enquête (interviews) a été conduite auprès de 27 irrigants cultivant du tournesol en Midi-Pyrénées et en Poitou-Charentes (Laguionie, 2009). Les déterminants de leur choix d'insérer ou non le tournesol dans la sole irrigable et de l'irriguer ou non ont été analysés.

Dans ce panel réalisé dans les deux principales régions de production, le tournesol est inséré dans la sole irrigable par 19 irrigants sur 27. Les raisons invoquées sont les suivantes :

- les qualités agronomiques de la culture : rôle de tête d'assolement, bon précédent à céréales à pailles car présentant une récolte précoce et laissant une structure de sol favorable pour une implantation simplifiée, peu d'intrants mobilisés (trésorerie)…Ces arguments sont mis aussi en avant également pour la sole non irriguée (Lecomte et Nolot, 2011) ;
- une contribution à la diversification de la succession de cultures et à la résolution de problèmes de salissement par les mauvaises herbes consécutifs à la monoculture d'espèces valorisant bien l'irrigation (maïs) ;
- une capacité à valoriser de faibles volumes d'eau d'irrigation

Seuls 12 irrigants sur 19 implantent le tournesol dans la sole irrigable avec l'intention de l'irriguer si le contexte climatique l'exige ou si la disponibilité en ressources et en moyens d'irrigation le permet. Face à cela, deux comportements sont rencontrés : soit une irrigation quasi-systématique, soit une irrigation opportuniste.

Une partie des irrigants ont récemment inséré du tournesol dans leur sole irrigable et ce pour 3 types de raisons :

- un contexte hydraulique devenu limitant ; ainsi tout ou partie du maïs est remplacé par du tournesol irrigué car le contexte de ressources (sécheresse, réglementation) ne permet plus de satisfaire les besoins en eau de la totalité de la sole de maïs,
- l'érosion des différentiels de marges brutes entre cultures peut rendre intéressant le choix d'une culture présentant par ailleurs d'autres atouts agronomiques et organisationnels,

- la résolution de problèmes de fertilité sur certaines parcelles (en premier lieu, pression adventice liée à la monoculture de maïs).

3. **La conduite culturale du tournesol irrigué**

A partir de l'enquête précédente, nous avons cherché à instruire 3 questions concernant la conduite culturale (dont la stratégie d'irrigation) du tournesol irrigué.

3.1 Les irrigants modifient-ils leur conduite de culture en irrigué ?

Parmi les irrigants du tournesol, seuls 4 sur 12 ont mentionné des différences de conduite culturale liées à la décision d'irriguer en raison de l'augmentation du potentiel de rendement mais aussi de certains risques parasitaires : augmentation de la densité de peuplement et de la dose d'azote, application d'un fongicide. De manière générale, la conduite est peu affectée par la décision d'irriguer et les variations opérées restent marginales. Dans le cadre de tests de systèmes de culture, il a été montré que la conduite irriguée pouvait justifier des choix différents en matière de variété, de densité de peuplement, de fertilisation et de protection fongicide (Debaeke et al., 2003 ; Nolot et Debaeke, 2003).

L'analyse des enquêtes Cetiom de 2006 et 2009 a permis de mieux caractériser les pratiques des irrigants (2-4 % des situations selon les régions) : ainsi, les producteurs qui irriguent le tournesol traitent plus fréquemment contre le phomopsis, sèment plus tardivement et avec des écartements plus grands (notamment en Poitou-Charentes), probablement parce que le tournesol est implanté dans les exploitations irrigables où le maïs est la principale culture irriguée.

3.2 Quelles stratégies prévisionnelles sont mises en œuvre ?

La plupart des irrigants déclarent mettre en œuvre une stratégie d'irrigation prévisionnelle pour le tournesol. On peut distinguer 4 périodes d'intervention : 1. pré-floraison (entre E1 et E5) ; 2. début floraison (F1) ; 3. fin floraison (F4) ; 4. début remplissage (M0). La plupart des irrigants (16/23) prévoient 2 apports d'eau en périodes 1 et 3 ; les autres irrigants envisagent 3 (périodes 1 à 3) à 4 apports (périodes 1 à 4) si nécessaire.

Les quantités apportées par tour d'eau varient de 20 à 40 mm, 30 mm étant la dose majoritairement choisie *(*12/23*).*

De manière globale, il apparaît que :

- les 12 irrigants du tournesol dits « opportunistes » adoptent des stratégies à 2 apports, en raison d'autres cultures prioritaires pour l'irrigation ;
- les 11 irrigants réguliers du tournesol ont tendance à réaliser 1 ou 2 apports supplémentaires notamment s'ils sont « néo-irrigants » car ils ont souvent délaissé le maïs où les apports sont plus conséquents et ils disposent de moyens d'arrosage confortables pour le tournesol. Ils sont par ailleurs moins enclins à adopter une conduite restrictive se traduisant par des symptômes de souffrance pour la plante.

