

Sommaire

Stratégie	p. 1
Coûts	p. 2
Fiche prévisionnelle optim ³	p. 3
Résultats d'essais	p. 4
Outils de pilotage :	
Diviner 2000®	p. 6
Watermark	p. 7
Bilan hydrique	p. 8

Alors que l'évolution du climat rend l'irrigation indispensable pour sécuriser l'équilibre économique de nombreuses exploitations, les ressources en eau s'avèrent parfois insuffisantes.

Aujourd'hui, tous les irrigants sont susceptibles d'être confrontés à des restrictions. Risque d'interdictions d'irrigation en été ou restrictions plus progressives, chaque situation appelle une stratégie d'adaptation.

Des pistes existent pour économiser l'eau : choix de l'assolement, modification de

l'itinéraire technique, raisonnement des apports d'irrigation...

Vous trouverez dans ce document un ensemble de références agronomiques et de résultats d'essais obtenus dans notre région par les Chambres d'Agriculture, pour vous aider à optimiser l'efficacité économique de votre irrigation.



En cas de limitation du volume

- Calculez d'abord les **besoins prioritaires** : cultures d'été et cultures contractualisées.
- Seuls les **volumes restants** pourront être utilisés sur les autres cultures au printemps.

La **fiche de calcul « Optim3 »** ci-jointe est à votre disposition pour vous aider à élaborer et affiner votre stratégie d'irrigation (aussi disponible en version Excel).

Irriguer pendant les périodes critiques et privilégier les sols superficiels

L'irrigation est valorisée à deux conditions simultanées : un déficit hydrique du sol avéré et une culture à un stade sensible à la sécheresse.

La méthode du bilan hydrique utilisée dans nos conseils permet de quantifier le déficit hydrique.

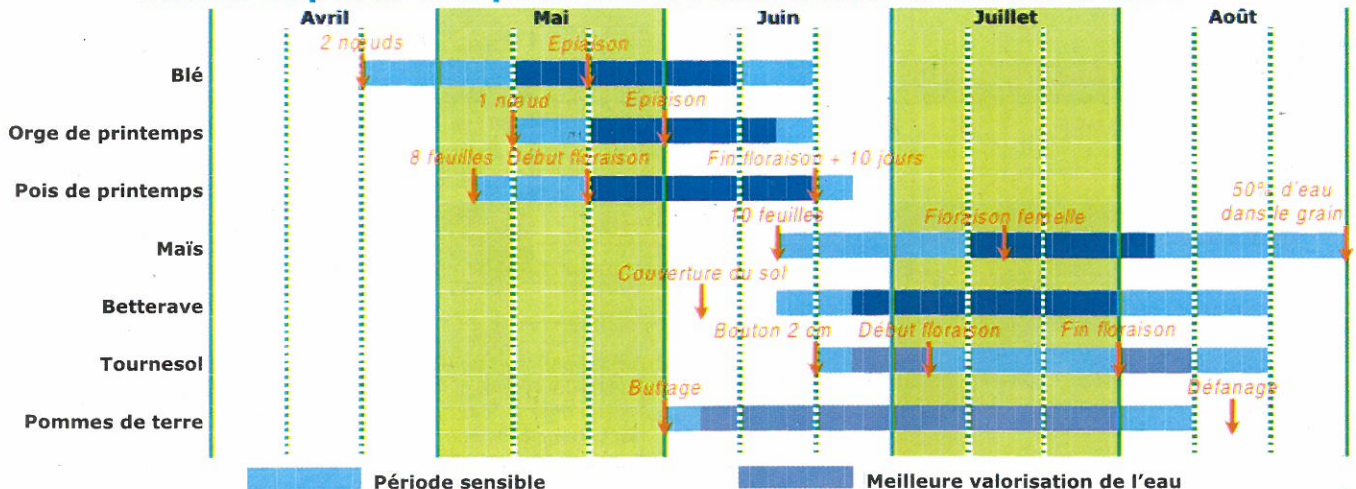
On distingue deux périodes de sensibilité au manque d'eau (tableau ci-dessous) :

- une période critique où l'impact sur le rendement est fort ;
- une période où l'incidence est plus faible (période sensible).

