REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE
MINISTERE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT DES SAVANES (IDESSA)

DEPARTEMENT DES CULTURES INDUSTRIELLES
FILIERE CANNE A SUCRE
B.P. 2545 BOUAKE
COTE D'IVOIRE

APPRECIATION DE LA SITUATION HYDRIQUE D'UNE CULTURE DE CANNE A SUCRE A L'AIDE DE QUELQUES MESURES ET OBSERVATIONS DE TERRAIN ; INTERET POUR LA CONDUITE DE L'IRRIGATION

NOTE TECHNIQUE
Août 1988
N°03-88 FCS/IDESSA
QUIDEAU Pierre

1 - OBJECTIF

1.1 - AVANT PROPOS

Le pilotage de l'irrigation sur des bases agroclimatiques est assurément une méthode bien commode pour conduire les irrigations sur de grands périmètres comportant de multiples parcelles. Elle nécessite l'acquisition de très peu de données, en outre faciles à obtenir, et permet d'estimer au jour le jour la situation hydrique de chaque champ sans risque d'erreur grave.

La méthode repose sur un calcul théorique visant à déterminer, par une simulation du bilan hydrique, le degré de satisfaction des besoins en eau de la culture au cours du ou des jours précédents et la réserve en eau du sol encore disponible. Pour de multiples raisons, le calcul théorique diffèrera de la réalité du terrain (si tant est que l'on puisse définir "une" réalité moyenne au niveau de parcelles de plusieurs hectares ou dizaines d'hectares).

Il pourrait donc être intéressant, à défaut de procéder à de véritables suivis hydriques "in situ" -ce qui nécessite des dispositifs de mesure lourds, difficilement applicables sur parcelles industrielles-, de recueillir des informations complémentaires qualitatives au niveau du champ afin de valider ou corriger les résultats du bilan simulé et pour éventuellement affiner la modélisation ou ajuster les paramètres du calcul.

1.2 BUT DE L'ESSAI

Le but de cet essai était de tester comparativement différentes méthodes simples de mesure ou d'observation visant à apprécier de manière directe ou indirecte la situation hydrique d'une culture de canne à sucre, afin de faire ressortir leurs intérêts et inconvénients respectifs dans l'optique exposée ci-avant. Il s'agissait en particulier de voir quelle méthode permettrait de déceler le plus valablement un début de stress hydrique traduisant un besoin d'arrosage de la culture.

1.3 DIFFERENTES METHODES TESTEES

Au niveau de la plante

- Observation du flétrissement du feuillage en milieu de journée (13h).

- Observation de la "rosée" le matin (7h). Il s'agit en réalité du phénomène d'exsudation nocturne qui se manifeste par la formation de gouttelettes d'eau éparses sur les feuilles de canne.

- Mesure de la vitesse de croissance des tiges (hebdomadaire).

- Détermination de l'humidité des gaines 3-6 (hebdomadaire).

- Humidité des entre-noeuds 4-5 (hebdomadaire).

Au niveau du sol

- Mesure de la succion à l'aide de tensiomètres placés à 40, 70 et 100 cm de profondeur (journalier).

- Mesure à l'humidimètre à neutrons entre 20 et 160 cm de profondeur (bi-hebdomadaire).

2 - DISPOSITIF, REALISATION

2.1 - IRRIGATIONS

L'étude a été réalisée sur une 2-ième repousse de la variété NCo 376 coupée le 24-11-86 et irriguée uniformément jusqu'à la fin décembre 86. Afin de multiplier les situations hydriques examinées, 6 micro-parcelles ont été constituées, correspondant chacune à une maille d'arrosage par aspersion de 12 m x 12 m, et arrosées différemment à partir 19-01-87 jusqu'au 17-06-87 date de la dernière irrigation.

Les irrigations ont eu lieu chaque semaine à dose uniforme (calculée pour couvrir approximativement les besoins de la culture de la semaine) mais tous les traitements n'ont pas chaque fois été arrosés.

- T1 - non irrigué
- T2 - arrosé une semaine sur 3
- T3 - arrosé une semaine sur 2
- T3 - arrosé chaque semaine
- T5 - arrosé chaque semaine jusqu'à mi-mars , puis non irrigué
- T6 - arrosé chaque semaine jusqu'à fin avril, puis non irrigué.

Pour T2 et T3 des erreurs ont conduit à des décalages à partir d'avril.

2.2 - MESURES ET OBSERVATIONS PRATIQUEES

Les mesures au niveau des plantes ont été faites sur tous les traitements aux périodes suivantes :

- flétrissement, rosée : février à début juillet.

Il s'agit d'une observation visuelle traduite par une notation dans une échelle de 0 (absence du phénomène) à 3 (forte intensité).

- élongation : mars à août, sur 20 tiges. Sur T1 les mesures n'ont pu commencer qu'en mai du fait du retard de développement de la culture non irriguée.

- humidité des gaines et entre-noeuds : d'avril à juillet, sur un échantillon de 5 tiges bien développées.

Par suite d'une mauvaise lecture du protocole, c'est en fait l'humidité des gaines 4-6 et celle des entre-noeuds 3-5 qui a été déterminée. Cette démarche a été maintenue jusqu'au bout par souci d'uniformité. L'écart avec les mesures habituelles est analysée dans l'annexe 1.

