

ETUDE DE L'EFFET DU STRESS HYDRIQUE DU BLE DUR

Mebrek N.¹, Benrachedi K.¹ Mouhouche B.²

¹ Université de Boumerdès, département du Génie de l'Environnement.

² Institut National Agronomique (INA) El Harrach.

RESUME

En Algérie, la mauvaise répartition des précipitations dans l'espace et dans le temps représente le principal facteur de limitation des niveaux du rendement des céréales.

Pour cela, une expérimentation a été menée en vue d'étudier les effets du stress hydrique sur le blé dur «variété VITRON », à l'aide d'un thermomètre infrarouge qui mesure la température du couvert végétal. Cet essai comporte quatre traitements avec deux répétitions.

Le suivi thermique du couvert végétal a montré l'effet bénéfique de l'irrigation sur la diminution de la température foliaire, donc la diminution du risque de stress hydrique.

L'utilisation des indicateurs de stress (SDD, CTV, TSD et CWSI) qui dérivent de la température du couvert végétal confirme l'effet de la dose d'irrigation sur la culture.

Mots clés : Blé dur. Stress Hydrique

INTRODUCTION

Les zones potentiellement céréalières sont fortement dépendantes du climat. Ainsi la production nationale moyenne ne donne que des rendements de l'ordre de (7q/ha). Pour accroître la production et sécuriser les agriculteurs, nous avons eu recours à l'irrigation de complément.

Pour gérer de façon économique et rationnelle les irrigations des céréales, nous ne pouvons plus nous permettre d'apporter des irrigations en périodes de pointe mais d'intervenir en temps réel par l'intermédiaire de mesure in situ. Dans notre cas, la température de surface sera utilisée comme indicateur pour piloter les irrigations.

L'utilisation de la mesure de la température de surface d'un couvert végétal par radiothermométrie infrarouge, cette technique a connu un développement important ces dernières années. En effet, comparativement aux autres techniques dites classiques qui sont souvent destructives et lourdes à réaliser, elle offre l'avantage d'être rapide, précise et n'affecte pas directement le végétal.

Son domaine d'application s'étend à la détection d'un stress qui survient à n'importe quel moment du cycle de la plante. Cette méthode a permis de mettre au point un certain nombre d'indices dérivant de la température de surface, malgré ces nombreux avantages nous devons signaler que le thermomètre infrarouge ne peut être utilisé par un temps nuageux.

L'objectif de notre étude est d'analyser les résultats obtenus par les mesures directes, telle que la radiothermométrie qui traduit l'état physiologique du couvert végétal et en particulier son état hydrique dans les conditions climatiques locales. Ensuite, on délimite les possibilités d'utilisation de cette technique dans une perspective de son utilisation en temps réel pour le pilotage des irrigations et le calcul des différents indices en se référant à la température de surface effectuée durant les mesures.

MATERIELS ET METHODES

Afin de caractériser et de gérer les irrigations de complément sur le blé dure variété « vitron », nous avons mis en place un essai pour caractériser le stress hydrique. Dans cet essai, les objectifs recherchés sont :

- Le suivi de la cinétique de la température du couvert végétal par radiothermométrie infrarouge ;
- Le suivi de l'évolution des indices dérivés de la température de surface tel que :
($T_s - T_a$) et les indicateurs de stress hydrique qui sont [*Stress Degree Day (SDD)*, *Canopy Temperature Variability (CTV)*, *Temperature Stress Day (TSD)*, *Crop Water Stress Index* ;
- Déterminer l'indicateur d'état hydrique le plus pertinent et le seuil de cet indicateur pour piloter les irrigations.

CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

L'essai a été mené au niveau de la station expérimentale de l'Institut National d'Agronomie d'El – Harrach.

Notre zone d'étude fait partie de la plaine de la Mitidja. Elle est dominée par un climat méditerranéen caractérisé par un été chaud et un hiver froid à pluviométrie irrégulière.

La valeur maximale a été observée au mois de Mai de 20,3°C, et la valeur minimale a été atteinte au mois de février de 10,1°C

Durant cette année, le zéro végétal durant le semis n'a pas été observé et aussi les valeurs extrêmes qui provoquent un échaudage (30°C) n'ont pas été atteintes.

Pour avoir une valeur centrale qui caractérise notre zone d'étude du point de vue de la pluviométrie, nous avons fait une comparaison entre la moyenne des précipitations sur dix années de mesures (1986/1996) et les précipitations de notre année d'expérimentation. On remarque (Figure 1) que durant cette année (1998/99) les précipitations étaient plus importantes par rapport aux moyennes de (1986 à 1996).

