

STRATEGIES DE CONDUITE DE L'IRRIGATION DU MAÏS ET DU SORGHO DANS LES SITUATIONS DE RESSOURCE EN EAU RESTRICTIVE

JM.DEUMIER, B.LACROIX, A.BOUTHIER, JL.VERDIER, M.MANGIN

Les cultures irriguées bénéficient encore le plus souvent de ressource en eau suffisante pour couvrir les besoins en eau des années sèches.

Depuis quelques années cependant, le contexte hydraulique évolue et le nombre de petites régions concernées par des ressources en eau limitées augmente :

- les besoins des autres usagers de la ressource en eau deviennent plus importants : eau potable, respect des débits objectifs d'étiage des rivières (dont les seuils ont été relevés depuis quelques années) pour la salubrité et la faune aquatique, tourisme, ...

- retour d'un cycle de sécheresse à la fois estivale et hivernale (ne permettant pas la reconstitution de la ressource sur certains bassins).

De nombreux travaux ont été conduits par ARVALIS – Institut du végétal et ses partenaires depuis la fin des années 1980 pour bâtir des outils et des méthodes permettant dans ces contextes, d'optimiser les assolements, les stratégies et les conduites d'irrigation. Nous rappelons ici pour le maïs et le sorgho les règles de conduite des irrigations pour les principaux cas de ressource en eau restrictive.

A – LE MAÏS

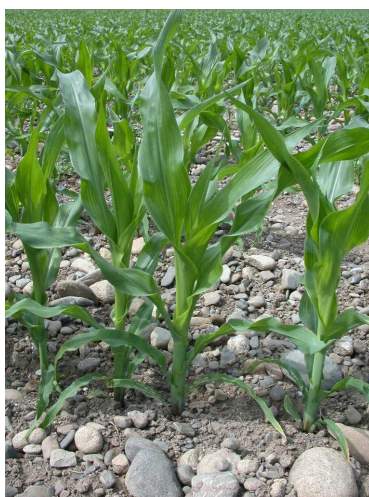
Les besoins en eau d'irrigation du maïs en ressource suffisante

Pour l'irrigation du maïs grain, selon une norme couramment admise, on considère que les moyens d'irrigation (débit et volume) doivent permettre de satisfaire les besoins en eau au moins 8 ans sur 10.

Quand on dispose de ces moyens, la stratégie d'irrigation, c'est-à-dire le plan prévisionnel d'arrosage est construit sans craindre a priori une insuffisance de la ressource par rapport aux besoins. La méthode IRRINOV® maïs se situe dans ce contexte.

Selon les conditions pédoclimatiques, ce niveau des moyens en débit et en volume nécessaire est évidemment différent. Il dépend de la demande climatique et de la contribution possible des réserves en eau des sols.

Le tableau suivant indique les références disponibles par région et type de sol caractérisé par une valeur de réserve utile. Certaines références ont été acquises à partir d'essais irrigation, d'autres sont le fruit d'une expertise. Elles correspondent à des variétés de précocités normales pour la région considérée (semis fin avril - début mai et maturité en octobre), irriguées par aspersion selon une stratégie visant un haut rendement sans gaspillage.