En sol moyennement profond, voire profond, l'eau n'est valorisée que pendant la période de forte sensibilité.

En sol superficiel, l'irrigation permet un gain de rendement pendant toute la période sensible. La réponse à l'irrigation est moindre cependant en début et en fin de période.

Stades repères des périodes de sensibilité à la sécheresse



Si vous ne pouvez irriguer qu'une fois au printemps ou très peu en été

Blé : au stade dernière feuille pointante dans les sols superficiels, et au début de l'épiaison dans les sols profonds.

Orge de printemps : entre 2 nœuds et dernière feuille pointante.

Pois de printemps : attendre le début floraison (une fleur ouverte par pied) dans les sols superficiels, et mi-floraison (deuxième étage de gousses) dans les sols profonds.

Maïs grain : respecter le rythme des apports conseillés sur la période critique (pendant trois semaines à partir de la sortie des panicules) et par conséquent accepter de pénaliser le début et la fin de cycle.

Betterave : la phase de croissance maximale des betteraves se situe de fin juin à fin juillet. L'efficacité de l'irrigation durant cette période est supérieure à celle des apports du mois d'août, qui

peuvent compromettre les conditions d'arrachage et faire baisser le taux de sucre.

Tournesol : s'il ne doit y avoir qu'une irrigation, faites-la juste avant floraison.

Sorgho : privilégier le stade gonflement si un seul apport d'eau est disponible.

Les coûts de l'irrigation

Au même titre que les fertilisants, l'eau est un moyen de production dont le "rendu racines" nécessite du matériel et des investissements importants. **Une irrigation ne doit être envisagée que si les gains de rendement et de qualité attendus couvrent largement les coûts.**

Pour une installation permettant d'irriguer 150 ha^(*) (180 mm sur 50 ha en été et 30 mm sur 100

ha au printemps), les coûts en 2013 se répartissent :

- **en fonctionnement : 35 à 40 €/ha et par irrigation** (redevance, énergie, frais d'entretien).
- **en investissement : 55 à 60 €/ha et par irrigation** (forage, système de pompage, tuyaux, enrouleur ou pivot et frais financiers liés à ces investissements).

Chaque apport d'eau coûte ainsi 90 à 100 €/ha irrigué.

Par exemple, pour un prix du maïs variant entre 140 et 200 €/t, l'irrigation n'est rentable que si elle permet de produire plus de 5 à 7 q/ha par passage, soit 35 à 40 q pour 180 mm apportés sur un maïs par exemple.

(*) forage 50 m de profondeur, pompe 100 m³/h, 2 enrouleurs 120 x 600, 3000 m d'enterré PVC en 160

Fiche Opti'm3



Opti'm3 - Prévission de répartition de l'eau d'irrigation par parcelle
Projet de développement agricole Optim'eau

Exemple

	Culture	Parcelle	Sol Superficiel ou Moyen ou Profond	1 ^{er} calcul			2 ^{ème} calcul (adapté au volume attribué)			Irrigation réalisée (m ³ d'eau apportés)
				Besoins (mm)	Surface (ha)	m ³ d'eau prévus	Besoins (mm)	Surface (ha)	m ³ d'eau prévus	
Printemps	Blé	La butte	S	100 mm x 50 ha x 10 = 50 000 m ³			90 mm x 15 ha x 10 = 13 500 m ³			9 000 m ³
							60 mm x 35 ha x 10 = 21 000 m ³			10 500 m ³
				Besoin arrondi en irrigations de 30 mm et choix de restreindre davantage une partie de la (des) parcelle(s).						
	Pois	La ferme	M	60 mm x 20 ha x 10 = 12 000 m ³			60 mm x 20 ha x 10 = 12 000 m ³			6 000 m ³
				Choix de bien irriguer les pois						
SOUS -TOTAL Printemps					70 ha	62 000 m ³		70 ha	46 500 m ³	25 500 m ³
Eté	Maïs	Les taillis	S	240 mm x 30 ha x 10 = 72 000 m ³			210 mm x 30 ha x 10 = 63 000 m ³			72 000 m ³
										Choix de supprimer le dernier tour d'eau sur maïs
SOUS -TOTAL Eté					30 ha	72 000 m ³		30 ha	63 000 m ³	72 000 m ³
VOLUME TOTAL					100 ha	134 000 m ³		100 ha	109 500 m ³	97 500 m ³

à comparer au Volume maximum attribué =

110 000 m³

En cas d'année sèche, la première hypothèse ne permet pas de respecter le volume attribué. Il faut donc faire un deuxième calcul pour faire des choix d'économie d'eau.