Au niveau du sol, les mesures tensiométriques n'ont été réalisées que sur T2, T3 et T4 (1 site avec 3 tensiomètres + 1 pluviomètre), de février à juillet. Les mesures neutroniques ont porté sur 2 tubes par traitement, de fin janvier jusqu'en juillet. Sur T3 et T6, 1 site a été équipé de 3 tubes (+ 1 pluviomètre) disposés de la façon suivante : au milieu de la ligne de canne , en bordure et au milieu de l'interligne.

2.3 - NATURE DU SOL

Les sols sont profonds avec en surface (60 à 90 cm) un horizon gravillonnaire et argileux reposant sur matériau argileux et limoneux contenant de nombreux fragments de schiste altéré. Ils sont décrits plus en détail dans l'annexe 2. Leur réserve utile est évaluée à 90-100 mm jusqu'à 1 m de profondeur et entre 120 et 150 mm au total, mais une partie n'est mobilisable par la culture que lentement par suite d'un déficit hydrique prolongé. Nous avons donc retenu pour la simulation du bilan hydrique une réserve utile rapidement utilisable de 80 mm.

2.4 - CONDITIONS CLIMATIQUES :

Mois	J	F	M	A	M	Jn	Jt	A
T° maxi (°C)	36,2	38,1	37,7	38,2	35,8	32,8	32,2	30,6
T° mini (°C)	16,1	19,3	21,6	23,8	22,6	21,6	21,7	20,5
Humidité de l'air à 12 h (%)	35,3	36,5	44,3	53,1	57,3	72,1	72,8	76,2
Evaporation bac A (mm)	193,8	213,0	258,1	257,1	220,9	146,1	144,2	129,9
Pluie (mm)	0,0	1,0	12,5	40,0	82,5	183,5	97,5	285,7

La saison sèche froide (T° mini $<$18°C), commencée fin novembre (le 21) a pris fin à la mi-février (le 17). L'élongation des tiges commence peu de temps après puisque le 1er mars l'apex se situe à 10 cm au-dessus du sol, alors que le premier entre-noeud aérien atteindra sa taille définitive vers le 15 mars.

Les mois de mars et avril ont été très chauds (avec des maxima à 40°C) et secs, avec une forte évaporation du bac A (8,5 mm/j). Le mois de mai a connu plusieurs petites pluies et une baisse de la température, mais la véritable saison pluvieuse n'a commencé que le 10 juin. Elle s'accompagne d'une forte baisse des températures maximales et de l'évaporation, et d'une hausse de l'humidité relative de l'air. Le mois de juillet a été toutefois peu pluvieux, sans précipitation durant la seconde décade.

2.5 - CONDITIONS CULTURALES

- Fertilisation

La parcelle a reçu une fumure standard de 115 N, 47 P, 120 K. A 5 mois, pour les traitements bien irrigués T4 et T6, les résultats des analyses foliaires (limbes 4-6) ont été les suivants (4 échantillons) :

Humidité gaines 4-6 = 81,8 % N = 1,56 P = 0,211 K = 1,07

les normes pour cette variété sont :

Humidité gaines 3-6 = 82 % N = 2,00 P = 0,210 K = 1,20

La fertilisation azotée et potassique au niveau de l'essai apparaît donc nettement insuffisante. La fumure n'a en outre pas été apportée avec une bonne uniformité puisque l'on distinguait parfois de grosses différences d'aspect de la végétation d'une ligne à l'autre. Ainsi globalement le traitement T2 avait bien meilleur aspect que son voisin T3, ce qui est à rapprocher des différences au niveau des teneurs en Azote des limbes représentées sur la figure 1.6.

Figure 1.6.