3.3 Quelles règles de décision sont mises en oeuvre ?

Quatre indicateurs de décision ont été cités par les irrigants : le stade de la plante, son état physiologique, le climat prévisionnel, la durée (en jours) depuis la précédente irrigation.

Pour le premier tour d'eau, en pré-floraison et en post-floraison, trois types de règles de décision ont été identifiés :

- Irrigation systématique : SI la plante atteint un certain stade phénologique ALORS l'apport est réalisé,
- Irrigation selon les besoins de la plante : SI la plante atteint un certain stade ET montre des signes de stress hydrique ALORS l'apport est réalisé,
- Irrigation selon les besoins de la plante et en tenant compte des prévisions climatiques: SI la plante atteint un certain stade ET montre des signes de stress hydrique ET qu'aucune pluie n'est prévue dans les jours à venir ALORS l'apport est réalisé.

Tableau 2 : Indicateurs de décision des agriculteurs pour l'irrigation du tournesol

Indicateurs	Apports concernés	Niveaux de l'indicateur
Stade de la plante	*Préfloraison*	De l'apparition du bouton floral à son début d'ouverture
		Au début d'ouverture du bouton floral
	Post-floraison	Du début de flétrissement des « pétales » à la fin de la chute des fleurs ?
Besoin de la plante	*Préfloraison et post-floraison*	Flétrissement des feuilles du bas
		Dessèchement du pied
		Dessèchement des feuilles
		Changement de couleur : de vert foncé à vert clair, voire jaune
Conditions climatiques à venir	*Préfloraison et post-floraison*	Pas de pluie annoncée pour les jours à venir
Nombre de jours après l'apport précédent	*Préfloraison et post-floraison*	En moyenne 7 jours après pour les stratégies à plus de 2 apports

Le deuxième apport en pré-floraison ou en post-floraison est régi par les règles suivantes :

- Systématique : S'il s'est écoulé N jours après le 1er apport ALORS l'apport est réalisé,
- Besoins de la plante + Climat : comme précédemment.

3.4 Le conseil en irrigation

Le conseil délivré par le Cetiom a peu évolué depuis la synthèse élaborée par Blanchet et Merrien (1990). Celui-ci se base sur l'état de croissance du tournesol avant floraison apprécié par l'indice foliaire et modulé par le type de sol et les conditions climatiques régionales (Tableaux 3-4) :

- Démarrer l'irrigation avant la floraison si le tournesol est peu vigoureux et si le sol est sec ; sinon, démarrer au plus tôt à la floraison pour éviter une croissance foliaire excessive et l'accroissement du risque parasitaire (Tableau 3).
- Arrêter l'irrigation quand le dos du capitule vire au jaune citron (stade M1).
- Ne pas apporter d'eau en pleine floraison si les prévisions météo annoncent un temps perturbé, afin de ne pas favoriser le sclérotinia du capitule.
- Privilégier les variétés peu ou très peu sensibles au phomopsis et au sclérotinia en conduite irriguée (cf conseil Ole@var)

Tableau 3 : Règles de décision diffusée par le CETIOM en régions Centre, Est et Ouest Atlantique

	Vous disposez de :		
	1 tour d'eau 30/35 mm	2 tours d'eau 60/70 mm	3 tours d'eau 90/100 mm
Croissance modérée au stade bouton	Juste avant la floraison ou plus tôt si les feuilles de la base jaunissent	▪ Juste avant la floraison ou plus tôt si les feuilles de la base jaunissent ▪ Fin floraison	Sols superficiels ▪ Bouton étoilé ▪ Début floraison ▪ Fin floraison Sols profonds ▪ Début floraison ▪ Fin floraison ▪ 10 jours plus tard
Croissance excessive au stade bouton	Fin floraison	▪ Fin floraison ▪ 10 jours plus tard	Ne pas dépasser 2 tours d'eau (colonne précédente)

Tableau 4 : Règles de décision diffusée par le CETIOM en région Sud

	Sols superficiels	Sols moyennement profonds
Croissance modérée au stade bouton 	Sud-Ouest : 2 à 3 tours d'eau Sud-Est : 2 à 4 tours d'eau ▪ Avant floraison ▪ Début floraison ▪ Fin floraison ▪ 10 jours plus tard*	Sud-Ouest : 1 à 2 tours d'eau Sud-Est : 1 à 3 tours d'eau ▪ Début floraison ▪ Fin floraison ▪ 10 jours plus tard*
Croissance excessive au stade bouton 	2 à 3 tours d'eau ▪ Début floraison ▪ Fin floraison ▪ 10 jours plus tard	1 à 2 tours d'eau ▪ Fin floraison ▪ 10 jours plus tard

En sol profond, l'irrigation se justifie uniquement en année sèche. Un tour d'eau en fin floraison est conseillé.
En gras : intervention prioritaire si vous ne pouvez faire qu'un tour d'eau.
** Dans le Sud-Est (vallée du Rhône et bordure méditerranéenne), la forte évapotranspiration et la faible pluviométrie justifient souvent un tour d'eau supplémentaire 10 jours après la fin de la floraison. Après la première irrigation, la durée du tour d'eau recommandée est d'une dizaine de jours, tant qu'il ne pleut pas. Après une pluie, décaler le tour d'eau d'un jour par tranche de 5 mm. Préférer des doses de 30-35 mm à chaque tour d'eau à des apports plus faibles et plus rapprochés.*