BESOIN EN EAU D'IRRIGATION PAR MILIEU PEDO-CLIMATIQUE : MAÏS CONSOMMATION

Régions	Type de sol	Réserve Utile mm	Moyens d'irrigation nécessaires pour couvrir les besoins de 8 ans sur 10		
			Débit mm/jour	Exemple dose/fréquence	Volume mm
Alsace	Hardt superficielle	40 à 50	5	30 mm tous les 6 jours	240
	Plaine de l'Ill	> 140	3.5	35 mm tous les 10 jours	180
Centre	Limons argileux profonds	> 130	3	30 mm tous les 10 jours	180
	Limons moyens	80 à 130	3.5	25 mm tous les 7 jours	200
	Argilo-calcaires	60 à 120	4 à 4.5	30 mm tous les 7 jours	240
Poitou-Charentes et Pays de la Loire	Limons profonds	> 150	3 à 3.5	30 mm tous les 10 jours	160 à 190
	Limons moyens	100 à 150	3.5 à 4	25 mm tous les 7 jours	190 à 220
	Groies moyennes	70 à 130	4 à 4.5	30 mm tous les 7 jours	230 à 270
Aquitaine	Boulbènes sableuses moyennes	140	-	-	170 à 240
	Sables du Marsan	90			190 à 260
	Alluvions de l'Adour	120			190 à 240
	Champagne moyenne	120			260 à 310
Nord Midi-Pyrénées	Boulbènes moyennes à profondes	120 à 160	4.3	30 mm tous les 7 jours	240
	Boulbènes superficielles	80 à 120	5	25 mm tous les 5 jours	270
Sud Midi-Pyrénées	Boulbènes moyennes à profondes	120 à 160	3.8	27 mm tous les 7 jours	200
	Boulbènes superficielles	80 à 120	4.5	23 mm tous les 5 jours	240
Rhône-Alpes	Graviers profonds plaine de Lyon	130 à 150	4.5	35 mm tous les 8 jours	250
	Graviers superficiels plaine de l'Ain	70 à 80	5	25 mm tous les 5 jours	300
	Graviers superficiels Drôme	70 à 80	5.5	28 mm tous les 5 jours	350 à 400
	Limons sableux terrasses Drôme	130 à 150	4.5	32 mm tous les 7 jours	320

Sources : **essais irrigation ARVALIS** - Institut du végétal ou expertise avec partenaires

C'est par rapport à ces valeurs de référence, que l'on peut apprécier dans chaque situation l'intensité et le type de restriction auquel on est confronté et qui nécessitera une stratégie d'irrigation adaptée.

Les cas de figure et les scénarios de restriction sont en fait très variés :

La restriction peut concerner le volume ou le débit ou intervenir à partir d'une certaine date.

Il faut distinguer aussi

- ☞ les cas où la ressource est strictement individuelle et facile à connaître en début de campagne (c'est le cas des lacs collinaires). L'irrigant a la maîtrise du calendrier d'utilisation de sa propre ressource.
- ☞ Les cas des lacs collinaires collectifs sont équivalents aux précédents si la répartition des volumes entre préleveurs et son contrôle sont stricts et si le volume attribué à chacun peut lui être garanti.
- ☞ Les cas où la ressource commune est gérée par un gestionnaire dont les décisions dépendent de son appréciation de l'état initial et de l'évolution de la ressource au cours de la campagne. Cette évolution peut dépendre en partie (mais pas systématiquement) des prélèvements des irrigants. Cela peut se traduire pour chaque irrigant par la révision d'un quota de volume en début de campagne ou en cours de campagne ou la diminution du temps d'accès à la ressource.

Dans les cas de ressources communes, la gestion optimale de la ressource estimée comme insuffisante peut passer par des échanges d'informations entre les irrigants, leurs représentants et le gestionnaire. Dans certains cas une partie de la stratégie d'irrigation peut avoir une dimension collective, la stratégie individuelle doit alors être en cohérence avec ce niveau collectif.

Ressource restrictive : cas du volume limitant

C'est le cas d'un lac collinaire individuel ou collectif moins rempli qu'à la normale ou bien associé à une surface à irriguer importante sans que le débit soit limitant.

C'est le cas de la restriction d'un quota de volume dans le cadre de la gestion collective d'un volume limitant.

C'est le cas aussi d'une gestion volumétrique sur une nappe déficitaire.

Pour définir une stratégie, la première étape consiste à estimer le volume disponible par hectare. Il faut ensuite tenter d'éviter deux risques opposés : celui de l'optimiste qui commencerait à irriguer comme si le volume n'était pas limitant et qui n'a plus d'eau quand les besoins sont encore importants et celui du pessimiste qui, à force de garder de l'eau de peur d'en manquer ensuite, fait souffrir sa culture, perd du rendement et ne consomme finalement pas toute l'eau dont il dispose.