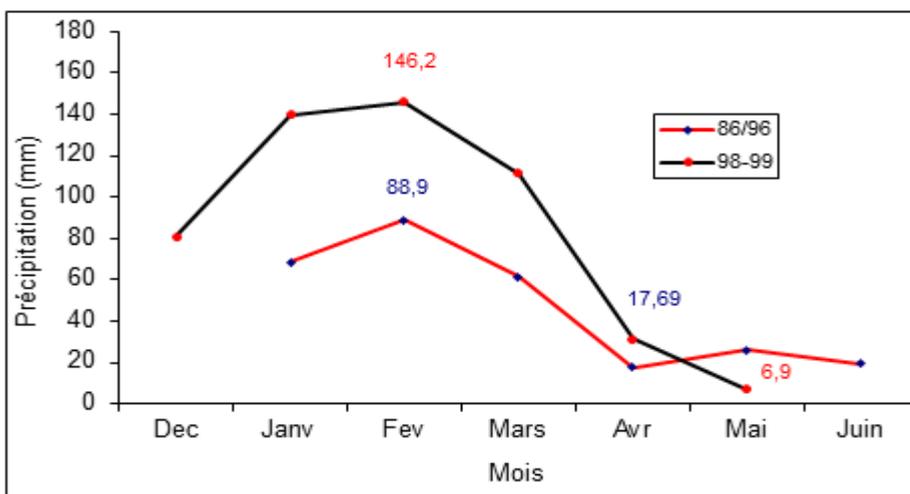


Figure 1 : Comparaison des précipitations mensuelles entre (1986/96) et (1998/99).

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

En agronomie, l'utilisation d'un dispositif expérimental sans répétition présume que les effets dus à la variabilité spatiale du sol (par exemple elle est liée aux caractéristiques physiques et à sa fertilité) et à d'autres facteurs sont négligeables par rapport aux différents facteurs principaux (Olufayo, 1994).

Notre dispositif a été en bloc aléatoire complet, avec quatre traitements et deux répétitions. L'expérimentation a été réalisée sur une surface d'environ

'1 ha', avec trois blocs et dans chaque bloc quatre parcelles (48m x 12m) (Figure 2).

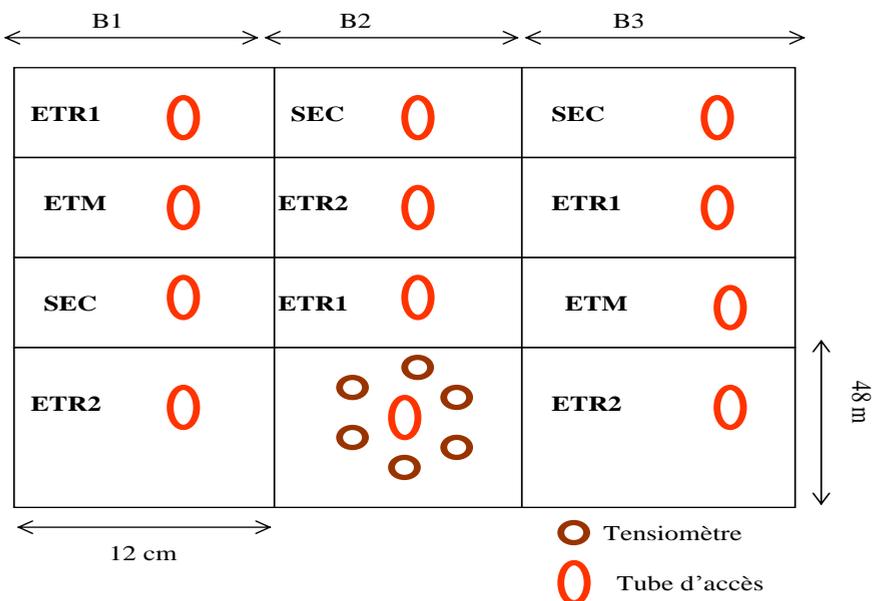


Figure. 2 Dispositif expérimental de notre campagne.

Systeme d'irrigation

Durant la campagne expérimentale, l'irrigation est réalisée par aspersion. Ainsi, on a choisi un dispositif qui correspond à une implantation en carré. Les asperseurs utilisés sont des arroseurs rotatifs, une buse calibrée contrôle le jet, et la tête de l'asperseur est animée d'un mouvement rotatif permettant d'arroser la surface intérieure au cercle dont le rayon correspond à la portée maximale du jet (le rayon est de 10m)

La fonction de l'arroseur est d'assurer une bonne pulvérisation du jet en fines gouttelettes, avec une répartition aussi uniforme que possible de la pluie sur toute la surface arrosée.