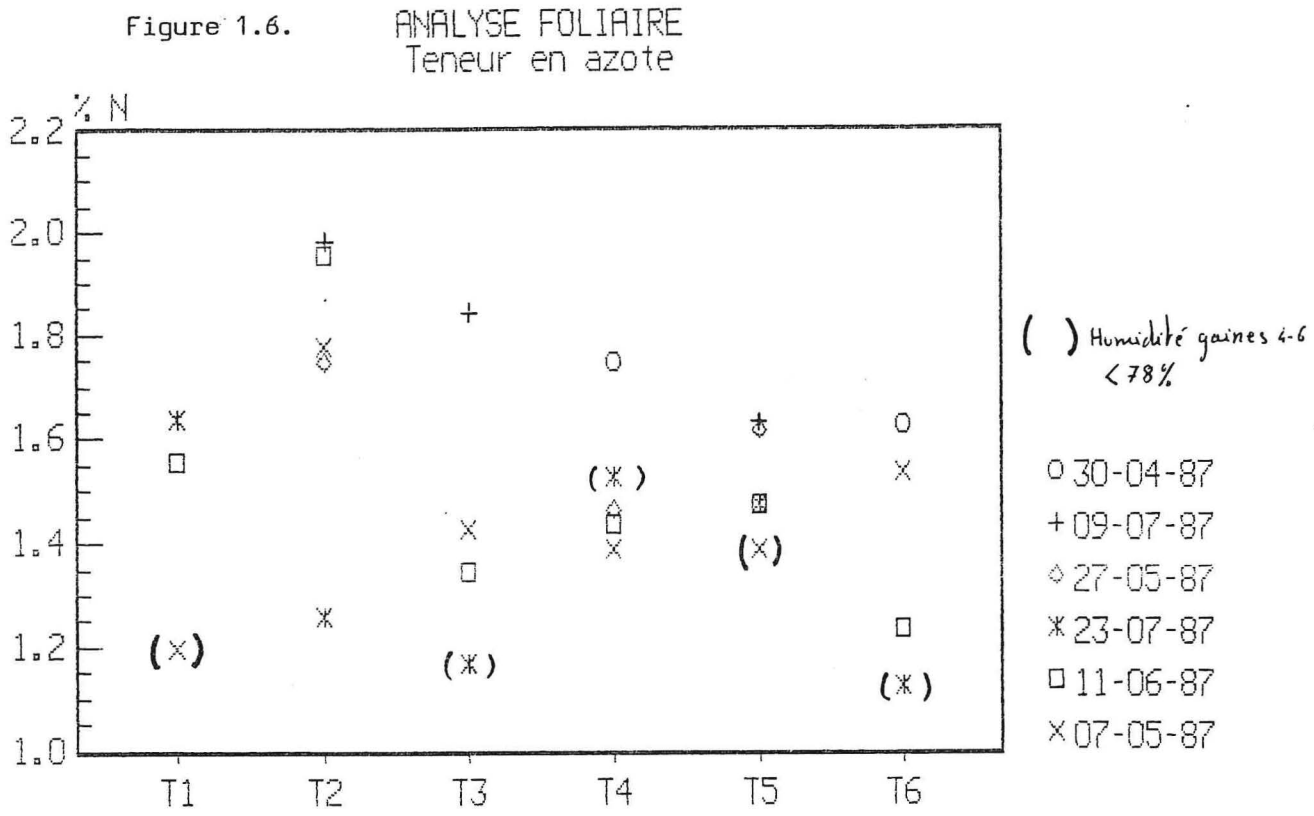
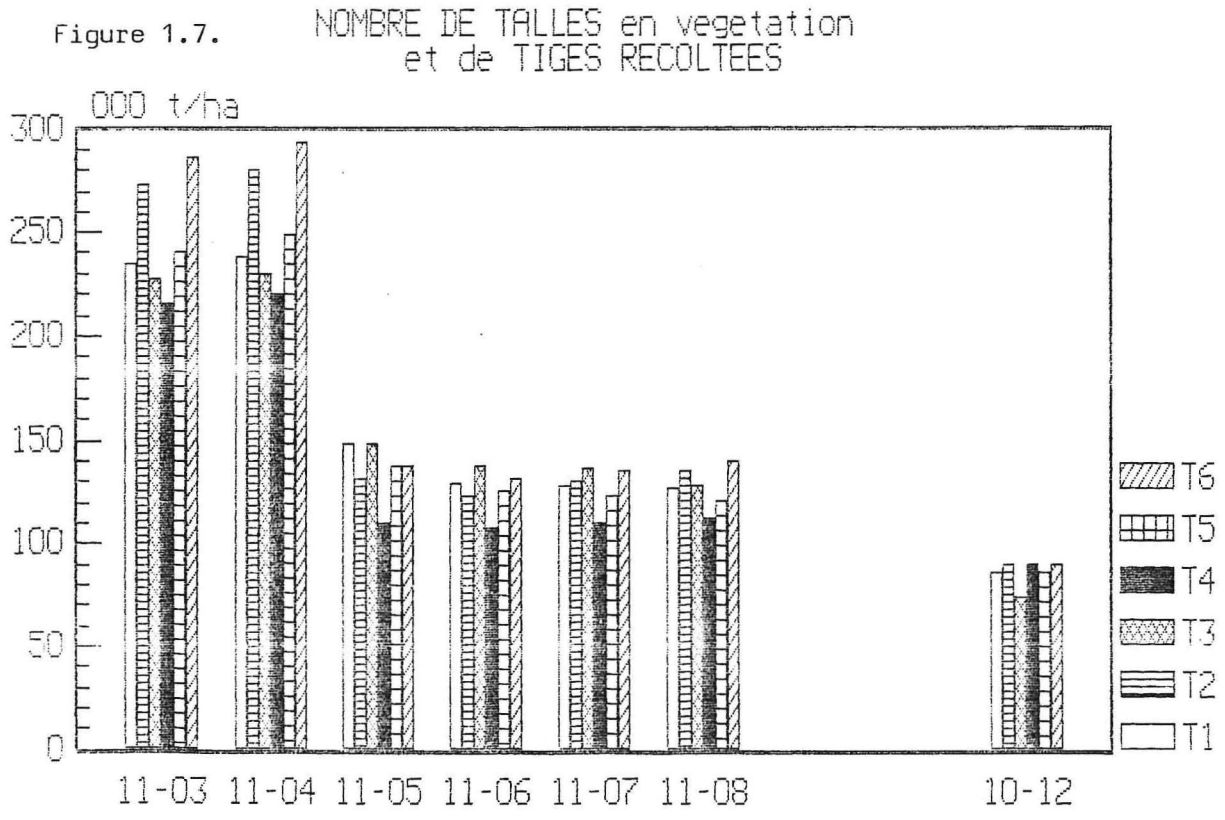


Figure 1.7.



- Tallage : figure 1.7.