Pour répartir les risques, mieux vaut **préférer les doses unitaires modérées et déterminer le nombre d'irrigations possibles**. Ainsi pour un volume de 1500 m³/ha (150 mm), 6 irrigations de 25 mm valent mieux que 5 irrigations de 30 mm et mieux que 4 irrigations de 38 mm.

Pour optimiser l'utilisation du volume disponible, il est intéressant d'établir un **calendrier prévisionnel** en privilégiant les périodes les plus sensibles de la culture et notamment la montaison, la période encadrant la floraison et le début du remplissage des grains. Un exemple est donné ici :

**Exemple de calendrier prévisionnel d'irrigation
pour un volume total disponible de 150 mm
2 choix de dose unitaire (25 et 30 mm
et un tour d'eau de 6 ou 7 jours**

Ce calendrier prévisionnel doit ensuite être adapté en cours de campagne en fonction du climat : suivre l'évolution des stades de la culture, profiter des pluies pour reporter les irrigations et mieux couvrir les périodes sensibles ultérieures.

Le premier indicateur de pilotage de pilotage est évidemment le volume disponible restant en fonction du stade de la culture. Une estimation satisfaisante des volumes est alors indispensable : contrôle par compteur, vérification des réglages du matériel.

150 mm disponible	
6 x 25 mm	5 x 30 mm
1/7	
2/7	
3/7	
4/7	
5/7	
6/7	
7/7	
8/7	
9/7	
10/7	
11/7	
12/7	
13/7	
14/7	
15/7	
16/7	
17/7	
18/7	
19/7	
20/7	
21/7	
22/7	
23/7	
24/7	
25/7	
26/7	
27/7	
28/7	
29/7	
30/7	
31/7	
1/8	
2/8	
3/8	
4/8	
5/8	
6/8	
7/8	
8/8	
9/8	
10/8	
11/8	
12/8	
13/8	
14/8	
15/8	
16/8	
...	
30/8	

Ressource restrictive : réduction du débit ou du volume d'irrigation à une certaine date

Cette situation est la conséquence d'une baisse du niveau de la ressource en eau : débit des rivières ou des nappes. Elle est de plus en plus accompagnée de mesures réglementaires : réduction d'un volume alloué à la semaine ou à la décade, interdiction d'irriguer certains jours de la semaine ou une partie de la journée. Ces

mesures réglementaires sont souvent prévues avant la campagne d'irrigation (arrêté cadre) moyennant des indicateurs mesurés : débits des rivières ou niveau des nappes.

Ces limitations de débit se produisent le plus souvent en fin de période d'irrigation au mois d'août, la ressource ayant été fortement mise à contribution les semaines précédentes. La date d'apparition de la contrainte et son intensité sont souvent peu prévisibles a priori à cause de la variabilité du climat, des prélèvements et de la connaissance imparfaite de la ressource. Aussi est-il difficile de déterminer un objectif de rendement.

C'est dans cette situation hydraulique que la diversification de la sole maïs avec du maïs « évitement » peut être intéressante. Planter tôt des variétés plus précoces que la pratique régionale normale, permet de raccourcir la période d'irrigation et de mieux échapper aux restrictions de fin de cycle (cf. article PA Mars 2006 n° 321)

Quelle stratégie d'irrigation adopter ?

Pendant la période sans contrainte d'utilisation de la ressource :

Compte tenu de l'incertitude sur la date d'apparition de la contrainte et sur son intensité, l'objectif sera généralement de viser un rendement correct qui sera atteint si la contrainte reste modérée. La méthode IRRINOV® est bien adaptée pour piloter l'irrigation au mieux durant cette période. En particulier la mesure de la tension en eau du sol permettra, en utilisant les seuils proposés par la méthode, de bien gérer le déclenchement des irrigations, la reprise des tours d'eau et la durée d'interruption des irrigations après les pluies. On évitera ainsi des irrigations trop précoces et trop élevées qui auraient un effet négatif sur la ressource.