Dose et date d'irrigation

Quelques irrigations sont effectuées. Le Tableau 1 illustre les doses apportées, leurs dates et leurs périodes.

MATERIEL VEGETAL

Choix de la variété

Durant notre campagne, la culture a été le Blé dur (*Triticum durum* desf) variété 'vitron' qui est d'origine Espagnole.

Le critère principal du choix de la variété est le rendement, mais il existe d'autre critère tel que la résistance aux maladies, la qualité du grain.

La variété vitron est caractérisée par une taille moyenne cycle végétatif demi-précoce, résistante à la verse, peu sensible aux maladies du genre *Helminthosporium*, une productivité bonne avec une meilleure performance en zone sèche.

Date et dose de semis

Le semis a été réalisé à l'aide d'un semoir expérimental en ligne de 3 m de largeur, avec un écartement entre lignes de 17 cm et la profondeur de semis a été de '3cm à 4cm'.

La date de semis a été le 16/12/98. La dose a été de 2 q/h, cette dose a été évaluée à partir du poids de 1000 grains et la faculté germinative.

MESURE DE LA TEMPERATURE DE SURFACE

Les mesures sont réalisées manuellement au midi solaire à raison de 10 mesures par parcelles élémentaires (l'appareil utilisé est le thermomètre infrarouge). Les mesures sont journalières pour chaque parcelle. Les mesures sont aussi suivies 48 h avant et après chaque irrigation et de même dans le cas d'une pluie.

Les mesures de températures de surface ont commencé quand la couverture végétale était jugée suffisante (c'est à dire le 'LAI' voisin de 2). Les données seront utilisées pour calculer la différence entre $T_s - T_a$, SDD, TSD et le CWSI.

Tableau 1 : Date et dose d'irrigation

Traitement	Date	La période	Doses (mm)
ETM	5/4/99	Epiaison	5
ETM	12/4/99	Floraison	11
ETM	21/4/99	Grain laiteux	17
ETM	1/5/99	Grain pâteux	35
ETR2	2/5/99	Début grain pâteux	20
ETM	4/5/99	Grain pâteux	20
ETM	6/5/99	Grain pâteux	20
ETR1	20/4/99	Grain laiteux	40
ETR2	12/5/99	Fin grain pâteux	20
ETM	14/5/99	Grain pâteux	30

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats des mesures effectuées.

On examinera l'évolution de la température du couvert végétal (T_s) durant tout le cycle de développement, et à partir de ces mesures nous allons établir les principaux indices.

La température du couvert végétal (TS)

Le radiothermométrie exprime l'énergie captée au niveau du couvert sous forme de température. Les mesures ont commencé une fois le sol était bien couvert avec un LAI d'environ deux.

La valeur de la température du couvert considéré est la moyenne des dix mesures qui sont prises aux différents endroits [on a utilisé la méthode d'échantillonnage (Olufayo, 1994).

La Figure 2 représente les températures T_s , d'où les valeurs les plus importantes sont remarquées pour le régime conduit en SEC avec des valeurs allant de 24°C en début à 40°C à la fin du cycle et pour le traitement conduit à l'E.T.M, les valeurs de T_s sont de 17°C à 32°C respectivement au début et à la fin du cycle.