Le printemps a été assez humide, et 1 seule irrigation a été suffisante en pois et blé (sauf les 15 ha les plus superficiels qui ont eu deux passages). Cela permet de dépasser la prévision un peu limitante en maïs (été sec), et d'économiser 12 500 m³.

Opti'm3 - Prévision de répartition de l'eau d'irrigation par parcelle

Projet de développement agricole Optim'eau

Estimation indicative des besoins :

Cultures	Sol superficiel		Sol moyen		Sol profond	
	5 ans/10	8 ans/10	5 ans/10	8 ans/10	5 ans/10	8 ans/10
Betteraves	140	200	110	170	90	150
Blé tendre ou orge	35	100	0	35	0	faible
Maïs	180	240	160	220	140	200
Pois	65	105	15	60	0	

Rappel : 1 mm sur 1 ha est égal   10 m³ d'eau

Culture	Parcelle	Sol Superficiel ou Moyen ou Profond	1 ^{er} calcul			2 ^{�me} calcul (adapté au volume attribué)			Irrigation réalisée (m3 d'eau apportés)
			Besoins (mm)	Surface (ha)	m3 d'eau prévus	Besoins (mm)	Surface (ha)	m3 d'eau prévus	
P R I N T E M P S			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
SOUS -TOTAL Printemps									
E T à			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
			x	x 10 =		x	x 10 =		
SOUS -TOTAL Et�									
VOLUME TOTAL									
� comparer au			Volume maximum attribué =						

Synthèse des essais d'irrigation restrictive sur maïs

En situation restrictive privilégier les variétés rustiques, maintenir la densité de semis et la fertilisation azotée, assurer un bon confort hydrique à partir de 10 jours avant floraison et jusqu'à 20 jours après floraison (stade limite d'avortement des grains).

La campagne 2012 s'est traduite par une levée lente du maïs suivie par une pluviométrie importante jusqu'à la floraison. Ensuite, l'été a été chaud et sec de la fin juillet jusqu'à la récolte.

En situation d'irrigation restrictive, éviter de réduire la dose d'azote (Eure-et-Loir 2012)

En 2012, la dose optimale d'azote est identique quel que soit le régime hydrique.

De manière générale, au moment de décider de la dose d'azote, le climat n'étant pas connu, le potentiel de rendement

en situation restrictive reste intact, il ne faut donc pas réduire la fertilisation.

La densité de semis, un paramètre à garantir, même en restriction (Eure-et-Loir 2011, Cher 2011)

