

Irrigation des céréales

Une efficacité comparable sur blé tendre, blé dur et orge de printemps

La réponse à l'irrigation du blé tendre et les modalités de sa conduite ont été étudiées sur la station du Magneraud depuis le début des années 1980 en groie profonde. De 1995 à 2003, un dispositif appelé "observatoire irrigation céréales" a été mis en place sur les sites du Magneraud et de Bois Joly (situé à 7 km du Magneraud sur une groie superficielle) en vue d'apporter une réponse à deux questions principales :

- dans quelle mesure les résultats acquis sur blé tendre sont-ils extrapolables au blé dur et à l'orge de printemps ? Une comparaison de ces trois espèces, en sec et avec diverses modalités d'irrigation, a donc été réalisée chaque année.

- comment les résultats obtenus au Magneraud en groie à réserve utile en eau importante (120 à 150 mm) sont-ils adaptables sur des sols à plus faible réserve utile.

Alain Bouthier
a.bouthier@arvalisinstitutduvegetal.fr

Jean-Pierre Bonnifet
jp.bonnifetarvalisinstitutduvegetal.fr

Alain Briand
a.briand@arvalisinstitutduvegetal.fr

ARVALIS – Institut du végétal

Pour cela, on a mis en place deux sites "observatoire irrigation céréales" pour apprécier, toutes choses égales par ailleurs (même conduite de culture), l'effet de la réserve utile sur la réponse à l'irrigation de ces trois espèces.

Par ailleurs, ce dispositif a également contribué à caler (de 1996 à 1999) puis à valider (de 2000 à 2003) la méthode Irinov® céréales et à fournir des informations en temps réel pour la diffusion de notes techniques "sécheresse" à l'échelle de la région Poitou-Charentes. Depuis 2002, un suivi approfondi de l'état hydrique des sols sur chaque site, permet une acquisition de références pour le paramétrage de modèles de bilan hydrique.

Huit années climatiques représentatives

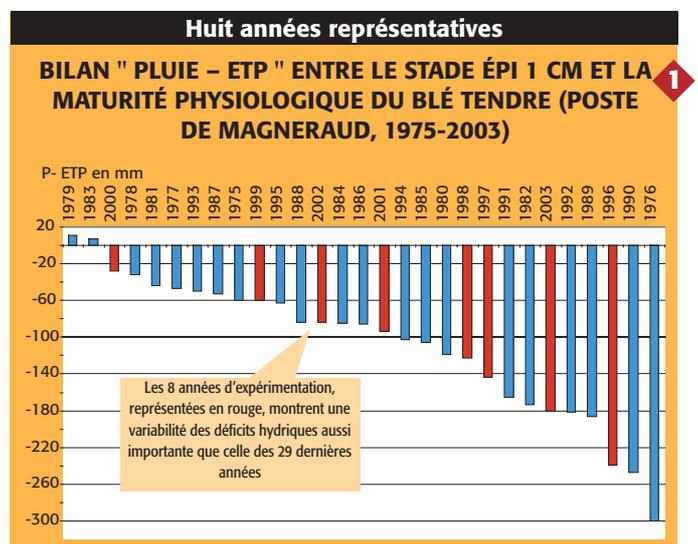
Le climat au cours des huit années de suivi présente une variabilité importante du déficit hydrique. Le déficit hydrique estimé par le bilan "pluie - ETP" sur la période allant du stade épi 1 cm du blé à sa maturité physiologique, varie entre -30 mm en 2000 et -240 mm en 1996. La répartition du déficit au cours des huit années de suivi, compa-

L'efficacité moyenne d'une irrigation optimale des céréales à paille dans les terres de groies de Poitou-Charente atteint 6 à 8 q/ha par apport de 30 mm. Ceci indépendamment du type de sol et de l'espèce irriguée. Elle peut varier selon le type de sécheresse.

rée à celle des 29 dernières années du poste climatique du Magneraud (figure 1), montre une bonne représentativité de ces huit années. Le déficit moyen sur huit ans

d'observation (-118 mm) est très proche de celui calculé sur les 29 dernières années (-107 mm).