Pendant la période avec restriction d'utilisation de la ressource :

La marge de manœuvre est bien sûr plus limitée. Si la contrainte est modérée, les seuils IRRINOV® restent de bons indicateurs. Si la contrainte est plus forte, elle dicte elle-même le rythme des irrigations. Dans certains cas il est possible de faire une modulation des apports selon les parcelles ou les positions, si celles-ci sont situées sur des sols avec des réserves en eau différentes : on pourra diminuer la dose ou espacer davantage les apports sur les positions ou parcelles en sols plus profonds.

S'il reste de l'eau pour irriguer, il est important de bien raisonner l'arrêt des irrigations. Dans ce contexte hydraulique, le stade repère « humidité du grain 50 % » (cf. article PA de Juillet-Août 2001 n° 270) sera atteint tôt et la réserve en eau du sol aura été fortement mise à contribution : tensions en eau du sol à 30 cm et 60 cm supérieures à 90 cbar en sol limoneux et à 120 cbar en sol argileux et déficit en eau du sol supérieure à 100 mm. Il est donc important de bien repérer le stade « humidité du grain 50% ». à l'aide de la méthode d'observation des grains décrites dans le guide IRRINOV® ou diffusée dans les avertissements d'irrigation .

Ressource restrictive : une surface irriguée trop élevée par rapport au débit de l'installation d'irrigation

Dans cette situation l'objectif n'est pas d'obtenir le rendement potentiel du maïs tous les ans. On accepte un rendement réduit en année très sèche et sèche mais on souhaite obtenir un bon rendement en année à déficit hydrique modéré. Le scénario climatique de la future campagne n'est pas connu mais on sait que les besoins en eau de pointe du maïs se situent en juillet.

Par exemple en région Toulousaine le maximum des besoins journaliers médians du maïs est atteint le 20 juillet pour une variété tardive semée le 1/05 (fig ci-après), la date de ce maximum variant du 13 juillet au 30 juillet. Pour les sols de boulbènes moyennes, on considère qu'une bonne installation d'irrigation doit pouvoir délivrer 4.3 mm/j pour que la réserve en eau du sol soit suffisante pour écrieter les besoins de pointe du mois

de juillet en année sèche : le sol doit alors fournir plus d' 1 mm d'eau par jour en juillet. C'est pour cette raison que les irrigations doivent commencer tôt en juin bien avant que le maïs ne manque réellement d'eau. Ici la capacité d'irrigation de l'installation étant réduite par l'augmentation de la surface irriguée, **cette anticipation des apports d'eau** par rapport aux besoins devra être encore plus importante et durer plus longtemps.



Conduite d'irrigation :

- irriguer tôt dès que la dose d'irrigation peut être stockée dans le sol,
- valoriser les pluies au mieux : pour cela diminuer le temps de pause après une pluie,
- si l'organisation du travail le permet, utiliser des doses d'irrigation modérées de l'ordre de 10-15 mm en pivot, 25-30 mm en enrouleur et maintenir la fréquence.

Les indicateurs

Les seuils tensiométriques de la méthode IRRINOV® ont été établis pour des ressources en eau et des installations d'irrigation confortables : cependant ces seuils sont valables pour des augmentations de surface de maïs de l'ordre de 15 %.

Les valeurs seuils diminuées de 10 à 20 cbar permettent de gérer les irrigations pour des augmentations de surface de 25 %.



B - COMMENT IRRIGUER LE SORGHO ?