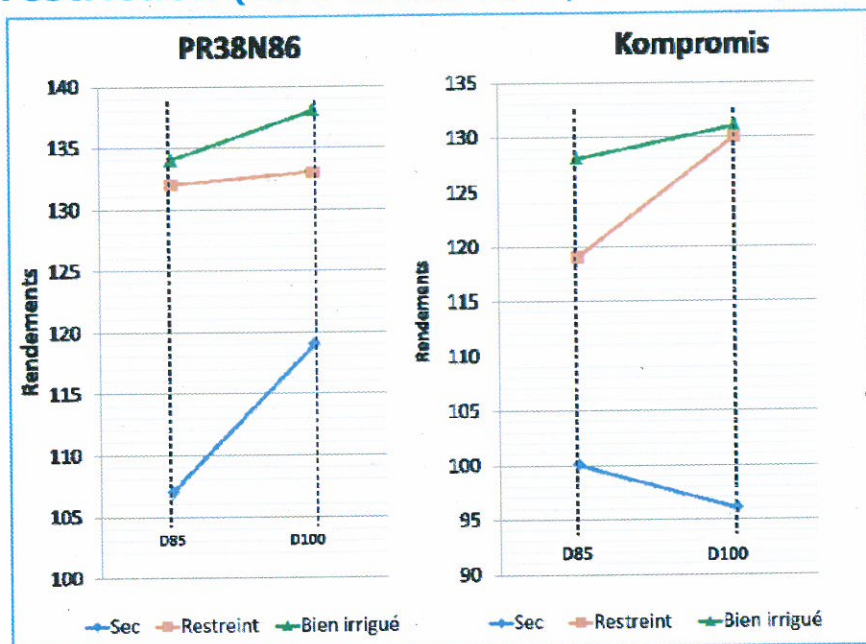


Figure 1. Rendements obtenus en maïs (Eure-et-Loir), sur PR38N86 et Kompromis, selon la densité de semis (D85 = 85 000 pieds/ha ; D100 = 100 000 pieds/ha) et la conduite de l'irrigation

À un niveau de rendement supérieur à 120 q/ha, la diminution de la densité (en deçà de 100 000 pieds/ha) n'apporte pas de plus-value en conditions restrictives, voire même s'avère pénalisante avec les variétés cornées (Kompromis).

La figure ci-contre illustre ce constat, avec des rendements assez peu dépendants de la densité de semis. De plus, on observe qu'en conditions plus favorables, une densité de semis plus élevée permet de garantir de meilleurs rendements.

Des variétés plus tolérantes (Eure-et-Loir 2012, Cher 2012 et années précédentes)

Parmi les variétés testées, PR38N86 et DKC4197 présentent une rusticité très intéressante, leur permettant de garantir leur potentiel de rendement à chaque campagne. Concernant les variétés plus tardives, DKC 4590 et PR37K92 ont confirmé leur

potentiel de rendement, notamment dans les scénarii d'irrigation où les apports sont bien assurés en post-floraison (conduite normale et/ou retour de pluies).

Des variétés comme Kompromis ouvrent d'importantes pistes de

réflexion en situation restrictive, avec des potentialités très fortes et une rusticité marquée. Les résultats d'essais sur cette variété montrent même de moins bons rendements en situations d'irrigation trop confortables.



Irriguer en économisant de l'eau

La période floraison à post floraison, phase clé de la conduite de l'irrigation (Cher 2012, Loiret 2012, Eure-et-Loir 2012)

Les résultats obtenus montrent que l'arrêt total de l'irrigation après la floraison est très pénalisant, et que même la suppression du dernier tour d'eau est sanctionnée.

L'essai du Cher (figure ci-dessous) permet de constater que les rendements sont souvent meilleurs sur le scénario d'irrigation « tardive », au cours duquel les apports sont centrés sur la floraison, et se poursuivent jusqu'à la fin de

cycle. Sur cette période clé (floraison à SLAG), les apports sur le « tardif » sont de 80 mm et 60 mm pour le scénario « ETM ». Il a été également confirmé que le stress hydrique précoce (en sec ou irrigation tardive) pénalise le nombre de grains par épi (en particulier pour les variétés dentées).

Privilégier l'irrigation à partir de 10 jours avant la floraison à 20 jours après permet de limiter les

pertes. Les résultats obtenus dans le Loiret le confirment.

Ainsi, les conduites bien irriguées en post-floraison permettent d'obtenir des écarts de rendement, de l'ordre de 15 à 20 q/ha (Cher) et 24 à 38 q/ha (Loiret), par rapport à des apports uniquement à la floraison (1^{ères} et 2^{èmes} modalités).