Une étude plus fine des différents scénarios de déficit



Deux sites complémentaires

Les observatoires ont été mis en place sur deux sites distants d'une dizaine de kilomètres : Le Magneraud et Bois-Joly. Les sols sont des argilo-calcaires caillouteux, peu épais, reposant sur un calcaire dur plus ou moins fissuré, largement représentés en Poitou-Charentes. Les sols, appelés localement terres de groies, se différencient par le degré de fissuration de la roche calcaire et la quantité de terre fine entre les cailloux, celle-ci déterminant le niveau de réserve utile en eau (RU).

Les observatoires sont sur deux types de groie (photos).

La rotation pratiquée sur chaque site est triennale :

- 1^e année : protéagineux (pois de printemps ou féverole de printemps) ;
- 2^e année : blé tendre ou blé dur ;
- 3^e année : orge de printemps.

Un enrouleur équipé d'une rampe basse pression de 24 m de large est utilisé pour l'irrigation.

Celle-ci a été pilotée en utilisant des sondes tensiométriques Watermark® et un calcul du bilan hydrique de 1996 à 1998 puis en se référant aux règles de décision de la méthode Irrinov® céréales à paille à partir de 1999. La dose unitaire apportée, de 30 à 35 mm, est contrôlée par huit pluviomètres de modèle standard. Plusieurs conduites d'irrigation ont été mises en place pour déterminer le calendrier optimal par année.

Les résultats présentés dans cet article sont issus de la comparaison entre la conduite en sec et la conduite irriguée jugée optimale chaque année. La conduite culturale de chaque espèce est détaillée dans le tableau ci-dessous.

La fumure azotée sur les trois espèces a été gérée de la manière suivante :

- calcul de la dose selon la méthode PC-azote, diffusée en Poitou-Charentes. Le calcul est basé sur un objectif de rendement adapté aux potentialités et à la fourniture du sol estimée de chaque site en sec et en irrigué ;
- Sur blé tendre et blé dur, les modalités d'apport étaient les suivantes :

- fractionnement en trois apports avec une dose de 40 kg N/ha réservée pour le 3^e apport ;
- la différenciation de la dose entre sec et irrigué (de 0 à 20 kg N/ha au Magneraud et de 20 à 40 kgN/ha à Bois-Joly) est réalisée au 2^e apport jusqu'en 1999 et sur le 3^e ensuite.

- mise en œuvre de la méthode Hydro N-Tester, pour ajuster la date et la dose du 3^e apport sur blé tendre et blé dur de 1999 à 2003.

Ainsi, à l'exception de la fertilisation azotée, la conduite des cultures était identique en sec et en irrigué.

- Sur orge de printemps, la dose est fractionnée en deux apports, le 1^{er} au stade 2 feuilles, de 50 kg N/ha, et le second à fin tallage.



Le Magneraud

Le sous-sol est formé de cailloux calcaires et de terre fine marneuse très bien colonisée par les racines. Celle-ci occupe entre 40 et 50 % du volume) : groie sur banche fissurée avec une RU estimée à 150 mm pour le blé tendre et le blé dur, 130 mm pour l'orge de printemps (dans la gamme des réserves utiles en eau des terres de groies de Poitou-Charentes, Le Magneraud est représentatif du tiers supérieur).



Bois-Joly

Le sous-sol est formé de couches de cailloux calcaires horizontaux avec quelques fissures, et de la terre fine marneuse entre les cailloux. La terre fine occupe seulement 10 à 20 % du volume) : groie sur banche plate avec une RU estimée de 70-80 mm pour le blé tendre et blé dur, 60 mm pour l'orge de printemps (dans la gamme des réserves utiles en eau des terres de groies, Bois-Joly est représentatif du tiers inférieur).