Ce conseil est relayé par certaines Chambres d'Agriculture pour lesquelles le tournesol fait l'objet d'un Avertissement Irrigation. Dans d'autres cas, le conseil est centré sur le stade et le délai entre 2 arrosages. De manière générale, l'état végétatif du tournesol est peu pris en compte dans la recommandation et de ce fait il n'est pas mentionné explicitement par les irrigants. A l'inverse, l'état de souffrance hydrique de la plante (flétrissement, jaunissement) est plus souvent évoqué. Il traduit un stress hydrique bien installé alors que la réduction de surface foliaire résulte d'une contrainte modérée précoce.

4. La réponse agronomique du tournesol à l'irrigation

Plusieurs méthodes ont été mobilisées pour évaluer la réponse de la culture à l'irrigation :

- des essais analytiques comparant une ou plusieurs stratégies d'irrigation (doses, périodes) à une conduite non irriguée pour une ou plusieurs variétés ; il peut s'agir d'essais en bandes ou avec répétitions (plus rarement), réalisés en station expérimentale ou en parcelles d'agriculteurs (Balas, 1990 ; Merrien et Grandin, 1990) ;
- des essais 'itinéraires techniques' où l'on compare des conduites optimisées avec ou sans irrigation : on évalue plus globalement l'intérêt de conduites irriguées ou non (Debaeke et al., 1998, 2003 ; Nolot et Debaeke, 2003) ;
- des simulations à l'aide de modèles de culture afin de prendre en compte une grande variabilité climatique (Quinones et al., 1990 ; Aboudrare et al., 2000 ; Rinaldi, 2001 ; Casadebaig, 2008 ; Debaeke et al., 2011) ; ces modèles peuvent avoir ou non une structure bio-décisionnelle, c'est-à-dire que les calendriers d'irrigation sont activés ou non par des règles de décision du type 'si… alors…' (Bergez et al., 2001) qui conditionnent l'apport d'eau à l'état atteint par un indicateur du sol, de la plante ou du climat.

4.1 Essais analytiques en station

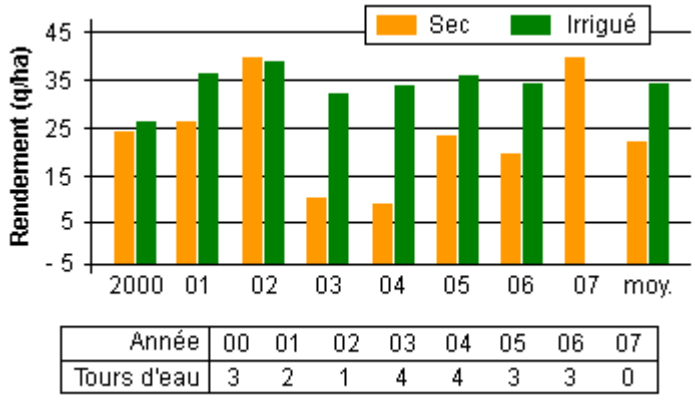
Des essais ont été menés en station notamment par la CACG (1981-1989) en sol argilo-calcaire des Côteaux Est du Gers de profondeur 40 à 90 cm (Balas, 1990). Le rendement moyen en pluvial était de 29 q/ha avec une forte variabilité inter-annuelle (17-42 q/ha). La stratégie à 2 apports (100 mm) a permis d'augmenter le rendement de 4.3 à 17.3 q/ha selon les années (soit 9.6 q/ha en moyenne).

Huit années d'expérimentation (2000-2007) ont été menées en Rhône-Alpes (station de Lyon St Exupéry) en sol de graviers profond de réserve utile de 130 mm permettant d'atteindre 20 q/ha en moyenne avec une forte variabilité inter-annuelle (Figure 2). L'irrigation y est justifiée 6 années sur 8 avec une efficacité de 5 q/ha par tour d'eau de 40 mm, quelle que soit la période d'apport à condition qu'elle se situe durant la phase de sensibilité maximale. Les apports supplémentaires contribuent à augmenter le gain, avec une efficacité globale de 12 à 14 quintaux par 100 mm apportés.

Dans ces situations, deux tours d'eau (avant et après la floraison) représentent la meilleure stratégie pour augmenter le rendement. Dans un contexte de disponibilité en eau restreinte et de faible développement végétatif, une seule irrigation avant ou après floraison assure un gain de rendement comparable. Mais dans ce cas, il est préférable d'irriguer en post floraison car on améliore considérablement la teneur en huile (+ 4 points). En moyenne, le gain de teneur en huile des akènes est de 1,4 point d'huile pour 100 mm d'irrigation (Figure 3).