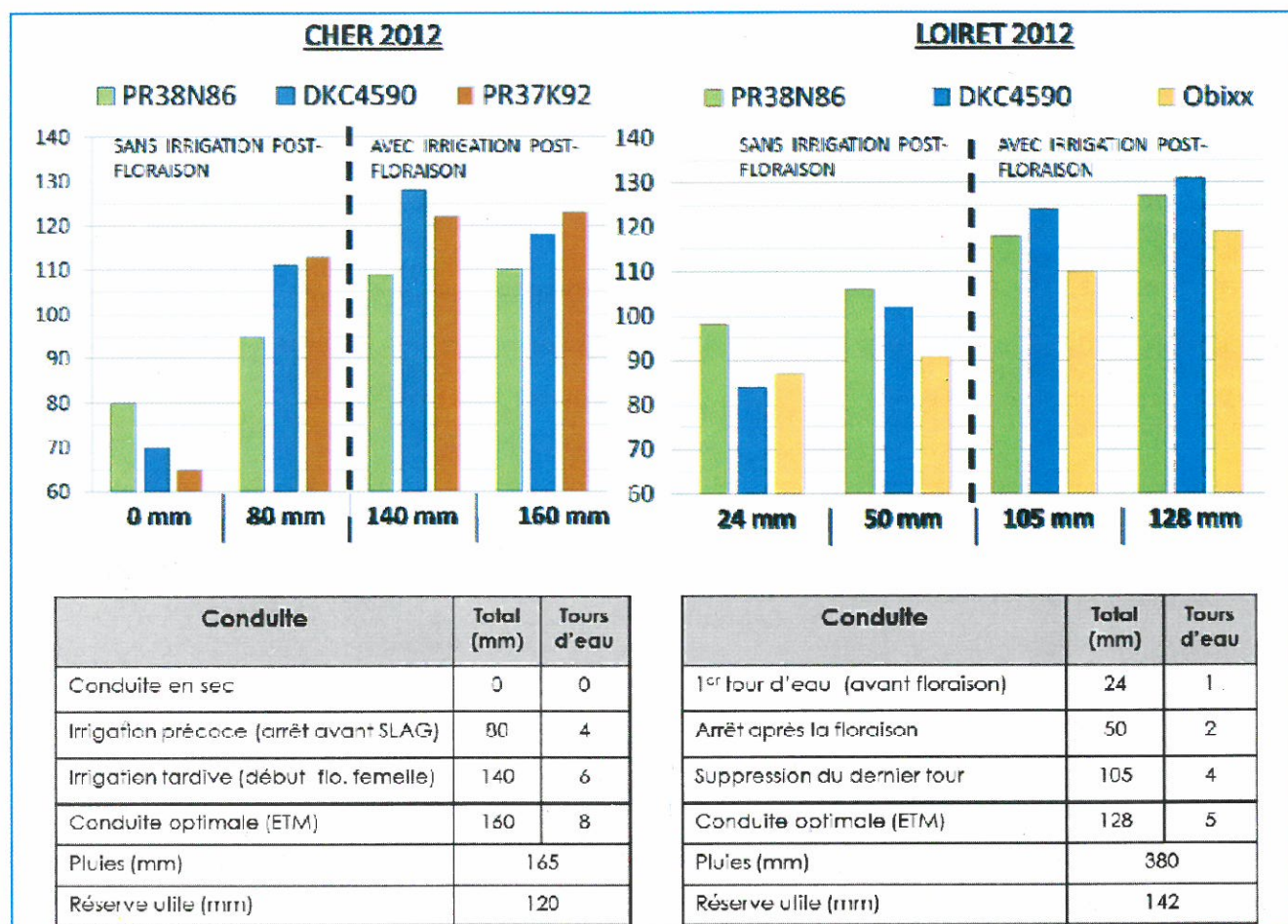


Figure 2. Rendements à 15% humidité obtenus selon les conduites d'irrigation, en 2012, dans le Cher (à gauche) et le Loiret (à droite).

En Eure-et-Loir, un apport tardif après une restriction post-floraison, permet de réduire fortement les pertes sur des variétés demi-précoces (Kompromis, PR38N86).



Evaluation des différents outils de pilotage de l'irrigation

Une fois les coefficients culturaux correctement établis, l'OAD Net-Irrig, basé sur la méthode du bilan hydrique, offre la meilleure pertinence de conseil à l'irrigation des outils testés.

Mesure de l'humidité des sols par les sondes capacitives Diviner 2000®

La sonde Diviner 2000® testée de 2008 à 2010 ne permet pas pour l'instant de faire du conseil d'irrigation, mais permet de déterminer de façon fiable la profondeur d'enracinement d'une culture.

Principe

Sonde mobile utilisable dans des tubes PVC préinstallés. L'appareil envoie une impulsion électrique et mesure la fréquence de retour dépendant de la quantité d'eau présente dans le sol (profil en mm d'eau ; mesure tous les 10 cm de profondeur).