Les premiers comptages en végétation (sur 20 m^2) enregistrent un nombre élevé de talles (alors même que les plus petits ne sont souvent pas comptabilisés). A partir de mai, seules les tiges parties en élongation sont comptées ; elles sont encore en grand nombre (110 à 140 000 tiges/ha) et stables

A la récolte, après le brûlage et sur la totalité du traitement, le nombre de tiges usinables apparaît par contre assez faible pour la variété (80 à 90 000/ha), surtout pour T3 (74 000/ha).

- Charbon

La parcelle est très atteinte par la maladie du charbon, ainsi à 4 mois, a-t-on dénombré en moyenne sur les 6 traitements 28 000 tiges charbonneuses/ha.

T1 = 39 T2 = 30 T3 = 13 T4 = 40 T5 = 26 T6 = 21 (x1000/ha)

Certaines touffes sont si touchées qu'elles ne portent plus aucune tige saine.

3 - ANALYSE DES RESULTATS

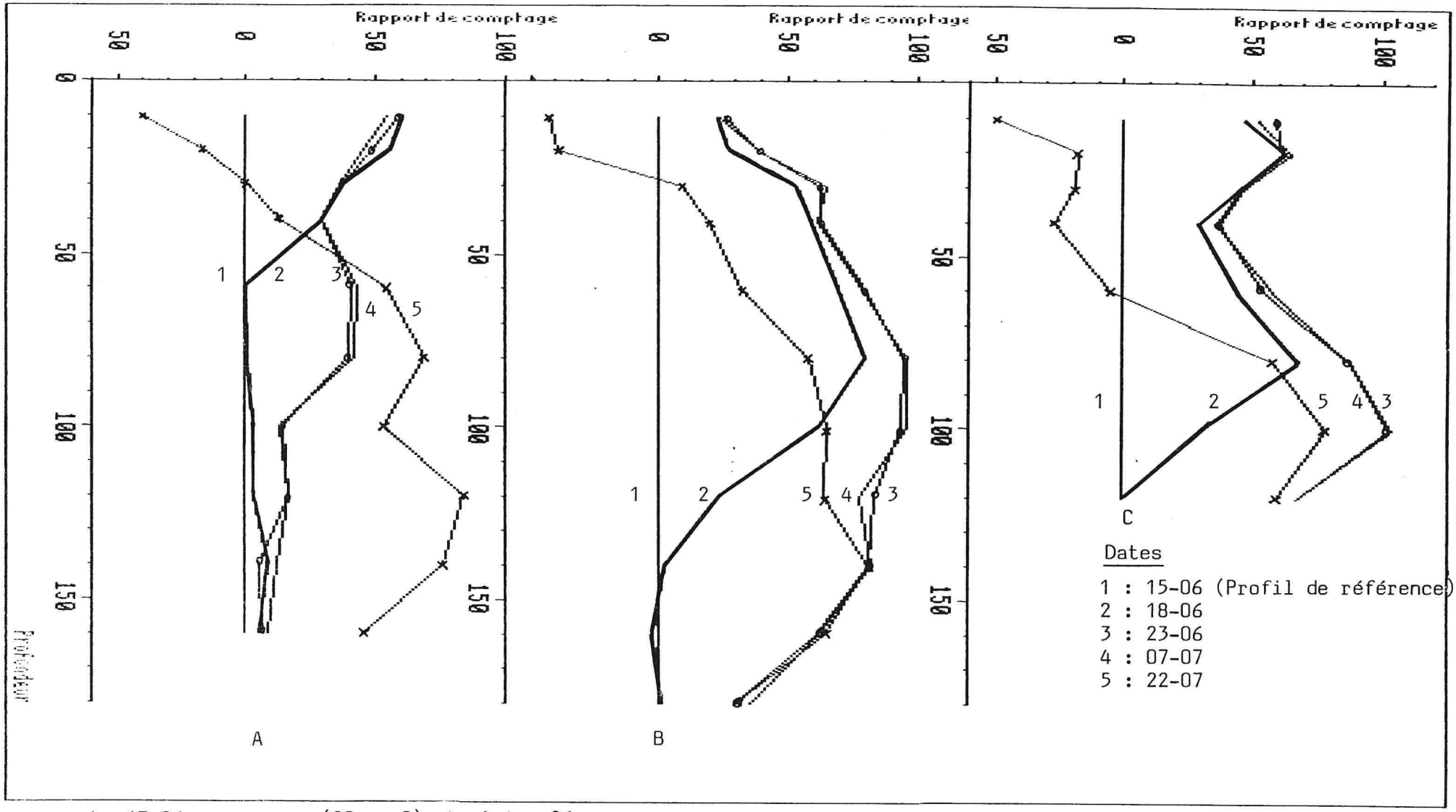
3.1 - REMARQUES PRELIMINAIRES

Contrairement aux mesures et observations faites au niveau de la végétation qui sont disséminées sur l'ensemble de la micro-parcelle, les mesures dans le sol sont ponctuelles. Les variations d'humidité mesurées sont sous l'influence de nombreux facteurs ayant une micro-hétérogénéité non négligeable. C'est le cas par exemple de l'état de la végétation (densité, état sanitaire) ou des caractéristiques locales du sol (micro-relief, compactage, granulométrie, sous-solage).

Les hauteurs d'eau reçues par irrigation apparaissent également non uniformes. Le tableau ci-dessous montre les différences de hauteur d'eau recueillies durant 1 mois, après chaque irrigation par aspersion (durée 3h30, avec une pression en tête de réseau stabilisée à 3,5 bars), dans 9 pluviomètres répartis (4 m x 4 m) à l'intérieur de la maille d'arrosage (12 m x 12 m) correspondant au traitement T4.