En effet, l'irrigation améliore la teneur en huile, sans changer la teneur en acide oléique, en permettant un maintien de la surface foliaire active en post-floraison et donc l'interception d'une plus grande quantité de rayonnement (Aguirrezabal et al., 2003). Des conséquences négatives sur la teneur en

acide oléique ont pu être observées (Flagella et al., 2002), minimisées par l'utilisation de variétés à forte teneur en oléique.



Année	00	01	02	03	04	05	06	07
Tours d'eau	3	2	1	4	4	3	3	0

Figure 2 : Variabilité de la réponse du rendement à l'irrigation : site du CREAS à Satolas (69), sol de graviers profond.

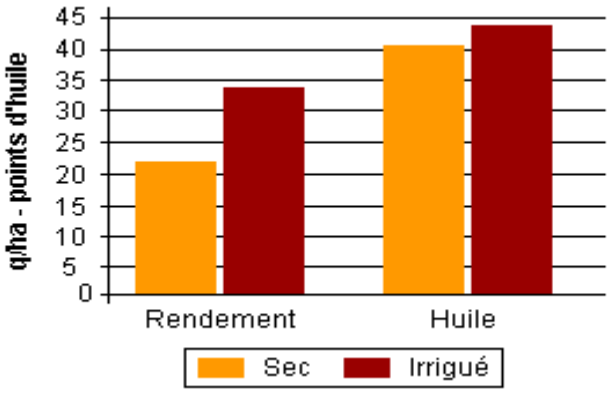
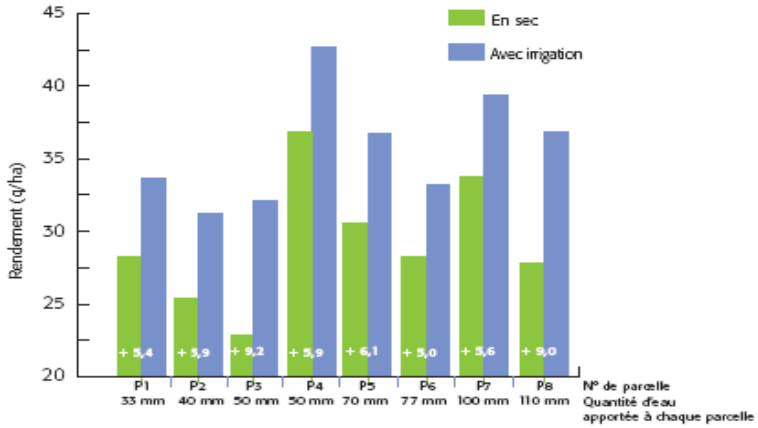


Figure 3 : Réponse moyenne du rendement et de la teneur en huile sur le site du CREAS à Satolas (69) en sol de graviers profond : 1 à 4 tours d'eau, 0 en 2007 - 1 tour d'eau = 40 mm.

4.2 Réseau de parcelles d'agriculteurs

Un réseau de parcelles d'agriculteurs a été suivi en Poitou-Charentes en 1999 et 2000 (Figure 4) en sols de groies. Les situations où le tournesol atteint la floraison sans excès de végétation valorisent mieux les apports d'eau limités (100 mm), ce qui est plus fréquent en sols superficiels. Dans ce cas, deux à trois tours d'eau pendant la phase floraison - remplissage du grain assurent 8 à 10 q/ha de mieux et 3 à 4 points d'huile en plus. Cet objectif est plus facilement atteint quand la structure du peuplement est régulière et la fertilisation azotée ajustée aux besoins.



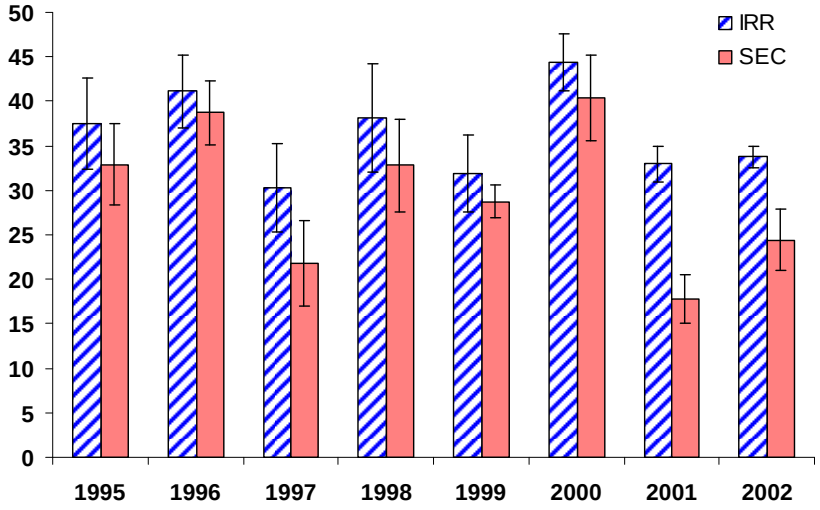
Les apports d'eau ont été réalisés selon les règles de décision basées sur l'appréciation de l'état végétatif et en utilisant en complément l'état hydrique du sol, contrôlé par une sonde Watermark® .