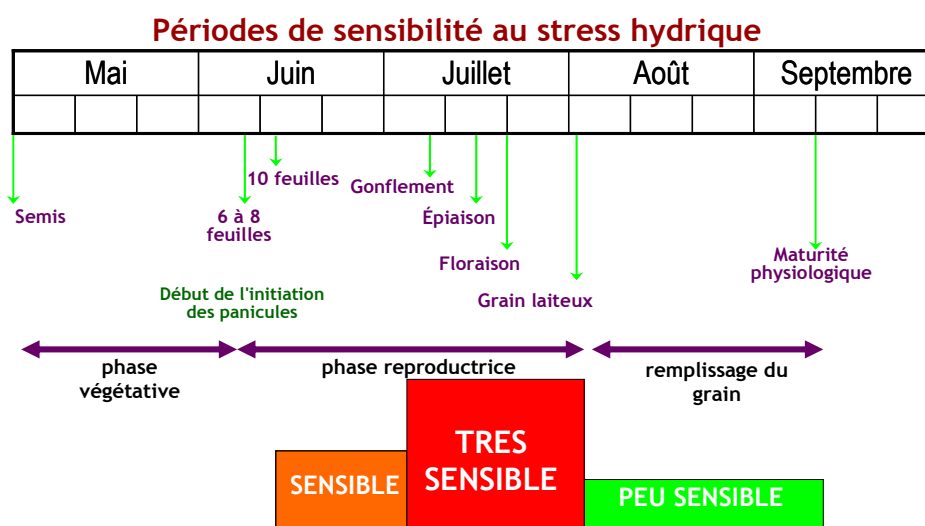
La capacité d'adaptation du sorgho au stress hydrique est bien connue. Cependant elle a ses limites qui ont été mises en évidence ces dernières années.

Des différences de l'ordre de 30 à 40 q/ha ont été obtenues entre des cultures irriguées et des conduites en sec. L'irrigation est donc intéressante si l'on veut atteindre un bon rendement ou le rendement potentiel des variétés. Comment bien irriguer le sorgho quand la ressource en eau est confortable ?

Si la ressource en eau est insuffisante, comment bien positionner les irrigations pour qu'elles soient efficaces ?



Les périodes de sensibilité au stress hydrique



La période la plus sensible au manque d'eau se situe du stade gonflement à la floraison. En cas de stress hydrique pendant cette période, la fertilité des panicules est systématiquement affectée.

Avant cette période, pendant la montaison, du stade 8-10 feuilles au stade gonflement, un besoin en eau non satisfait peut limiter la croissance du peuplement, perturber l'épiaison de certaines variétés et affecter la fertilité des panicules. Ce risque est accentué en cas de densité de peuplement trop élevée.

La période de remplissage des grains après le stade grain laiteux est peu sensible, et l'enracinement alors à son développement maximum confère à la culture une forte capacité d'extraction d'eau dans le sol.

Comment irriguer le sorgho pour tendre vers le potentiel de rendement en année sèche (8^{ème} décile)

La stratégie sera la suivante en sol de réserve moyenne : terrefort de coteaux, groies moyennes, sables peu argileux, ...

=> Avant 10 feuilles, l'irrigation n'est pas utile sauf pour aider à la levée.

=> A partir de 10 feuilles, si il n'y a pas eu de pluie significative (supérieure à 20 mm), effectuer la première irrigation. En sol très profond (alluvions argileuses, groies profondes, ...) on pourra attendre le gonflement.

=> Après cette première irrigation, apporter 35 mm tous les 10 à 12 jours dans le Sud-Ouest et Poitou-Charentes, ou 35 mm tous les 9-10 jours en climat séchant (Sud-Est, Drôme).

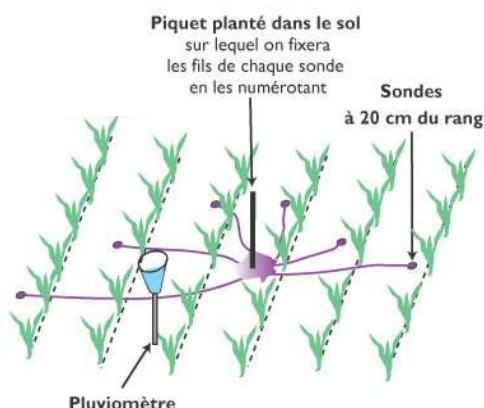
Pour une pluie supérieure à 10 mm, interrompre le tour d'eau pendant n jours avec n = -----

Par exemple, si il pleut 20 mm, marquer une pause de 5 jours. 4

=> Le dernier tour d'eau débutera 20-25 jours après l'épiaison. Après cette date, l'irrigation n'est plus utile.

On pourra s'aider des tensions en eau de sol lues sur des sondes Watermark®.

Planter ces sondes dès 5 feuilles à 20 cm du rang en début de tour d'eau : 3 sondes à 30 cm de profondeur et 3 sondes à 60 cm, tel qu'indiqué sur le schéma suivant.