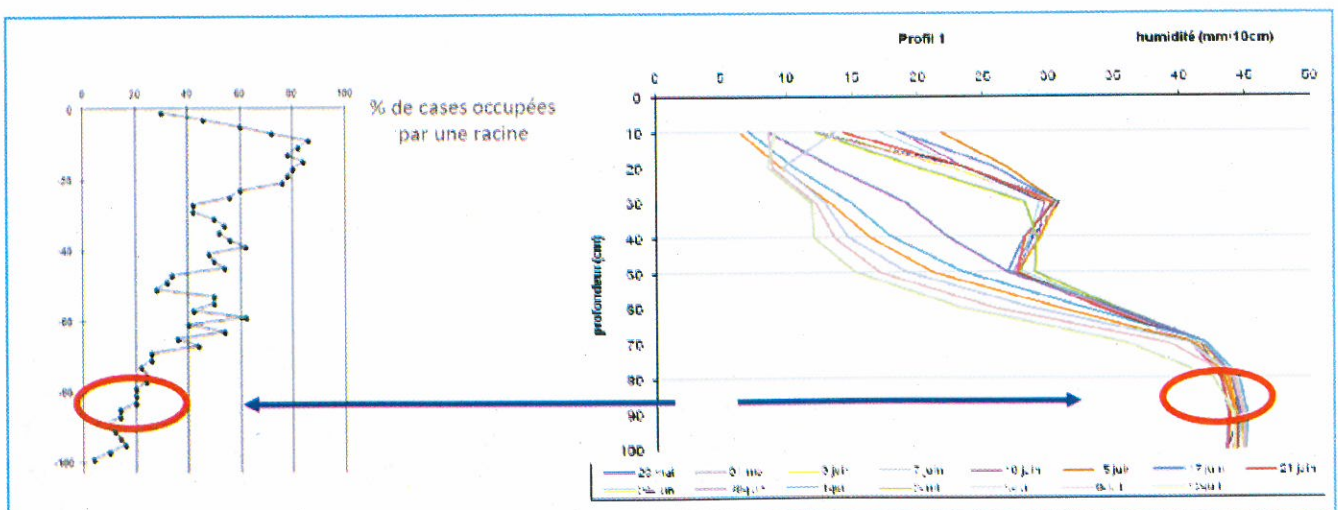
La mesure est ponctuelle et nécessite une multiplication des points de référence.

Tige graduée

Boîtier enregistreur

Capuchon

Capteur sonde

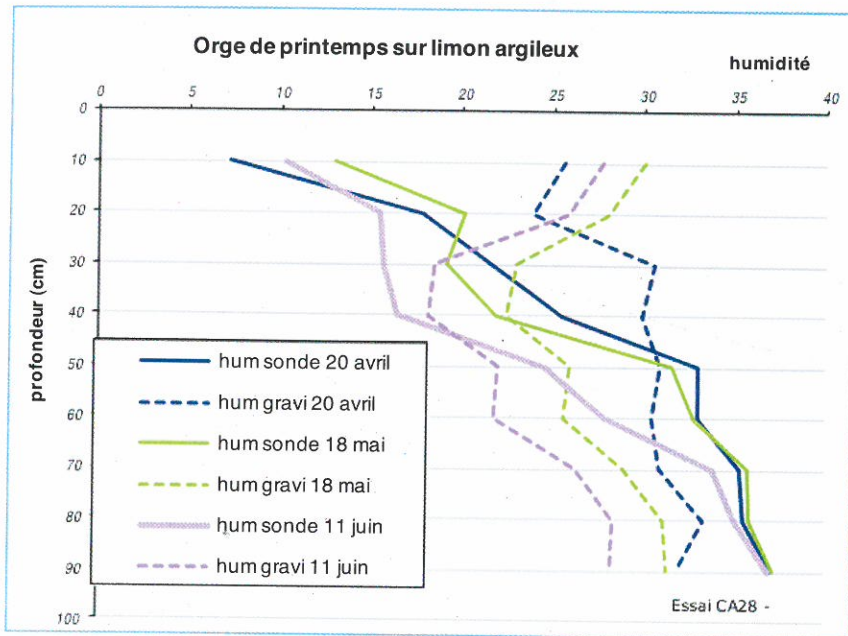


Données « essai pois CA45 - 2010 » en limon argileux : comparaison des variations d'humidité mesurées à l'aide de la sonde Diviner 2000® à un profil d'enracinement réalisé sur le même site

Les variations d'humidité du sol sont mesurées tous les 3 à 4 jours, jusqu'à 1 m de

profondeur. L'absence de fluctuation de cette humidité au cours du temps à partir de 80 cm

un manque de racines, confirmé par le profil racinaire réalisé ci-dessus.