Une conduite identique en sec et en irrigué

Conduite culturale pour chaque espèce sur les deux sites observatoires de 1996 à 2003

ESPECE	BLE TENDRE	BLE DUR	ORGE DE PRINTEMPS
PRECEDENT	Pois de printemps ou féverole	Pois de printemps ou féverole	Blé tendre ou blé dur
IMPLANTATION	Labour puis herse rotative semoir	Labour puis herse rotative semoir	Labour puis herse rotative semoir
DATE DE SEMIS	15-30 octobre	25 octobre-10 novembre	15 janvier-31 janvier
DENSITE DE SEMIS	260-320 grains/m ²	300-380 grains/m ²	310-350 grains/m ²
INSECTICIDE	Semences traitées Gaucho 0 à 1 traitement en végétation	Semences traitées Célest-Gold 1 à 2 traitements en végétation	Semences traitées Gaucho 0 à 1 traitement en végétation
FUMURE AZOTEE (Ammonitrate 33,5 %)	Bois-Joly : - sec : 130 à 200 kg N/ha, 2-3 apports - irrigué : 150 à 230 kg N/ha, 3 apports Magneraud : - Sec : 140 à 230 kg N/ha, 2-3 apports - irrigué : 160 à 230 kg N/ha, 3 apports	Bois-Joly : - sec : 130 à 200 kg N/ha, 3 apports - irrigué : 190 à 250 kg N/ha, 3-4 apports Magneraud : - Sec : 130 à 220 kg N/ha, 3 apports - irrigué : 180 à 250 kg N/ha, 3-4 apports	Bois-Joly : - sec : 100 à 120 kg N/ha, 2 apports - irrigué : 120 à 160 kg N/ha, 2 apports Magneraud : - Sec : 100 à 120 kg N/ha, 2 apports - irrigué : 100 à 160 kg N/ha, 2 apports
PROTECTION CONTRE LA VERSE	0 à 1 traitement selon le risque de verse	0 à 1 traitement selon le risque de verse	1 traitement systématique
FONGICIDE	1 à 3 traitements selon le risque maladie	2 à 3 traitements selon le risque maladie	1 à 2 traitements selon le risque maladie

hydrique montre également une variabilité importante des types de sécheresses subies au cours de ces huit années. La *figure 2* montre le déficit hydrique calculé sur trois périodes du cycle du blé. Quatre types d'années climatiques peuvent être distingués :

- années à sécheresse faible à nulle et localisée en fin de cycle : 1999 et 2000 (type I) ;
- années à sécheresse moyenne à partir de fin montaison : 1998 et 2002 (type II) ;
- années à sécheresse marquée en post-floraison : 1996, 2001 (type III) ;
- années à sécheresse importante pendant la montaison : 1997 et 2003 (type IV). Ces deux années montrent par ailleurs une pluviométrie très faible pendant une bonne partie de la montaison qui a pu retarder l'absorption de l'apport d'azote du stade épi 1 cm et induire une carence azotée.

Les conclusions issues des résultats obtenus au cours de ces huit années sont donc généralisables.

Un enjeu de l'irrigation variable selon la réserve en eau du sol

La dose d'eau apportée chaque année varie de 0 à 155 mm sur le site de Bois-Joly et de 0 à 110 mm sur le Magneraud. Compte tenu de l'écart de réserve utile entre les deux sites, la dose d'irrigation nécessaire pour satisfaire les besoins en eau sur le

site de Bois-Joly dépasse de 30 à 40 mm en moyenne celle du Magneraud. Il en résulte logiquement un gain de rendement plus important avec l'irrigation sur le site de Bois-Joly : + 11 q/ha au Magneraud contre + 19 q/ha à Bois-Joly, toutes espèces confondues.

La *figure 3* montre la répartition des doses d'irrigation et des gains de rendement en blé tendre selon les années. L'enjeu de l'irrigation varie de 0 à plus de 30 q/ha sur Bois-Joly et de 0 à plus de 25 q/ha sur Le Magneraud.