Pluviométrie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Moyenne	
19-01-87	46	49	43	44	37	42	32	42	49	42,7	
26-01-87	36	55	56	26	45	46	23	40	34	40,1	
27-01-87	39	49	45	37	48	45	41	39	33	41,8	
10-02-87	30	40	43	38	43	47	34	39	37	39,0	
17-02-87	42	35	42	37	35	46	31	36	35	37,7	
Total	193	228	229	182	208	226	161	196	188	201,2	
Moyenne	38,6	45,6	45,8	36,4	41,6	45,2	32,2	39,2	37,6	40,2	mm

Fig. 1.5 : Evolution des profils d'humidité (différence par rapport au 15.06) sur T31, du 15.06 au 22.07



Le 17-06 : arrosage (29 mm ?) et pluie 26 mm
du 18 au 23-06 : pluies 20 + 44 + 7 = 71 mm
du 23-06 au 07-07 : pluies 20 + 16 + 34 = 70 mm
du 07-07 au 22-07 : pluies 10 + 2 + 13 = 25 mm

A - milieu de l'interligne

B - bordure du rang de canne

C - centre du rang de canne

Au cours d'un arrosage les valeurs sont réparties généralement dans une plage de 1 à 1,5 (1 à 2,4 le 26/01). Sur 5 arrosages les écarts sont en proportion moindres, de l'ordre de 20 mm par rapport à la moyenne (201 mm), avec un maximum de 40 mm, ce qui au regard de la consommation de la culture et de la réserve facilement utilisable des sols est loin d'être négligeable.
Un pluviomètre avait été installé à côté de chaque point de mesure. Avec la croissance des cannes les feuilles viennent fréquemment fausser la mesure, or à force de les monter au-dessus du feuillage, ils finissent par capter une partie du jet des asperseurs de plus en plus différente de celle parvenant au sol à l'aplomb. Il est donc assez difficile de mesurer avec précision les apports d'eau par l'irrigation.

Un autre phénomène, qui nous a surpris par son ampleur, a été constaté. Il résulte de l'interception des gouttelettes d'eau par la végétation. Une part importante des gouttes captées par les limbes et celles à trajectoire oblique (jet d'asperseur, pluie accompagnée de vent) arrêtées par la ligne de canne (très serrée pour la variété NCO 376) vient s'infiltrer au centre du rang de canne. En bordure, le sol est au contraire protégé et reçoit peu d'eau, alors qu'au milieu de l'interligne les hauteurs d'eau redeviennent plus fortes du fait de l'égouttement de l'extrémité des limbes et parce que la végétation n'est à ce niveau pas totalement fermée.
Cette redistribution de la pluviométrie à l'échelle de la ligne de canne (écartement de 1,5 m) se répercute sur la réhumectation du sol et s'observe de façon très nette à la sonde à neutrons. Les figures 1.1 à 1.4, par exemple, illustrent ce phénomène qui s'est produit sur T6 à chacun des 4 arrosages pratiqués durant le mois d'avril. Au centre de la ligne de canne le front d'humectation atteint 80 à 100 cm alors qu'en bordure de la ligne (40 cm à côté) il ne dépasse par 40 cm et 60 cm au centre de l'interligne. Il existe bien une redistribution de l'eau dans le sol, mais celle-ci se fait lentement et est contre-carrée par les prélèvements des racines (qui peuvent représenter 7 à 8 mm par jour). Ainsi, peut-on observer en bordure du rang de canne que le profil est plus humide 5 jours après l'arrosage que le lendemain. La figure 1.5. illustre ce phénomène de transfert latéral d'humidité qui dans ce cas a permis au profil du centre de l'interligne de se réhumecter en profondeur entre le 7 et le 22 juillet alors que les pluies étaient réduites.

Dans ces conditions, compte tenu de :
- l'imprécision concernant la hauteur d'eau reçue localement,
- sa plus ou moins bonne représentativité par rapport à la moyenne du traitement
- la redistribution de la pluviométrie par le feuillage au profit du centre de la ligne de canne,
- la mauvaise uniformisation de l'eau dans le sol,

les mesures neutroniques paraissent inexploitables quantitativement (en particulier pour calculer avec précision l'ETR). Nous nous limiterons donc à une interprétation qualitative de ces données (d'où leur représentation en terme de rapport de comptage), - c'est d'ailleurs dans cette optique que l'utilisation de l'humidimètre à neutrons avait été prévue au protocole - mais avec circonspection vu leur faible représentativité.
L'ensemble de ces remarques s'appliquent également aux mesures tensiométriques.

3.2 - ANALYSE PAR TRAITEMENT

Le traitement T4, qui a été le plus abondamment et le plus régulièrement arrosé, nous servira de référence pour l'étude des vitesses d'élongation et les humidités des gaines et entre-noeuds. Sur le plan hydrique nous nous réfèrerons à un bilan simulé journalier, sans pour autant admettre qu'il donne une image exacte de la réalité moyenne d'un traitement (et encore moins à un niveau ponctuel tel qu'un tube de sonde ou une bougie de tensiométre), mais en le considérant comme un outil donnant le sens de variation de l'humidité du sol et l'évolution des conditions d'alimentation en eau de la culture (au travers du taux de satisfaction des besoins en eau = ETR/ETM).
A titre d'exemple, les résultats décadaires de la simulation sur la totalité du cycle cultural pour le traitement T4, sont reportés dans l'annexe 3.