La sonde Diviner 2000® dans son paramétrage standard ne donne

pas des valeurs d'humidité fiables.

En comparant les humidités données par la sonde Diviner 2000® (Hum sonde) avec celles mesurées à l'étuve tous les 15 jours (Hum gravi), on constate que la sonde sous-estime l'humidité en surface (mauvais contact du tube avec le sol ?) et la surestime en profondeur. Ceci se vérifie aux différentes dates de mesures.

De plus l'outil Diviner 2000® n'est pas adapté à tous les types de sols :

- dans les sols de limons argileux profonds décalcifiés, il nécessiterait un re-paramétrage de l'équation de transformation des valeurs sources en humidité ;
- dans les sols sableux, la corrélation entre les fréquences mesurées et l'humidité du sol est de mauvaise qualité.

Mesure de la tensiométrie des sols par les sondes Watermark®

Un pilotage possible de l'irrigation en sol limono-argileux profond, mais un manque de sensibilité du capteur Watermark® en sol sableux.

Principe

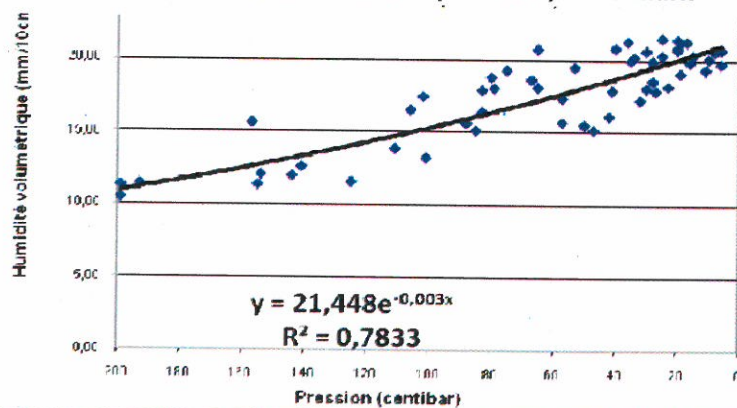
Une évaluation indirecte de l'état de l'eau dans le sol par la mesure des forces de liaison de l'eau, tension exprimée en centibars.

L'évolution de la tension est inversement proportionnelle à la quantité d'eau disponible.

La mesure est ponctuelle nécessitant une multiplication des points de référence

Sol limono-argileux profond décalcifié (calciisol)
(essai CA45 pois - 2010)

Corrélation humidité volumétrique réelle/watermark®

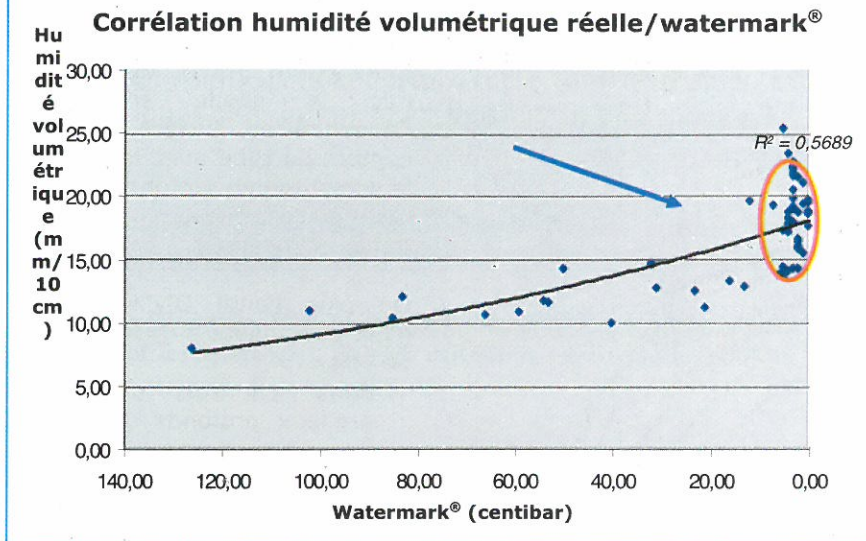


Existence d'une relation satisfaisante entre les valeurs de

tension mesurées et l'humidité volumique réelle : $R^2 > 0.7$



Sol sableux profond (fluviosol)
(essai CA45 betterave rouge - 2010)