Figure 4 : Variabilité de la réponse du rendement du tournesol à l'irrigation sur un réseau de parcelles en Poitou-Charentes (2000) : apports de 33 à 110 mm

4.3 Tests d'itinéraires techniques

Des tests de systèmes de culture ont été menés sur la station INRA d'Auzeville entre 1995 et 2002 en sol d'alluvions profond (RU = 180-250 mm) comparant une conduite non irriguée et une conduite irriguée avec une adaptation de l'ensemble des techniques (Nolot et Debaeke, 2003 ; Debaeke et al., 2003). Ainsi, en conduite irriguée, le semis est plus dense, l'apport d'azote plus élevé, l'apport de fongicide systématique eu égard aux risques de phomopsis et de phoma (tige) renforcé. Des choix variétaux différents ainsi que des dates de semis différentes ont parfois été décidés. De ce fait, on ne compare pas explicitement la réponse à l'irrigation mais plutôt la réponse du système irrigué avec sa cohérence agronomique (Figure 5). L'augmentation moyenne du rendement est de 6 q/ha en irrigué pour un apport moyen d'eau de 105 mm.

Figure 5 : Rendement du tournesol en conduite irriguée ou non à Auzeville (31) sur la période 1995-2002



Ainsi, sur la base d'expérimentations pluriannuelles, il apparaît que les gains de rendement, variables selon le niveau de déficit hydrique de l'année, sont élevés en année sèche sur sols superficiels : de 5 à 7 q/ha en moyenne pour 60 à 90 mm d'eau en 2 à 3 apports. Des apports modérés répartis de fin juin à fin juillet sont souvent très bien valorisés. L'irrigation permet alors de corriger un développement végétatif insuffisant (surface foliaire), d'accroître le nombre de graines par capitule puis de le conserver avec un poids de mille graines optimal.

4.4 Simulation

En dépit du caractère pluriannuel des expérimentations, la variabilité climatique et le type de sol des situations d'étude peuvent limiter la généralisation des réponses à l'irrigation. Par ailleurs, l'expérimentation ne permet d'explorer qu'un nombre de combinaisons (dates, doses) restreint. C'est pourquoi dans le domaine de l'irrigation la modélisation dynamique est souvent étudiée pour explorer une gamme pédoclimatique large en complément de l'expérimentation. Texier (1992) a fait état de premiers travaux de simulation menés sur tournesol avec HEOL. Laguionie (2009) utilisant le modèle SUNFLO (Debaeke et al., 2011) a simulé différentes stratégies d'irrigation variant par le nombre d'apports (1-4) et le stade du tournesol (E4, F1, F4, M0) pour 3 niveaux de réserve utile (60, 100, 150 mm), 2 profondeurs de sol (40, 70 cm), 2 régions (Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes) et 20 années climatiques.

Ainsi, selon les contextes, on obtient un gain de rendement moyen de 5.7 q/ha pour 100 mm avec des réponses comprises entre 1.6 et 11.5 q/ha (Tableau 5). La stratégie à un apport au stade E4 se révèle

la plus efficiente sur le plan agronomique car elle joue sur la surface foliaire souvent limitante dans les contextes de sols superficiels à moyennement profonds.

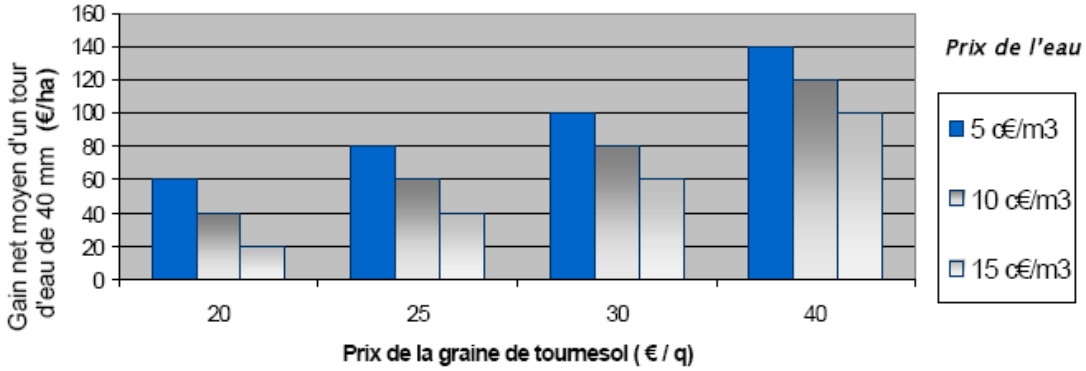
Tableau 5 : Réponse du rendement (q/ha) du tournesol à l'irrigation pour 4 types de sol en Midi-Pyrénées : gain de rendement pour 100 mm, gain total et gain relatif par rapport à au rendement non irrigué. Les rendements moyens en sec sont respectivement 28, 23, 21, et 17 q/ha pour les 4 situations. Stratégies pratiquées par les irrigants et stratégies recommandées par le CETIOM.