Figure 2.1 : TENEUR EN EAU DES GAINES 4,5,6

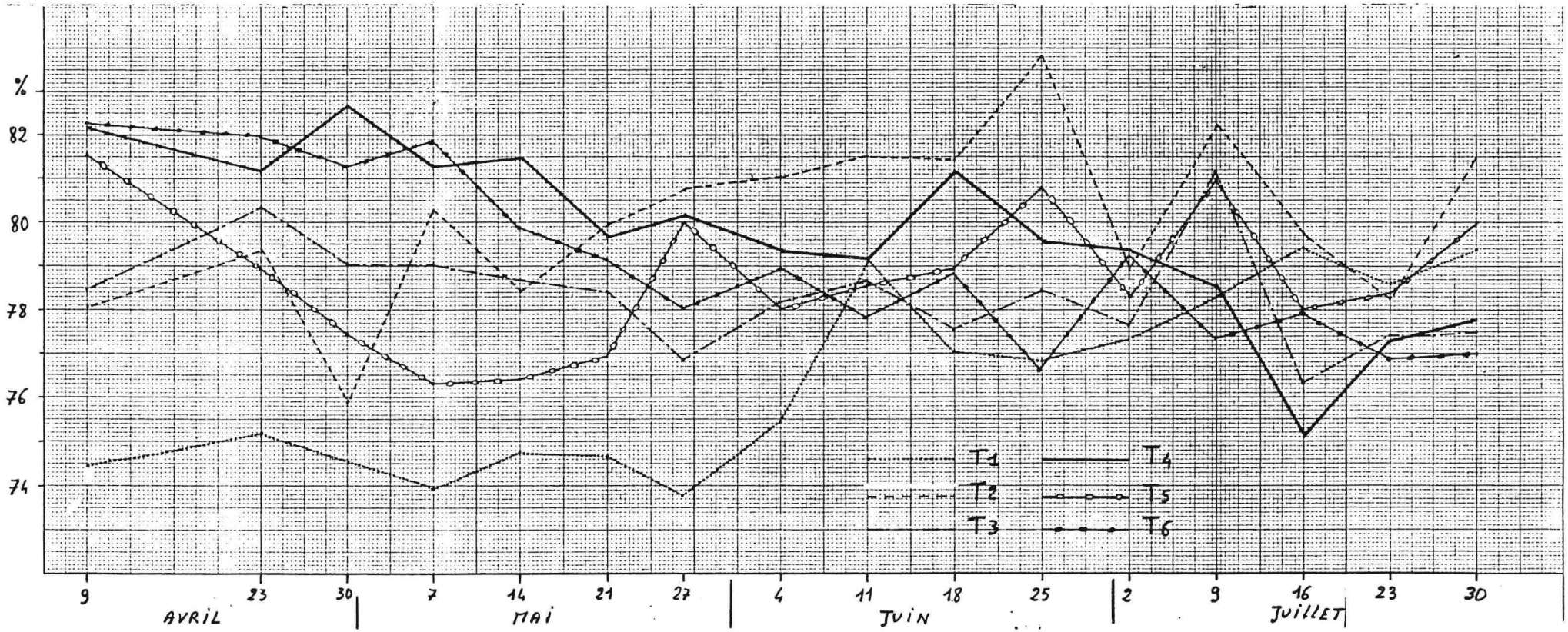
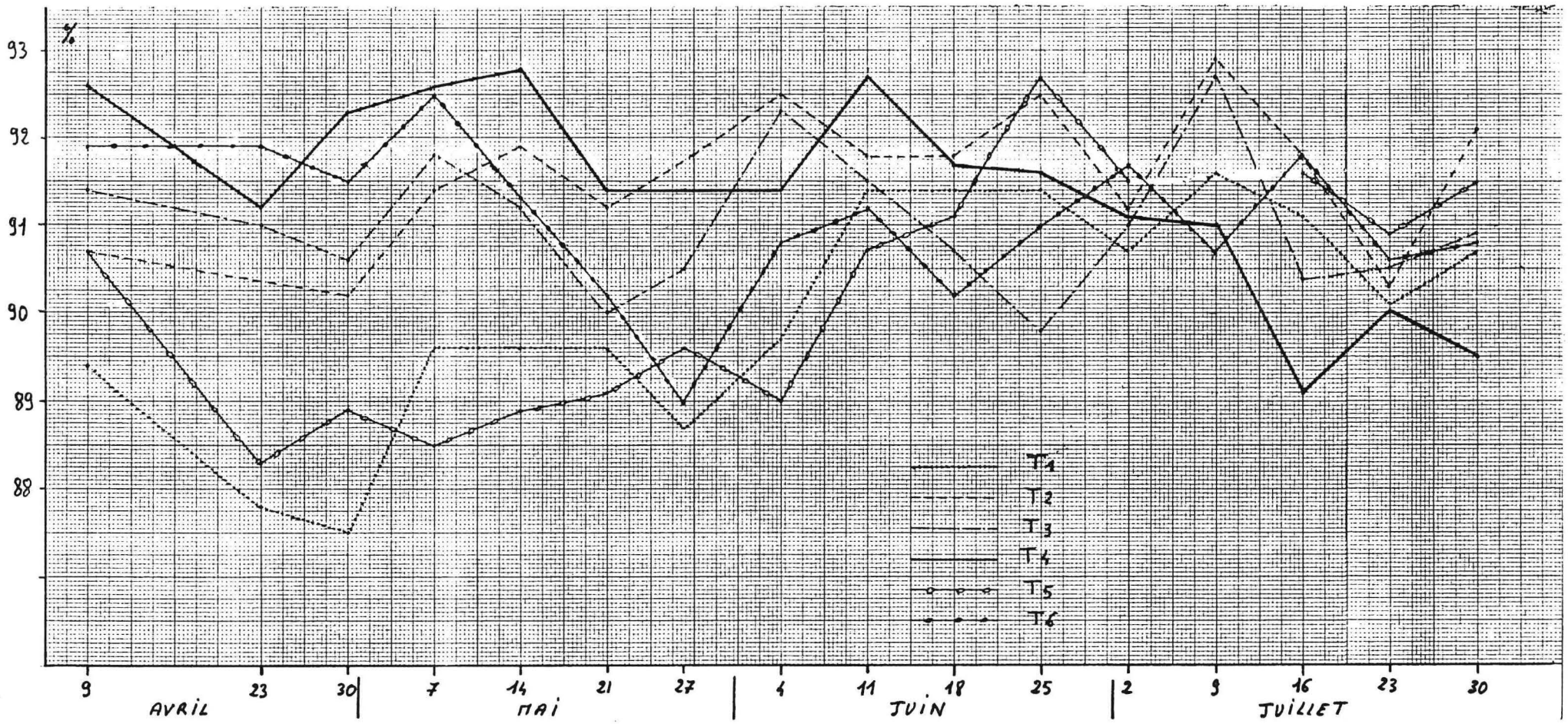