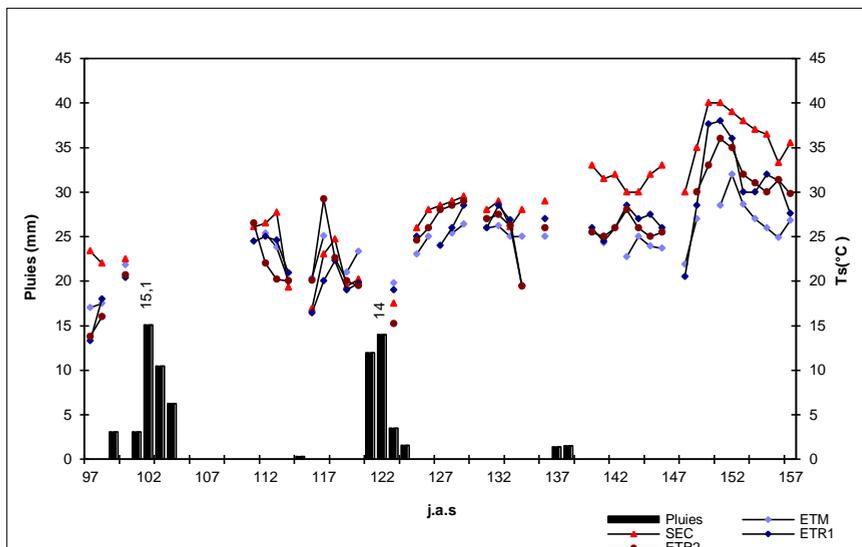


Figure. 3 L'évolution de la température du couvert (T_s) sous différents régimes hydriques et les pluies.

Evolution de l'écart entre T_s et T_a dans le temps

L'écart entre la température du couvert et celle de l'air est considéré comme un indicateur du bilan hydrique de la plante et dépend de trois variables :

- 1) Une variabilité aléatoire due aux paramètres climatiques (rayonnement, température de l'air, vitesse du vent et humidité de l'air).
- 2) Une variabilité que nous supposons contrôlée (régime hydrique que l'on veut mettre en évidence dans cette analyse).
- 3) Une variabilité qui peut être attribuée principalement à la disposition des parcelles.

Dans l'approche de notre travail, nous considérons que les variables 1 et 3 sont constantes au moment des mesures ponctuelles et il n'y a pas trop de dispersion hétérogène suivants les journées de mesures et l'écart de $T_s - T_a$ est seulement fonction du régime que l'on suppose contrôler (Les valeurs des températures de l'air sont celles relevées au niveau de la station de l'INA).

La mesure de Ts a commencé quand le sol était bien couvert soit au 97^{ème} j.a.s (jour après semis), l'évolution des valeurs des écarts Ts-Ta pour chaque traitement ont été :

- ◆ Pour la parcelle conduite en 'ETM', les valeurs de (Ts-Ta) ont été de $(-2 \leq (Ts-Ta) \leq 3,2)$.
- ◆ Pour la parcelle conduite en 'SEC', l'écart atteint une valeur maximale de 12°C vers la fin du cycle et des diminutions dues aux pluies pendant la période 114^{ème} j.a.s à 123^{ème} j.a.s.
- ◆ Pour le traitement 'ETR₁', une diminution de l'écart Ts-Ta est observée due à l'irrigation effectuée le 127^{ème} j.a.s.
- ◆ Pour la parcelle conduite en 'ETR₂', on a apporté deux irrigations. Ces dernières sont à l'origine de la diminution de l'écart Ts-Ta pour les jours (138^{ème} j.a.s à 148^{ème} j.a.s).

Ibrahima (1988) a montré que la diminution de l'écart (Ts-Ta) n'est pas toujours immédiate. Cela s'explique par l'existence d'une période de latence qui est plus ou moins longue que le stress hydrique est important.

Evolution des différents indices dérivant de l'écart (Ts-Ta)

Evolution du SDD *Stress Degree Day*

Le SDD est défini comme la somme des valeurs Journalières de (Ts-Ta) [c'est l'écart journalier entre la température de surface d'un couvert végétal (Ts) et la température de l'air mesuré au midi-solaire (Ta)].

Jackson (1988) a appliqué cette formule pour déterminer les besoins en eau du blé et on peut calculer le SDD comme suit :

$$SDD = \sum_{n=1}^N (Ts - Ta)_n \tag{1}$$

N : nombre total de jours considérés.

Seules les valeurs positives des écarts sont considérées et sont indicatrices d'un stress hydrique (Jakson et als , 1981) L'évolution de cet indice est fonction de l'état hydrique de la plante.

Les résultats sont présentés dans la Figure 4a, b, c et d. Cette dernière montre l'évolution du SDD et les apports au cours de la période d'essai. Pour les quatre traitements, il en ressort :

- ◆ Pour la parcelle conduite en sec, on remarque que la Figure 4 (a) prend une allure croissante, pour atteindre la valeur maximale de 140 °C à la fin de l'essai (stade grain pâteux).
- ◆ Pour la parcelle conduite en ETM, le maximum observé du SDD est de 10°C au 134 j.a.s (stade grain laiteux). Ces faibles valeurs du SDD observées tout au long de la période indiquent l'état de confort hydrique de la parcelle (Fig. 4b).
- ◆ Pour les traitements ETR₁ et ETR₂, les valeurs maximales du SDD sont respectivement de 55°C et 44°C. La différence entre les deux valeurs est que la parcelle ETR₁ a reçu un apport d'eau et pour la parcelle conduite en ETR₂ a reçu deux apports d'eau cette différence d'irrigation a eu un effet sur l'évolution de SDD [Figure 4 (c, d)].