			Moyenne des 20 dernières années					
			RU 150 mm (profondeur 70 cm)			RU 100 mm (prof 70 cm)		
			gain (q/ha) pour 100 mm	gain total (q/ha)	gain en %	gain (q/ha) pour 100 mm	gain total (q/ha)	gain en %
Sols moyennement profonds (70 cm)	4 apports	E4+F1+F4+M0 (120 mm)	4.9	5.9	21.1	6.2	7.4	32.3
	3 apports	E4+F1+F4 CETIOM (120 mm)	4.3	5.2	18.5	3.8	4.5	19.7
		E4+F4+M0 (90 mm)	5.0	4.5	16.1	5.8	5.2	22.4
	2 apports	E4+F4 (60 mm)	6.2	3.7	13.2	7.3	4.4	19.3
		F1+F4 (60 mm)	4.7	2.8	10.2	5.7	3.4	14.8
		E4+F4 CETIOM (80 mm)	5.9	4.7	16.9	7.0	5.6	24.6
		F1+F4 CETIOM (80 mm)	4.6	3.7	13.2	5.5	4.4	19
		F4 + M0 CETIOM (80 mm)	2.4	1.9	6.9	2.0	1.6	7.1
	1 apport	E4 CETIOM (40 mm)	9.0	3.6	12.9	11.5	4.6	20.1
		F1 CETIOM (40 mm)	6.5	2.6	9.3	8.5	3.4	14.6
		F4 CETIOM (40 mm)	3.3	1.3	4.5	3.0	1.2	5.2
			RU 100 mm (prof 40 cm)			RU 60 mm (prof 40 cm)		
Sols superficiels (40 cm)	4 apports	E4+F1+F4+M0 (120 mm)	5.6	6.7	32.1	6.1	7.3	42.7
	3 apports	E4+F1+F4 (90 mm)	6.8	6.1	28.8	7.4	6.7	39.3
		E4+F4+M0 (90 mm)	5.1	4.6	22	5.1	4.6	26.8
		E4+F1+F4 CETIOM (120 mm)	6.2	7.4	35.1	6.8	8.1	47.9
		F1+F4+MO CETIOM (120 mm)	3.6	4.3	20.3	4.2	5	29.2
	2 apports	E4+F4 (60 mm)	6.5	3.9	18.6	6.7	4	23.6
		F1+F4 (60 mm)	5.0	3	14.3	6.0	3.6	21.2
		E4+F4 CETIOM (80 mm)	6.5	5.2	24.6	6.4	5.1	30.2
		F1+F4 CETIOM (80 mm)	4.9	3.9	18.4	5.8	4.6	27.1
		F4 + M0 CETIOM (80 mm)	1.9	1.5	7.1	1.6	1.3	7.5
	1 apport	E4 CETIOM (40 mm)	10.0	4	19	10.5	4.2	24.4
		F1 CETIOM (40 mm)	7.0	2.8	13.3	9.0	3.6	21.2
		F4 CETIOM (40 mm)	2.8	1.1	5.1	2.3	0.9	5.5

4.5 Rentabilité de l'irrigation

Les données expérimentales et issues de la modélisation (utilisation sur 20 ans du modèle SUNFLO) montrent qu'un seul tour de 40 mm en début floraison permet de gagner 4 q/ha en moyenne en sol superficiel à intermédiaire (RU <= 80 mm) (Laguionie, 2009). Dans ces situations, l'intérêt économique de l'irrigation est réel, y compris dans les scénarios de marchés actuels avec un prix de la graine compris entre 200 et 300 €/t (Figure 6).