Figure 2.2 : TENEUR EN EAU DES ENTRE-NOEUDS 3,4,5



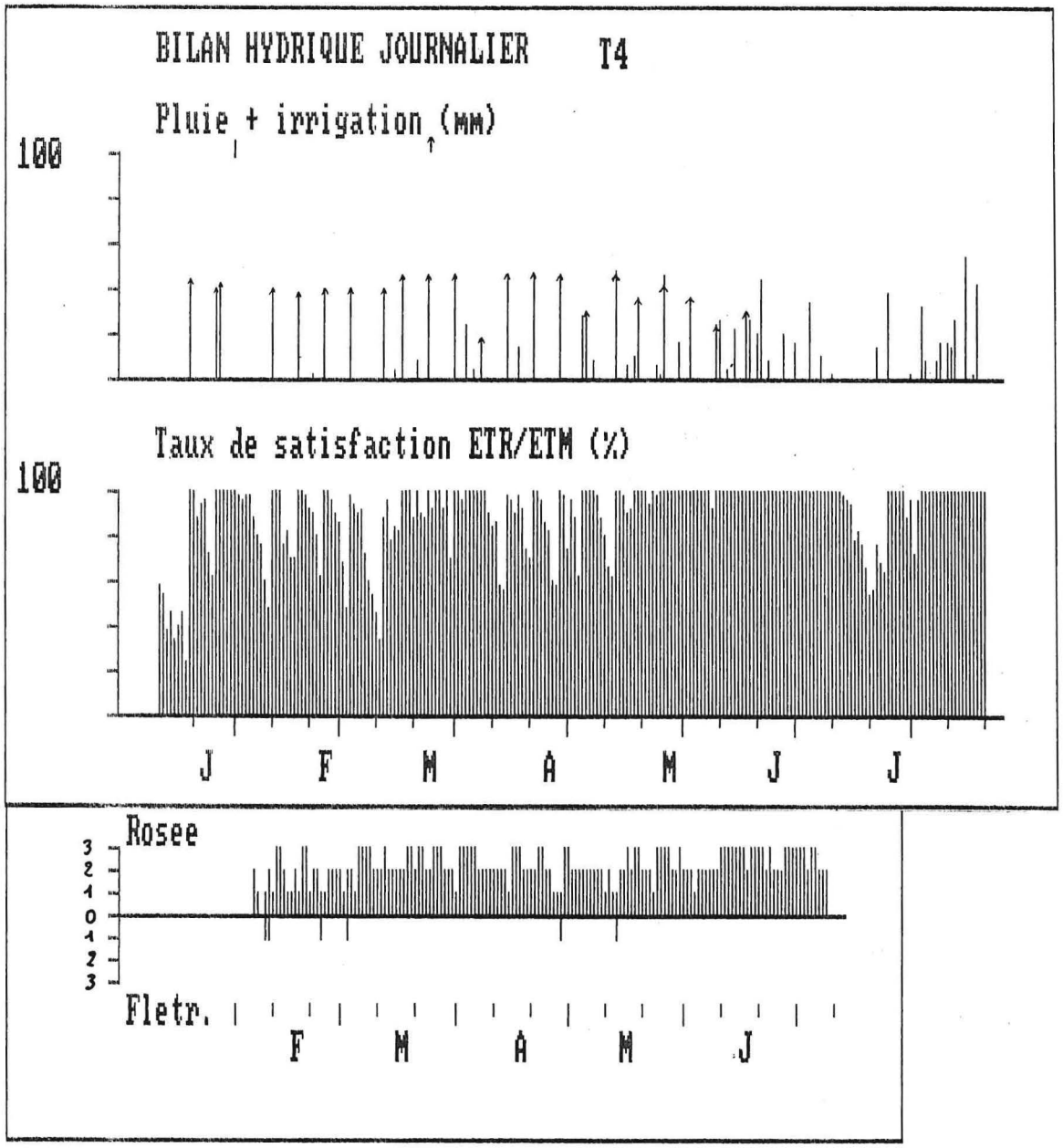
Les différences données pour chaque traitement ont été représentées graphiquement et font l'objet - ci-après - d'une brève description et de commentaires concernant quelques points remarquables. Les mesures des teneurs en eau des gaines et des entre-noeuds ont été regroupées sur les figures 2.1 et 2.2. Pour les mesures neutroniques un seul profil par traitement est présenté.