L'écart de dose entre les deux sites a été important certaines années comme 1996 et 2002. Mais cet écart a été faible à nul les autres années, ce qui peut paraître *a priori* surprenant. Plusieurs explications à cela :

- les deux années 1997 et 2003 sont caractérisées par des sécheresses précoces. L'irrigation a été nécessaire dès le début du mois d'avril quelle que soit la réserve utile du sol, pour permettre l'absorption de l'engrais azoté apporté au stade épi 1 cm et éviter une carence azotée. Il apparaît donc normal que l'écart de dose ne soit pas en relation étroite avec l'écart de réserve en eau. Toutefois, un démarrage d'irrigation à partir du 1^{er} avril (pour tenir compte de la pratique agricole où l'irrigation avant cette date, est très peu pratiquée compte tenu des tarifs d'abonnement EDF élevés), a pu pénaliser davantage



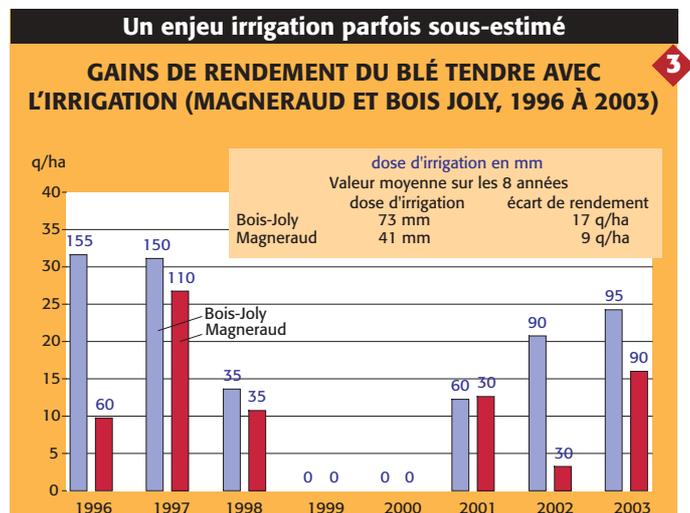
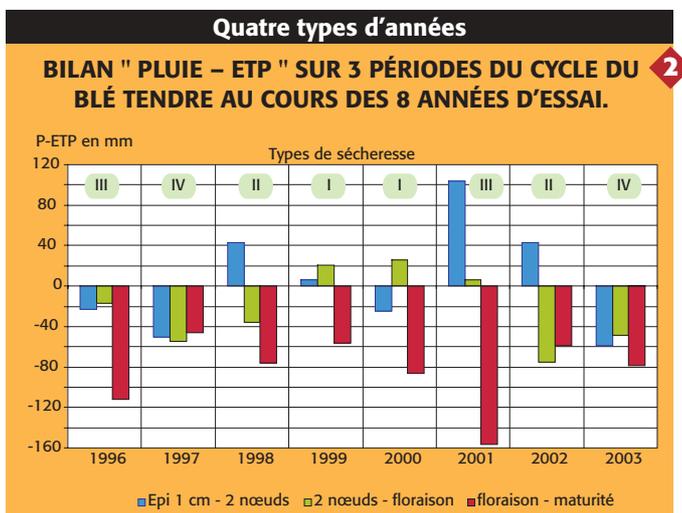
la culture à Bois-Joly en 2003, compte tenu de l'apparition plus précoce de la carence azotée en sol superficiel (en relation avec un reliquat d'azote minéral plus faible).

- en 2001, le rythme d'irrigation pratiqué à Bois-Joly (30 mm tous les huit jours conseillé par la méthode Irrinov® dans ce type de sol pour répondre à la demande climatique 8 années sur 10), n'a pas permis de satisfaire la demande climatique exceptionnellement élevée. L'application d'un rythme plus soutenu aurait permis de réaliser un apport d'eau supplémentaire.
- en 1998, le rendement de

Bois-Joly a été affecté par le manque d'azote (dose sous estimée) ; et les doses testées supérieures à 35 mm n'ont pas été valorisées.