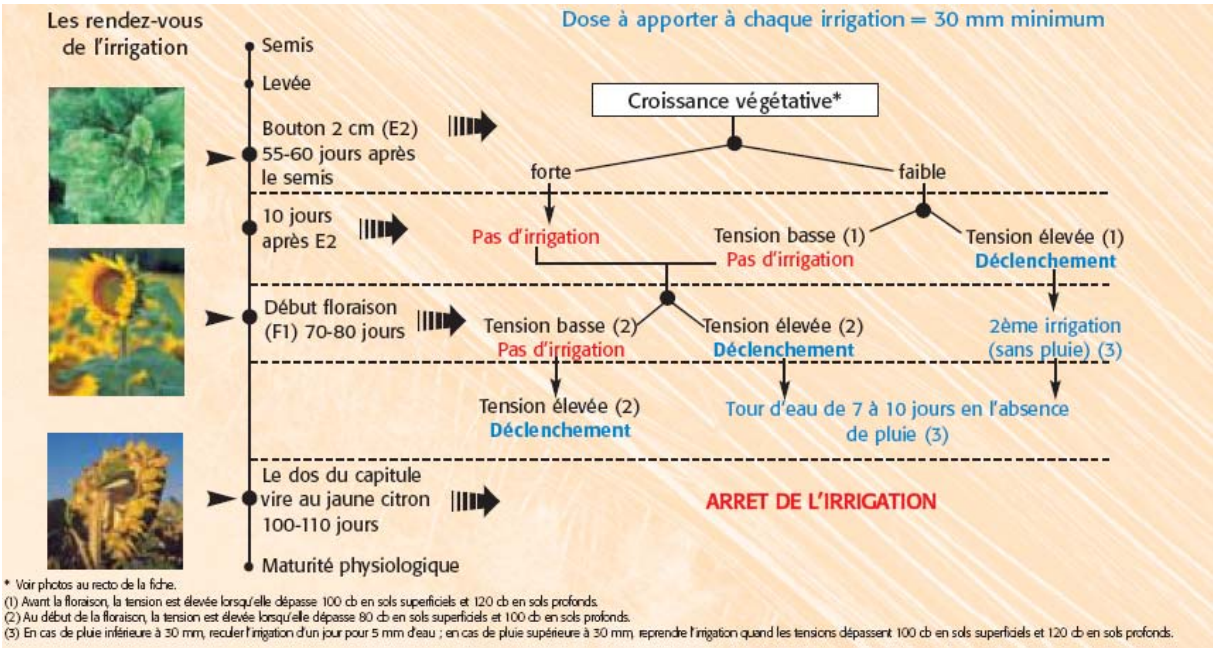
Figure 6 - Gain moyen (€/ha) obtenu en apportant 1 tour d'eau de 40 mm juste avant floraison en fonction du prix de la graine et du prix du m^3 d'eau (c€), comparé à la même situation non irriguée. Pertes de rendement liées au passage du canon non comprises (-3 à -4 %). Données climatiques : Blagnac (1981-2005)



5. Perspectives pour mieux gérer l'irrigation du tournesol

Les règles de décision proposées par le Cetiom et basées sur l'indice foliaire sont considérées comme validées. L'estimation la plus simple de la surface foliaire fait aujourd'hui l'objet d'une mise au point méthodologique. Après floraison, la décision est basée sur une évaluation de l'humidité du sol faisant appel à des mesures tensiométriques (Figure 7) ou à un bilan hydrique.

Figure 7 : Règle proposée par le Cetiom pour le pilotage de l'irrigation du tournesol par tensiométrie



Un avertissement à l'irrigation pourrait être proposé à l'échelle d'un territoire (de gestion) en combinant une estimation de la surface foliaire par télédétection et l'utilisation d'un modèle de simulation assimilant ces données à des moments clés de la saison de végétation.

De manière plus stratégique, l'évaluation des règles de décision pourrait être réalisée à l'aide d'un modèle biodécisionnel intégrant les indicateurs manipulables par l'agriculteur pour décider d'une irrigation.

Conclusion : Conditions pour une extension de l'irrigation en tournesol

L'irrigation du tournesol pourrait s'avérer rentable dans 3 situations :

- dans les situations où la ressource en eau est limitée, ce qui ne permet pas de conduire une culture de maïs sur toute la surface équipée ; le tournesol requiert en effet des volumes d'eau compris entre 800 et 1 000 m^3/ha pour satisfaire les besoins de la culture alors qu'un maïs, dans les mêmes situations de production en exigera le double ou le triple.
- dans les bassins où une interdiction précoce d'irrigation (début à mi-août) est fréquente, ce qui pénalise le maïs alors que les apports préconisés en juillet sur tournesol permettent de bien valoriser la disponibilité en eau plus abondante en début d'été.
- dans les exploitations où l'eau n'est pas limitante pour le maïs, et où il est possible d'allonger le tour d'eau sur maïs pour un passage sur tournesol début floraison avec un gain de 4 à 5 q/ha.

Ainsi, l'augmentation des contraintes pesant sur l'utilisation de l'eau en agriculture pourrait conduire à une augmentation de la part du tournesol irrigué. L'intérêt des producteurs pour cette pratique reste

toutefois très dépendant du rapport de prix entre le tournesol et les cultures habituellement irriguées telles que le maïs (Marsac et al., 2010).

Références bibliographiques

Aboudrare A., Bouaziz A., Debaeke P., 2000. Recherche de stratégies de conduite du tournesol dans les conditions pluviales de la région de Meknès (Maroc). II. Simulations à l'aide du modèle EPIC-Phase. Sécheresse 11, 19-27.

Aguirrezábal L.A.N., Lavaud Y., Dosio G.A.A., Izquierdo N.G., Andrade F.H., González L.M., 2003. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. Crop Science 43, 152-161.

Balas B., 1988. Irrigation du tournesol : synthèse des travaux effectués par la CACG dans la région des Côteaux Est du Gers, 123 p.

Balas B., 1990. Irrigation du tournesol dans la région des Coteaux Est du Gers : synthèse de neuf années d'essai. In : Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. Editions Cetiom, Paris, pp 91-104.

Bergez J.E., Debaeke P., Deumier J.M, Lacroix B., Leenhardt D., Leroy P., Wallach D., 2001. MODERATO: an object-oriented decision tool for designing maize irrigation schedules. Ecological Modelling 137, 43-60.