Les seuils de déclenchement des irrigations sont les suivants pour des durées de tour d'eau de 6 à 8 jours :

	10 feuilles	Gonflement	Floraison	Epiaison +20 jours
30 cm	60 cbar	90 cbar	90 cbar	110 cbar
60 cm	0-10 cbar	50 cbar	70 cbar	100 cbar

En année sèche (8 ans sur 10), les doses totales d'irrigation permettant d'atteindre le rendement potentiel sont les suivantes :

Région	Sol	Dose totale
Midi-Pyrénées Nord	Terrefort - Boulbènes moyennes	4 fois 35 mm
Lot et Garonne	Terrefort - Boulbènes moyennes	3 fois 35 mm
Poitou-Charentes	Groies moyennes à profondes	4 fois 35 mm
Aude (Ouest-Lauragais)	Terrefort de coteaux	4 fois 35 mm
Drôme	Sol de gravier moyen	4 à 5 fois 35 mm

Comment irriguer avec 1 à 3 irrigations

Bien que le potentiel de rendement soit rarement atteint, on recherche une efficacité maximale de l'eau par un bon positionnement des irrigations. On cherche à privilégier la période de plus grande sensibilité mais néanmoins à assurer un appoint minimum en cas de fort déficit hydrique avant cette période. En sol de profondeur moyenne, le gain de rendement sera alors de 10 à 15 q/ha pour 35 mm.

1 seule irrigation possible

L'apporter au gonflement (et non à l'épiaison : c'est trop tard). Cependant si dans les 10 jours précédents, il y a une pluie supérieure à 20 mm, décaler l'apport 10 jours après la pluie. Cette stratégie peut conduire à une moins bonne valorisation de l'eau en sol peu profond et en cas de déficit précoce important car l'apport d'eau arrivera trop tard et ne pourra pas permettre de récupérer la perte de croissance de la culture. Il est donc préférable de disposer de 2 apports d'eau dans ces sols.

2 irrigations possibles

La stratégie dépendra de la réserve en eau du sol.

Sol moyen à profond	
Gonflement	Floraison
↑	↑
35 mm	35 mm

Sol superficiel	
10 feuilles	Gonflement
↑	↑
35 mm	35 mm

Si dans les 10 jours précédents l'apport, il pleut plus que 20 mm, retarder la date d'irrigation de 8 à 10 jours.

3 irrigations possibles

10 feuilles	Gonflement	Floraison
↑	↑	↑
35 mm	35 mm	35 mm

Si dans les 10 jours précédents l'apport, il pleut plus que 20 mm, retarder la date d'irrigation de 8 à 10 jours.

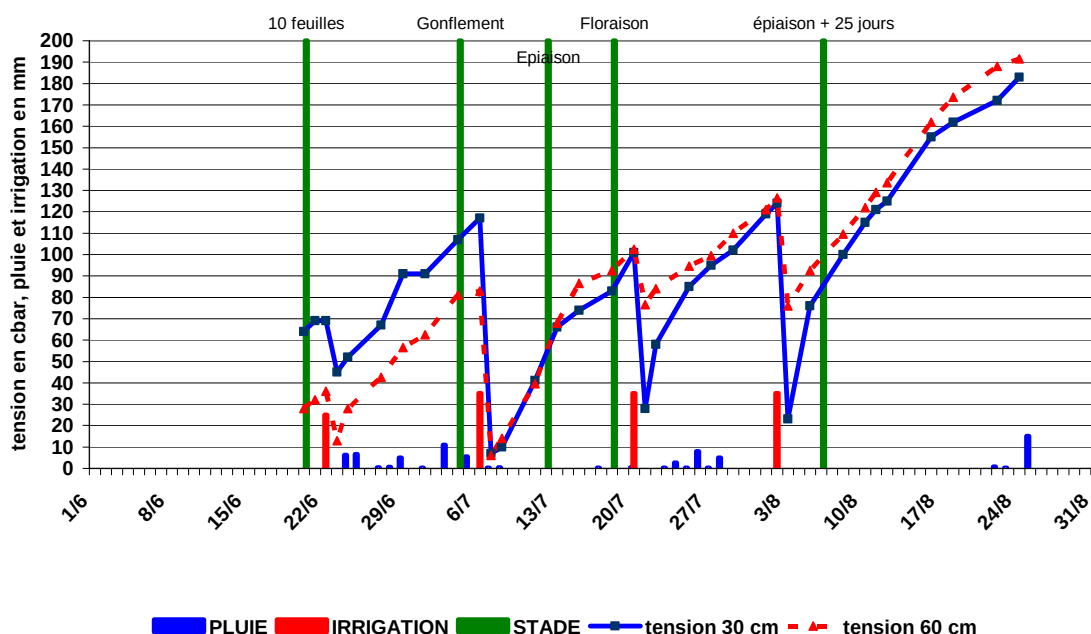
- En sols profonds, le premier apport aura lieu au gonflement et le dernier 15 jours après l'épiaison.
- Avec 3 irrigations, on se rapproche du potentiel.