On peut dire que cet indice est très sensible au régime hydrique.

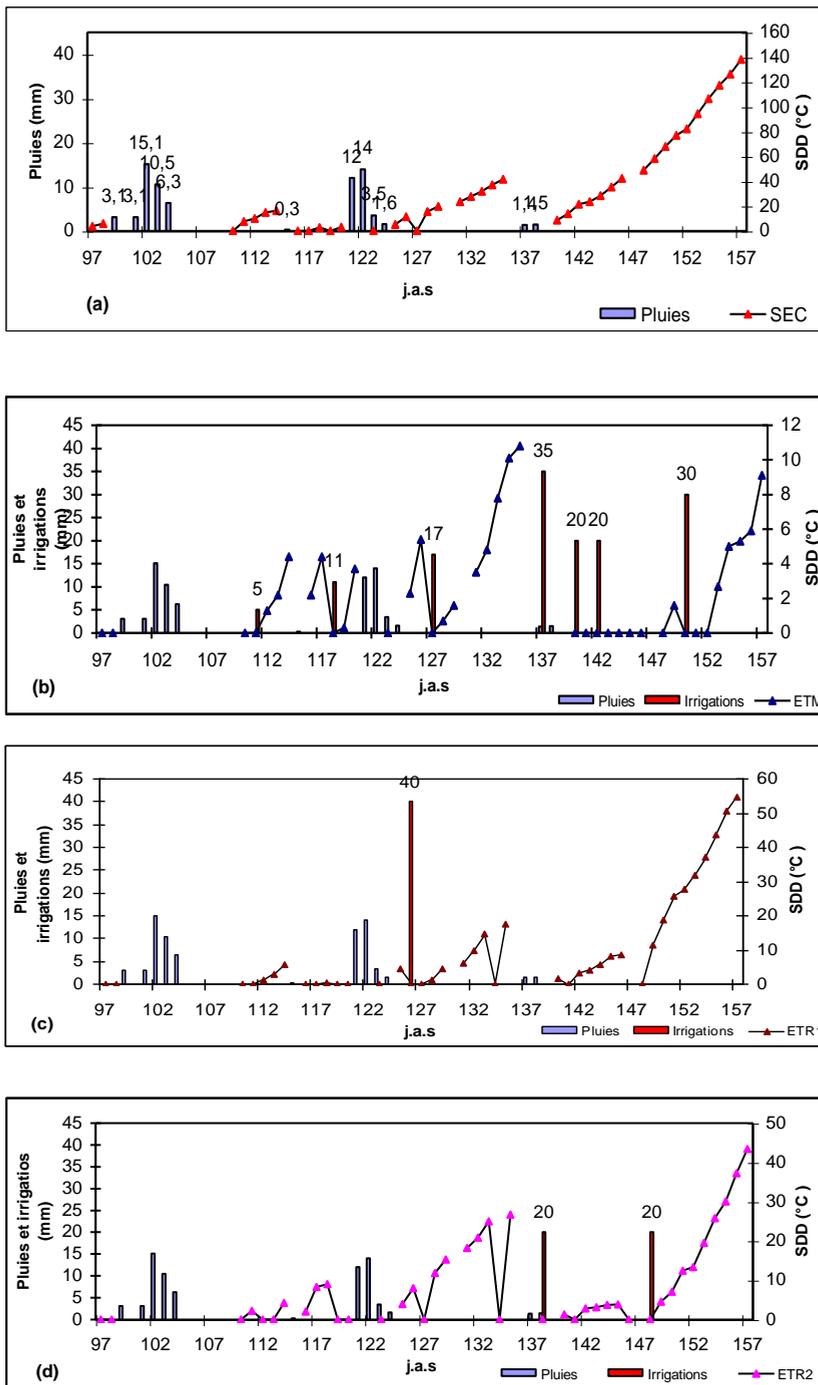


Figure 4 : Evolution du SDD au cours de l'année.

Evolution de CWSI (Crop Water Stress Index)

Les méthodes de calcul de CWSI

Nous examinerons trois méthodes de détermination qui ont été utilisées dans ce travail.