- en 1999 et 2000, années plus humides, aucun apport d'eau n'était nécessaire en sol profond comme en sol plus superficiel.

Certaines années, comme en 2001 et 2003, l'enjeu de l'irrigation en sol superficiel, est donc probablement sous estimé, en raison d'une irrigation insuffisante par rapport aux besoins. Le blé irrigué à Bois-Joly a donc un rendement inférieur à celui obtenu au Magneraud (*figure 4*).





Des gains de rendement par irrigation équivalents pour les trois espèces

Les enjeux de l'irrigation sur les trois espèces sont comparables comme le montre la figure 5.

Les doses d'irrigation optimales pour chacune des trois espèces sont proches sur le site du Magneraud. Par contre, le blé dur et l'orge de printemps ont nécessité presque 20 mm de plus que le blé tendre en sol superficiel. Toutefois, seul le blé dur valorise ce supplément d'irrigation par rapport au blé tendre. Une expérimentation sur la dose d'azote en orge de printemps, conduite à proximité de l'essai irrigation de Bois-Joly, a mis en évidence l'insuffisance de la dose d'azote apportée en conduite irriguée, de 1996 à 1998, avec pour conséquence une moindre efficacité de l'irrigation.

L'efficacité un peu plus faible de l'irrigation sur le blé dur et sur l'orge de printemps au Magneraud, s'explique par une dose d'irrigation légèrement surestimée, certaines années.

On peut donc considérer que l'efficacité de l'irrigation

est comparable pour les trois espèces. Le choix d'irriguer l'une ou l'autre de ces espèces va dépendre d'abord des résultats économiques attendus pour chacune d'elles (marge brute). La maîtrise de la qualité sera également un paramètre à prendre en compte.

On devra également vérifier si le calendrier d'irrigation de ces trois espèces est compatible avec celui du maïs. Le blé tendre et le blé dur semés à des dates proches ont un calendrier comparable. L'orge de printemps semée de mi-janvier à mi-février en Poitou-Charentes suit un calendrier retardé de 8 à 10 jours par rapport au blé tendre. La question de la concurrence vis-à-vis des moyens d'irrigation se pose

entre la fin de la période d'irrigation de l'orge de printemps et le démarrage de l'irrigation du maïs. Toutefois, la comparaison annuelle de la date d'arrêt de l'orge de printemps et de la date de démarrage sur le maïs montre que cette compétition existe seulement une année sur les huit référencées. Cette compétition peut s'avérer plus importante si l'orge de printemps est semée fin février.

Une irrigation très efficace les années à sécheresse précoce

Deux des huit années suivies sont marquées par une pluviométrie faible à nulle (15 mm en 2003 et 0 en 1997) dans les six semaines qui ont suivi l'apport d'azote au stade épi 1 cm.

Le déficit pluviométrique a provoqué un retard d'absorption de l'azote de l'engrais de plus de 30 jours en 2003 et de 50 jours en 1997. Dans ces sols à faible reliquat d'azote minéral en sortie d'hiver, un retard d'absorption de plus de 20 jours se traduit par une carence en azote.

La première conséquence de la sécheresse précoce est donc une carence azotée.

Le stress hydrique apparaît ensuite si la sécheresse se poursuit et conduit à un épuisement de la réserve en eau du sol. Ainsi, en 1997 et 2003, le blé tendre et le blé dur ont été

à la fois affectés par le manque d'eau et le manque d'azote. Ces deux facteurs semblent cumuler leurs effets si l'on en juge par les écarts de rendement et l'efficacité de l'irrigation (jusqu'à 3,5 q/ha pour 10 mm d'eau d'irrigation en 1997 au Magneraud) qui représentent les meilleures efficacités enregistrées au cours des huit années. Toutefois, l'irrigation réalisée ne permet pas de maintenir le rendement à son potentiel : le déclenchement de l'irrigation début avril (pour des problèmes de coût d'électricité avant cette date) n'a pas permis une levée suffisamment précoce de la carence en 1997, sur les deux sites et, en 2003, à Bois-Joly.