Manque de sensibilité des capteurs Watermark® dans les sables : les tensions restent stables alors que l'humidité volumétrique réelle chute de 30% (R² < 0.7 corrélation insuffisante).



Tensiomètre Watermark® et son outil de pose (tarière villed)

Calcul de l'humidité des sols par la méthode du bilan hydrique

Un suivi fiable de la réserve en eau du sol et un conseil irrigation cohérent, une fois les coefficients culturaux correctement paramétrés.

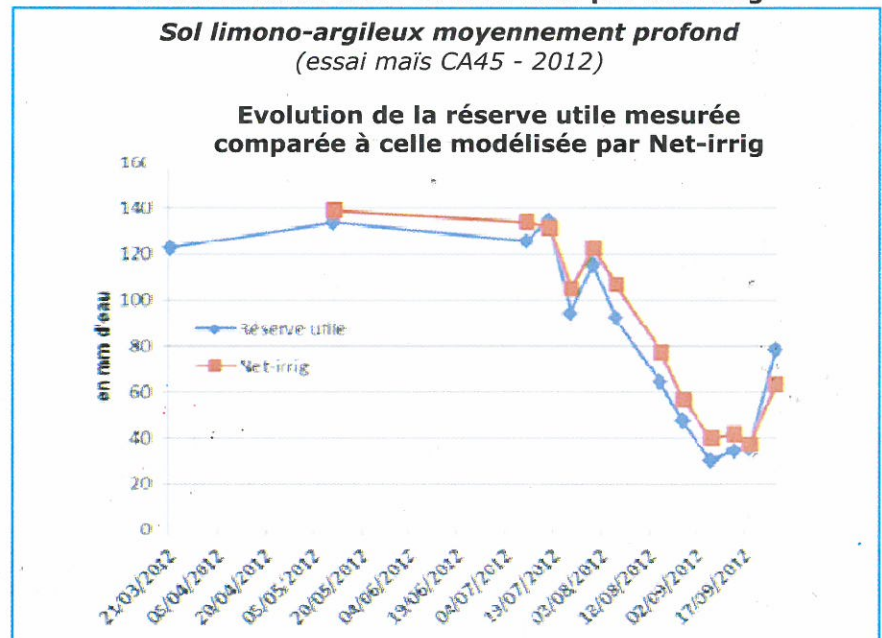
Principe

Le bilan hydrique consiste à calculer la réserve en eau du sol en partant d'une réserve utile, et d'un bilan journalier des apports d'eau (pluie, irrigation) et des consommations (évapotranspiration).

Le logiciel Net-irrig CA45 est un outil Internet développé par les services de la Chambre d'agriculture du Loiret, pour l'aide au pilotage de l'irrigation. Il repose sur la méthode du bilan hydrique calculé à la parcelle, intégrant une mise en forme graphique, une modélisation de l'évolution de la réserve disponible au cours du temps, et un conseil prévisionnel.

Détermination de la réserve utile par Net-Irrig

Sol limono-argileux moyennement profond
(essai maïs CA45 - 2012)



Existence d'une très bonne corrélation (R² = 0.97) entre les valeurs calculées par le logiciel

de modélisation et la réserve utile mesurée au cours de la saison.



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale «développement agricole et rural»

Publication des Chambres d'Agriculture du Centre

Cité de l'Agriculture 13 Avenue des Droits de l'Homme - 45921 Orléans cedex 9

Directeur de publication : *Christophe CHENUT*

Rédaction : *Les conseillers irrigation - PRDA 112 « Optim'eau »*

Impression : Imprimerie de l'Ormeteau