Blanchet R, Merrien A. (eds), 1990. Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. In : Les Points Science du Cetiom, Ed Cetiom, Paris, 139 p

Blanchet R, Texier V, Gelfi N, Viguier P, 1990. Articulation des divers processus d'adaptation à la sécheresse et comportements globaux du tournesol. In : Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. Editions Cetiom, Paris, pp 45-55.

Cabelguenne M., Marty J.R., Hilaire A., 1982. Comparaison technico-économique de la valorisation de l'irrigation par quatre cultures d'été (maïs, soja, sorgho, tournesol). Agronomie 2, 567-576.

Cabelguenne M., Debaeke P., 1998. Experimental determination and modelling of the soil water extraction capacities of maize, sunflower, soya bean, sorghum and wheat. Plant and Soil 202, 175-192.

Casadebaig P., 2008. Analyse et modélisation dynamique des interactions génotype-environnement-conduite de culture : application au tournesol (*Helianthus annuus* L.). Thèse de doctorat, INP Toulouse, 195 p

Debaeke P., Cabelguenne, M., Hilaire A., Raffaillac D., 1998. Crop management systems for rainfed and irrigated sunflower (*Helianthus annuus*) in southwestern France. Journal of Agricultural Science (Cambridge) 131, 171-185.

Debaeke P., Casadebaig P., Mestries E., Palleau J.P., Salvi F., Bertoux V., Uyttewaal V., 2011. Evaluer et valoriser les interactions variété-milieu-conduite en tournesol. Innovations Agronomiques 14, 77-90

Debaeke P., Estragnat A., Reau R., 2003. Influence of crop management on sunflower stem canker (*Diaporthe helianthi.).* Agronomie 23, 581-592.

Demir A.O., Goksoy A.T., Buyukcangaz H,, Turan Z.M., Koksal E.S., 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. Irrigation Science 24, 279-289.

Deumier J.M., Leroy P., Jacquin C., Balas B., Bouthier A., Lacroix B., Bergez J.E, 2006. Gestion de l'irrigation au niveau de l'exploitation agricole. In « Traité d'Irrigation » (JR Tiercelin & A.Duval coord), 2ème édition, Lavoisier TEC & DOC (Paris), pp. 1120-1150.

Flagella Z., Rotunno T., Tarantino E., Di Caterina R., De Caro A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. European Journal of Agronomy 17, 221-230.

Goksoy A.T., Demir A.O., Turan Z.M., Dagustu N., 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. Field Crops Research 87, 167-178.

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

Laguionie N., 2009. Formalisation et évaluation des pratiques d'irrigation du tournesol en Midi-Pyrénées et en Poitou-Charentes. Mémoire de fin d'études ENITA Clermont, 44 p.

Lecomte V., Nolot J.M., 2011. Place du tournesol dans le système de culture. Innovations Agronomiques 14, 59-76

Lorite I.J., Mateos L., Orgaz F., Fereres E., 2004. Assessing deficit irrigation strategies at the level of an irrigation district. Agricultural Water Management 91, 51-60.

Marsac S., Deumier J.M., Moynier J. L., Lacroix B., Leroy P., Champolivier L., 2010. LORA, un outil pour la réflexion sur les assolements et la gestion de l'eau. Perspectives Agricoles 365, 52-54

Merrien A., Grandin G., 1990. Comportement hydrique du tournesol : synthèse des essais 'irrigation' 1983-88. In : Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. Editions Cetiom, Paris, pp. 75–90.

Morizet J., Merrien A., 1990. Principaux traits du comportement hydrique du tournesol. In : Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. Editions Cetiom, Paris, pp 7-20.

Nolot J.M., Debaeke P., 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. Cahiers Agricultures 12, 387-400.

Picq G., 1990. Résultats de l'Observatoire du Tournesol. In : Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. Editions Cetiom, Paris, pp 105-124.

Quinones H., Texier V., Cabelguenne M., Blanchet R., 1990. Simulation du comportement hydrique du tournesol et de ses répercussions sur la croissance et la production. In : Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. Editions Cetiom, Paris, pp 56-74.

Rinaldi M., 2001. Application of EPIC model for irrigation scheduling of sunflower in Southern Italy. Agricultural Water Management 49, 185-196.

Robelin M., 1967. Action et arrière-action de la sécheresse sur la croissance et la production du tournesol. Annales Agronomiques 18, 579-599.

Stone L.R., Schlegel A.J., Gwin R.E., Khan A.H., 1996. Response of corn, grain sorghum, and sunflower to irrigation in the High Plains of Kansas. Agricultural Water Management 30, 251-259.

Texier V., 1992. Croissance et production du tournesol dans diverses conditions de milieu : étude expérimentale et modélisation. Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 126 p.

Unger P.W., 1990. Sunflower. In: Irrigation of agricultural crops. Agronomy Monograph 30, ASA-CSSA-SSA, Madison, WI, USA, 775-794.