L'orge de printemps a été moins affectée que le blé par la sécheresse précoce de ces deux années. En raison du décalage de son cycle, le retard d'absorption était moins important que sur le blé et a pu être mieux "récupéré". Néanmoins, ce type de scénario peut se produire et avoir les mêmes effets sur cette espèce.

L'irrigation reste efficace les années à forte chaleur en juin

Les fortes températures après l'épiaison pénalisent le remplissage des grains et affectent le poids de 1000 grains. On peut penser que ces fortes températures limitent les effets de l'irrigation, notamment de celle réalisée en post-épiation.

Pour estimer l'impact des

Mieux supporter les excès thermiques

TEMPÉRATURES MAXIMUM SUR LA PÉRIODE ÉPIAISON STADE PÂTEUX ET EFFETS DE L'IRRIGATION SUR BLÉ TENDRE (RENDEMENT EN IRRIGUÉ ET EFFICACITÉ MOYENS SUR LES DEUX SITES)

ANNEE	Nombre de jours avec température maxi > 25 °C			Somme températures maxi > 25 °C			Rendement irrigué	Efficacité de l'irrigation
	Epiaison au stade laiteux	Stade laiteux au stade pâteux	Total	Epiaison au stade laiteux	Stade laiteux au stade pâteux	Total		
1996	8	7	15	28	26	54	104	1,8
1997	5	5	10	13	12	25	83	2,7
1998	5	4	9	4	18	22	89	3,8
2001	1	8	9	6	42	48	111	3,1
2002	5	6	11	14	23	37	102	1,7
2003	4	5	9	19	18	37	94	2,2

Une adaptation obligatoire des apports azotés

RENDEMENT ET TENEUR EN PROTÉINES MOYENNE SUR LES OBSERVATOIRES IRRIGATION SUR LA PÉRIODE 1996-2003 (SAUF 1999 ET 2000, ANNÉES SANS IRRIGATION)

Espèce	site	régime hydrique	dose totale d'azote kg N/ha	rendement q/ha	% protéines
blé tendre	Magneraud	sec	173	87	11,7
		irrigué	183	101	12,0
	Bois-Joly	sec	155	71	11,8
		irrigué	188	94	11,7
blé dur	Magneraud	sec	183	71	13,7
		irrigué	197	82	13,0
	Bois-Joly	sec	161	56	14,3
		irrigué	194	81	13,5
orge de printemps	Magneraud	sec	108	81	9,6
		irrigué	129	89	10,4
	Bois-Joly	sec	107	61	9,8
		irrigué	136	79	9,9

fortes températures sur l'efficacité de l'irrigation et le rendement en culture irriguée, on a mis en relation ces deux variables avec deux indices climatiques utilisés pour estimer l'excès thermique entre le stade épiaison et le stade pâteux. Deux années ont particulièrement été concernées par les fortes températures : 1996 et 2001.

Les résultats montrent que, dans la limite des excès thermiques enregistrés, l'efficacité de l'irrigation n'est que peu (1996) ou pas affectée (2001).

L'irrigation qui contribue à maintenir une évapotranspiration élevée du couvert, permet de diminuer un peu la température du couvert par rapport à une culture en sec et

ainsi de mieux supporter les excès thermiques.

Gérer les teneurs en protéines

La mise en œuvre de l'irrigation des céréales concerne le plus souvent des cultures sous contrat qualité (orges brassicoles, blé meunier, blé dur...). Il est donc important de connaître ses effets sur les paramètres de qualité et d'agir de manière cohérente sur le couple " fertilisation azotée-irrigation " pour garantir la qualité requise.

Les teneurs en protéines mesurées sur les observatoires d'irrigation ne permettent pas d'isoler l'effet du facteur irrigation, dans la mesure où les cultures irriguées rece-

vaient une fertilisation azotée plus importante en raison de l'objectif de rendement supérieur (tableau 3). L'analyse des teneurs en protéines obtenues permet de porter un diagnostic sur l'adaptation de la fertilisation azotée aux conditions irriguées.