- La première méthode est une approche empirique proposée par Idso et als, (1981). Celle-ci est basée sur la détermination de deux limites inférieure et supérieure de l'écart de $(T_s - T_a)$. La limite inférieure est déterminée à partir de la relation entre l'écart $(T_s - T_a)$ et le déficit de vapeur saturante de l'air (DPVS) mesurés dans une parcelle maintenue à l'état de confort hydrique. Il est noté $(CWSI_e)$. Cependant, dans notre essai, une régression faite entre $(T_s - T_a)$ et DPVS montre une très faible corrélation ($R^2=0.017$) pour notre année. Le même cas est obtenu lors de l'expérimentation réalisée au Danemark sur la même culture par Jackson et als, (1988), avec un $R^2=0.09$.

- La deuxième méthode de calcul de CWSI utilisée a été proposée par Katerji (1994). Notée $(CWSI_t)$, elle est donnée dans par l'équation suivante

$$CWSI_t = \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{T_{s_{\max}} - T_{s_{\min}}} \quad (2)$$

Pour $T_{s_{\max}}$ est donnée à partir du bilan énergétique, on obtient alors la formule:

$$T_{s_{\max}} = \frac{r_a \cdot R_n}{\rho \cdot C_p} + T_a \quad (3)$$

Katerji et Itier et als, (1988) ont proposé une méthode de calcul de la résistance aérodynamique d'un couvert végétal à partir des mesures du flux de chaleur sensible et de la vitesse du vent. La formule de calcul de r_a s'écrit comme suit :

$$r_a = 4.72 \frac{\left\{ \ln \left[\frac{z-d}{z_0} \right] \right\}^2}{(1+0,54v)} \quad (4)$$

où :

r_a est la résistance aérodynamique (s/m) ; z est la hauteur de référence (m) ; d est la hauteur de déplacement ; z_0 est la longueur de rugosité (m) ; v est la vitesse du vent (ms^{-1}). Pour les termes z_0 et d on peut les calculer en fonction de la hauteur de la végétation h : $z_0 \approx 0,13h$ et $d \approx 0,63h$ (Olufayo, (1994).

- La troisième méthode de calcul est basée sur les données expérimentales, cet indice est noté ($CWSI_{exp}$) et la formule est la suivante :

$$CWSI_{exp} = \frac{(Ts - Ta) - (Ts - Ta)_{min}}{(Ts - Ta)_{max} - (Ts - Ta)_{min}} = 1 - \frac{ETR}{ETP} \quad (5)$$

Comparaison entre la méthode théorique et la méthode expérimentale

Dans ce travail, les données ont été retenues pour le calcul de cet indice. Sur le Tableau 2, on observe la variation de cet indice ainsi calculé par les deux méthodes pour les traitements (ETR_1 , ETR_2).

Le tableau 2 présente également les résultats des calculs de $[1 - (ETR/ETP)]$, les valeurs de (ETR/ETP) ont été déterminées en utilisant les moyennes des données Micrométéorologiques autour du midi-solaire. On remarque que les deux méthodes donnent des valeurs assez comparables la plupart du temps, on observe quelques valeurs divergentes. Les résultats fournis par les deux méthodes de calcul de CWSI sont supérieurs aux valeurs trouvées pour $[1 - (ETR/ETP)]$, particulièrement au début (99j.a.s). Ceci peut être expliqué par l'influence de la température du couvert végétal. Le tableau 2 montre l'évolution des deux méthodes de calcul de CWSI ainsi que les apports (pluies et l'irrigation) pour les deux traitements (ETR_1 , ETR_2), ces parcelles ont été choisies car, l'une (ETR_1) n'a pas été irriguée jusqu'au stade grain laiteux, par contre l'autre (ETR_2) deux irrigations ont été apportées aux début grain pâteux et à la fin grain pâteux, on a aperçu l'effet des précipitations durant les phases végétatives. Une pluie induit une succion de l'eau du sol et induit la reprise de l'évapotranspiration. La conséquence est une baisse de CWSI, mais n'est pas durable. L'apport pluviométrique de la réserve en eau du sol est rapidement épuisé et l'indice se relève au même niveau qu'avant la pluie. Une irrigation de l'ordre de 40mm a été apportée pour cette parcelle, cette quantité d'eau a pour but de remplir la réserve du sol, on observe une baisse rapide de l'indice pendant trois jours. Cette période correspond à une phase de récupération pendant laquelle la plante se relève de sa condition de déficit hydrique. Jackson et als, (1981) a trouvé une durée de récupération de 5 à 6 jours sur la culture de blé.