En région toulousaine, par exemple, on atteindra le potentiel :

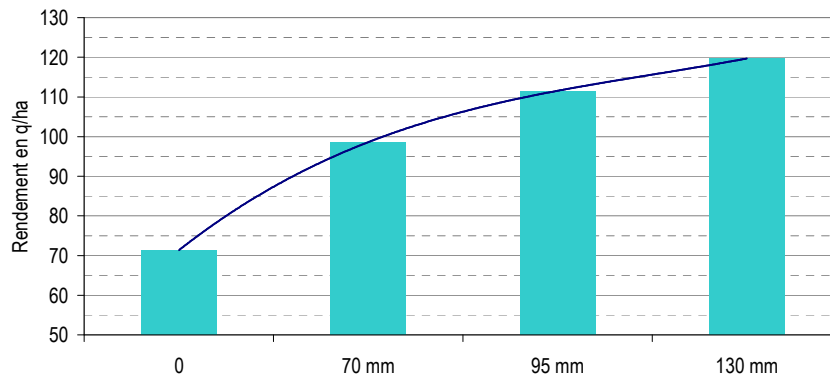
- * 7 ans/10 en terrefort
- * 5 ans/10 en terrefort superficiel
- * 9 ans/10 en alluvions



Relevé tensiométrique 2005, Le Magneraud, groie profonde
Variété : ARTABAN, 124 q/ha, 130 mm en 4 passages (valeur médiane des mesures à 30 cm et 60 cm)



Exemple de mise en œuvre de ces conduites d'irrigation du sorgho en 2005



	0	70 mm	95 mm	130 mm
10 feuilles (22 juin)	0	0	25	25
Gonflement (6 juillet)	0	35	35	35
Floraison (20 juillet)	0	35	35	35
Grain laiteux (2 août)	0	0	0	35

Essai Arvalis Le Magneraud 2005 – Artaban semé le 08/04/05 – Sol de groies profondes

Essai irrigation sorgho mis en place dans une groie profonde sur le site du Magneraud en Charente Maritime. Le déficit hydrique enregistré est supérieur à celui observé 4 ans sur 5.

- La conduite avec 4 apports d'eau totalisant 130 mm permet d'atteindre le potentiel de la culture dans ce type de situation et valorise bien l'irrigation (4.1 q/10 mm).
- La conduite avec 3 apports (avec suppression de l'apport du 2 août soit 20 jours après l'épiaison) pénalise le rendement de 9 q/ha et montre que l'irrigation se révèle efficace jusqu'à 20 jours après épiaison.

- La conduite avec 2 apports calés sur la période la plus sensible montre une bonne efficacité de l'irrigation (3.7 q/10 mm).
- La meilleure efficacité est obtenue sur la conduite avec 3 apports. Dans les conditions de déficit hydrique important pendant le mois de juin, l'irrigation réalisée au stade 10 feuilles a permis de préserver un potentiel de croissance élevé et de permettre ainsi de mieux valoriser les apports d'eau pendant la phase la plus sensible.