L'irrigation associée à une fertilisation azotée adaptée (+ 10 et + 30 kg N/ha en irrigué selon le sol) a, en moyenne, peu d'impact sur la teneur en protéines des grains de blé tendre. En situation irriguée, l'ajustement de la fertilisation azotée permet de satisfaire le besoin d'azote plus important.

Sur du blé dur (Lloyd), la dose d'azote apportée n'a pas permis d'atteindre la teneur de 14,5 % requise pour la qualité. De plus, l'adaptation de la fertilisation azotée en irrigué (+ 14 et + 33 kg N/ha), semble insuffisante.

Sur de l'orge de printemps, les teneurs en protéines sont dans la gamme requise pour la qualité brassicole. Celles-ci se situent néanmoins dans la fourchette basse. L'adaptation de la fertilisation azotée en situation irriguée (+ 20 et + 30 kg N/ha), permet de maintenir ou d'améliorer la qualité (Le Magneraud).

Ainsi, pour le blé tendre et l'orge de printemps, les adaptations réalisées au niveau de la fumure azotée (+ 15 kg N/ha en sol plus profond et + 30 en sol superficiel) sont globalement satisfaisantes. Sur le blé

dur, le supplément d'azote nécessaire en situation irriguée doit être plus important que celui qui a été réalisé.

L'adaptation annuelle de ces valeurs moyennes passe par l'utilisation d'outils de pilotage.

Sur le blé tendre comme sur le blé dur, le supplément d'azote doit être apporté au 3^e ou au 4^e apport d'azote.

2 à 2,5 q/ha pour 10 mm d'eau

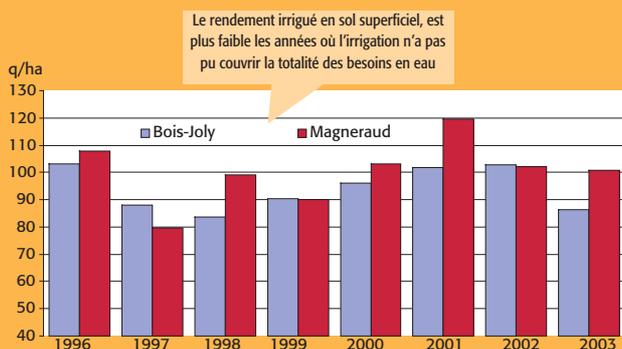
L'enjeu de rendement lié à l'irrigation des céréales varie du simple au double selon le type de sol, profond (plus de 130 à 150 mm) ou superficiel (70 à 80 mm de RU).

L'efficacité moyenne de l'irrigation se situe autour de 2 à 2,5 q/ha pour 10 mm d'irrigation quelle que soit l'espèce (blé tendre, blé dur ou orge de printemps), mais elle peut varier selon le type de sécheresse.

L'irrigation contribue à une meilleure gestion de la teneur en protéines des grains, dans la mesure où elle permet de réduire la variabilité du rendement. Toutefois, la fertilisation azotée doit être gérée de manière cohérente avec l'augmentation de production attendue, pour que l'objectif de teneur en protéines soit maîtrisé. Dans le cas des terres de groies, les adaptations de fertilisation azotée ont été évaluées.

Le besoin en eau : facteur limitant du rendement

RENDEMENT DU BLÉ TENDRE SELON LE SITE IRRIGUÉ



Rendement moyen Bois-Joly : sec = 77 q/ha ; irrigué = 94 q/ha
Rendement moyen Magneraud : sec = 90 q/ha ; irrigué = 100 q/ha

Des enjeux comparables dans les 3 espèces

GAIN DE RENDEMENT MOYEN AVEC L'IRRIGATION DE 1996 À 2003 (comparaison du blé tendre, du blé dur et de l'orge de printemps sur les sites de Magneraud et de Bois Joly)