Une période plus longue est ensuite nécessaire afin que le CWSI retrouve la valeur avant irrigation. Cette période dépend également du seuil de CWSI fixé pour la parcelle observée ainsi que la demande climatique.

Par exemple, pour un seuil placé bas (0.1), cette période dure de 5 jours pour le traitement (ETR₂) et 10 jours pour le traitement (ETR₁). Pour un seuil élevé (0.7), 20 jours peuvent s'écouler entre la date où CWSI est minimal et la date où il atteint de nouveau le seuil pour le traitement (ETR₂) et 16 jours pour le traitement (ETR₁).

Pendant cette période la plante épuise progressivement la réserve du sol. Cette réserve diminue, le taux d'évapotranspiration baisse progressivement, car la plante par manque d'approvisionnement en eau, diminue ses échanges. Par conséquent, le CWSI s'élève progressivement.

L'indice CWSI suit donc bien en temps réel le régime hydrique de la plante. Il paraît donc fiable de l'utiliser pour décider le jour de l'irrigation. Dans ce but, il est indispensable de définir les seuils pour lesquels l'atteinte ou dépassement par le CWSI indiquera le moment d'irriguer.

EVOLUTION DE TSD (TEMPÉRATURE STRESS DAY)

C'est la différence de la température vers midi-solaire entre la parcelle bien irriguée prise comme référence et la parcelle considérée (Diaz et als, 1983). La formule est la suivante :

$$TSD = T_c - T_{c(ETM)} \quad (6)$$

Cet indice a été testé pour le maïs par Clawson et als, (1982), et le blé par Diaz et als, (1983) L'approche du calcul de TSD présente l'avantage de ne pas nécessiter la connaissance de paramètres climatiques, mais il faut avoir une parcelle maintenue à l'ETM.

L'évolution de TSD au cours de cette année, pour les trois traitements par rapport au traitement conduit en ETM, montre que la valeur maximale du TSD est observée dans le traitement conduit en SEC, cette valeur est de 6.4°C au 97^{ème} j.a.s (stade floraison) et à la fin du cycle végétal (c'est à dire le 156^{ème} j.a.s) le TSD a été de 8.4°C.

Pour le traitement ETR₁, au début du cycle les valeurs de TSD sont au voisinage de 0°C du 97^{ème} j.a.s au 114^{ème} j.a.s, ensuite la valeur de TSD augmente rapidement le 123^{ème} j.a.s à la valeur (6.3°C) et la même valeur est observée au 156^{ème} j.a.s, on remarque aussi que l'irrigation qui a été le (126 j.a.s) la valeur de TSD est voisine de zéro.

Pour le traitement ETR₂, la majorité des points sont au voisinage de 0°C et les autres valeurs sont au-dessous de 0°C, ces faibles valeurs sont dues à l'irrigation. Donc de ce fait, on peut mettre en évidence un accroissement du TSD pendant les périodes sans apport d'eau et un retour au voisinage de zéro de l'indice après les apports d'eau soit par irrigations ou pluies.

Tableau 2 Comparaison des deux méthodes de calcul de CWSI avec l'évapotranspiration pour les traitements ETR₁ et ETR₂

j.a.s	CWSI _t		CWSI _{exp}		1- (ETR/ETP)
	ETR ₁	ETR ₂	ETR ₁	ETR ₂	
97	-0,21	-0,06	-0,11	-0,03	0,24
98	0,16	-0,49	0,11	-0,33	0,28
110	0,12	0,15	0,40	0,49	-0,37
112	0,60	0,00	0,67	0,00	-0,11
113	0,40	-0,67	0,11	-0,18	-0,12
114	-0,40	0,05	-1,00	0,13	-0,05
116	-0,72	0,49	0,76	-0,52	-0,88
117	0,36	-0,50	0,36	-0,50	-0,81
119	0,93	0,46	1,25	0,62	-0,11
120	0,77	0,84	1,13	1,23	-0,16
123	0,90	0,83	0,75	0,69	0,37
125	-0,49	-0,39	0,67	0,53	-0,97
126	Irrigation	-0,16	Irrigation	0,33	-0,09
128	-0,15	-0,77	0,17	0,86	0,40
129	-0,38	-0,47	0,68	0,84	-0,28
131	-0,09	-0,17	0,25	0,50	0,05
132	-0,33	-0,19	0,82	0,46	0,35
133	-0,08	0,17	0,45	-0,91	0,41
134	0,45	0,45	-0,80	-0,83	0,52
135	-0,38	-0,19	0,50	0,25	0,29
138	-0,56	Irrigation	0,40	Irrigation	0,49
141	-0,04	-0,15	0,03	0,10	0,53
143	-0,69	-0,52	0,57	0,43	0,33
144	-0,58	-0,29	0,40	0,20	0,44
145	-0,92	0,00	0,36	0,00	-0,21
146	-0,66	-0,44	0,18	0,12	-0,60
148	-0,15	Irrigation	0,10	Irrigation	-0,04
149	-0,36	-0,72	0,19	0,38	0,40
151	-0,78	-0,52	0,75	0,50	0,38
152	-0,71	-0,54	0,57	0,43	0,80
153	-0,19	-0,47	0,15	0,36	0,60
154	-0,44	-0,58	0,30	0,40	0,63
155	-0,78	-0,47	0,53	0,32	0,77
156	-0,74	-0,75	0,73	0,74	0,77
157	-0,10	-0,36	0,09	0,34	0,81

Evolution de CTV

Il est défini comme étant la différence entre l'écart de la température des surfaces extrêmes à l'intérieur d'une même parcelle, mesurées au midi solaire Jakson ,(1988).

Cet indice est calculé par la formule suivante :

$$CTV = T_{c_{max}} - T_{c_{min}} \quad (6)$$

Clawson et als (1982) ont retenu un seuil de (0,8°C) pour la culture du maïs comme début d'un stress hydrique.

L'évolution de CTV est différente pour chaque traitement. Cet indice augmente à chaque fois qu'il y a un apport d'eau et aussi à l'hétérogénéité des températures de surface au sein des mêmes traitements. La variation de l'écart 'T_{s_{max}}-T_{s_{min}}' est de :

1°C ≤ CTV ≤ 8°C pour le traitement conduit en sec.

0°C ≤ CTV ≤ 7°C pour les traitements (ETR₁ et ETR₂).

2°C ≤ CTV ≤ 4°C pour le traitement ETM.

CONCLUSION

La connaissance des techniques de mesures du stress hydrique des cultures peut être basée sur plusieurs critères qui dépendent de l'objectif spécifique de l'étude. Les résultats principaux les différents indicateurs dérivant de l'écart de (Ts-Ta).

Les indices utilisés nous indiquent qu'il y a une relation entre eux et l'apport d'eau. De ce fait on conclut que la variation des écarts de (Ts-Ta) pour le traitement ETM montre que celui-ci n'a pas été stressé. Pour le traitement ETR₁ l'évolution de l'écart de 'Ts-Ta' a connu un stress hydrique dans des différentes périodes de même pour le traitement ETR₂ et pour le traitement SEC la variation des écarts des températures du couvert végétal montre que ce témoin a subi un sévère stress au stade grain laiteux et pâteux.

Nous avons montré les effets des indicateurs sur les différents traitements que nous avons utilisés. Ainsi que leur évolution dans le temps. Parmi les indicateurs étudiés (SDD, TSD, CTV et CWSI) qui nous ont donné une idée sur l'état hydrique de la plante.

On peut conclure alors que l'écart de température est un indicateur de stress. Mais ces résultats nécessitent d'autres études pour mieux expliquer l'utilisation de l'infra-rouge dans la détermination du stress hydrique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Clawson K.L. Blad B., (1982). Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. *Agronomie J.74.* pp 311-316.
- Diaz R.C., Matthias A.D., Hanks R.J., (1983). Evapotranspiration and yield estimation of spring wheat from canopy temperature. Reprinted from *Agron. J. 75.* pp 805-810.
- Jakson R.D., Idso S.B., Reginato R.J., Pinter P.J., (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resour. Res.* 17 pp1133-1138.
- Jakson R.D., Kustas W.P., Choudhury B.J., (1988). A reexamination of the crop water stress index. *Irrig. Sci.* 9 pp309-317.
- Katerji N., Itier B., Ferriera I., (1988). Etude de quelques critères indicateurs de l'état hydrique d'une culture de tomate en région semi-aride. *Agronomie 8 :* 425-433.
- Olufayo A., (1994). Caractérisation des réponses du sorgho grain au déficit hydrique à l'aide d'indicateurs bioclimatiques. Thèse de doctorat ENSAR de Renne 93 p.
- Ibrahima A., (1988). Suivi hydrique des cultures par thermométrie infra-rouge. Mémoire bibliographie DEA, Montpellier.
- Idso S.B., Reginato R.J., Jackson R.D., (1981). Remote sensing of crop yields. *Science n°196.* pp19-25.