3.2.1 - T4

Avec 22 arrosages entre la mi-janvier et la fin-juin, au rythme d'un par semaine, soit 852 mm d'apport net, ce traitement a été globalement bien irrigué. La végétation n'a pas manifesté de signe prolongé de manque d'eau :
- la croissance des tiges est élevée, sans à-coup important, et proportionnelle à la somme des températures moyennes (chapitre 3.4.1.)
- chaque matin il y a de la rosée sur les limbes et le flétrissement à la mi-journée est exceptionnel,
- l'humidité des entre-noeuds est constamment élevée ($>$91 %) ainsi que celle des gaines, bien qu'en diminution progressive au fil des mois.

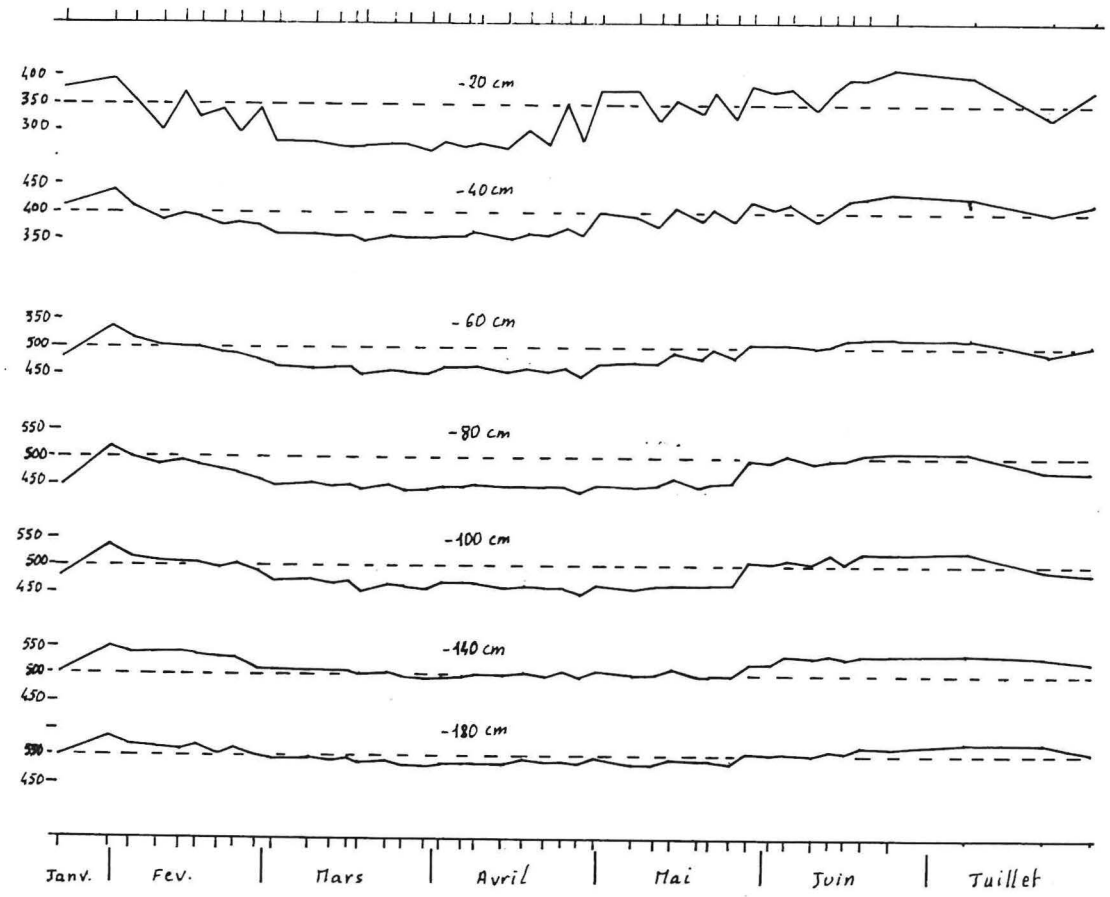
Toutefois dans le détail, le bilan hydrique simulé indique de légers déficits hydriques, durant les périodes allant du 5 février au 11 mars, puis du 10 avril au 12 mai, se traduisant par une baisse du taux de satisfaction les 2 ou 3 jours précédant un nouvel arrosage. A certaines occasions, cela coïncide bien avec une rosée moins abondante puis l'apparition d'un léger flétrissement à la mi-journée (c'est le cas notamment les 9 et 23 février, le 2 mars, le 28 avril et le 12 mai), mais à d'autres occasions, rien n'est perçu (le 11 février en particulier).

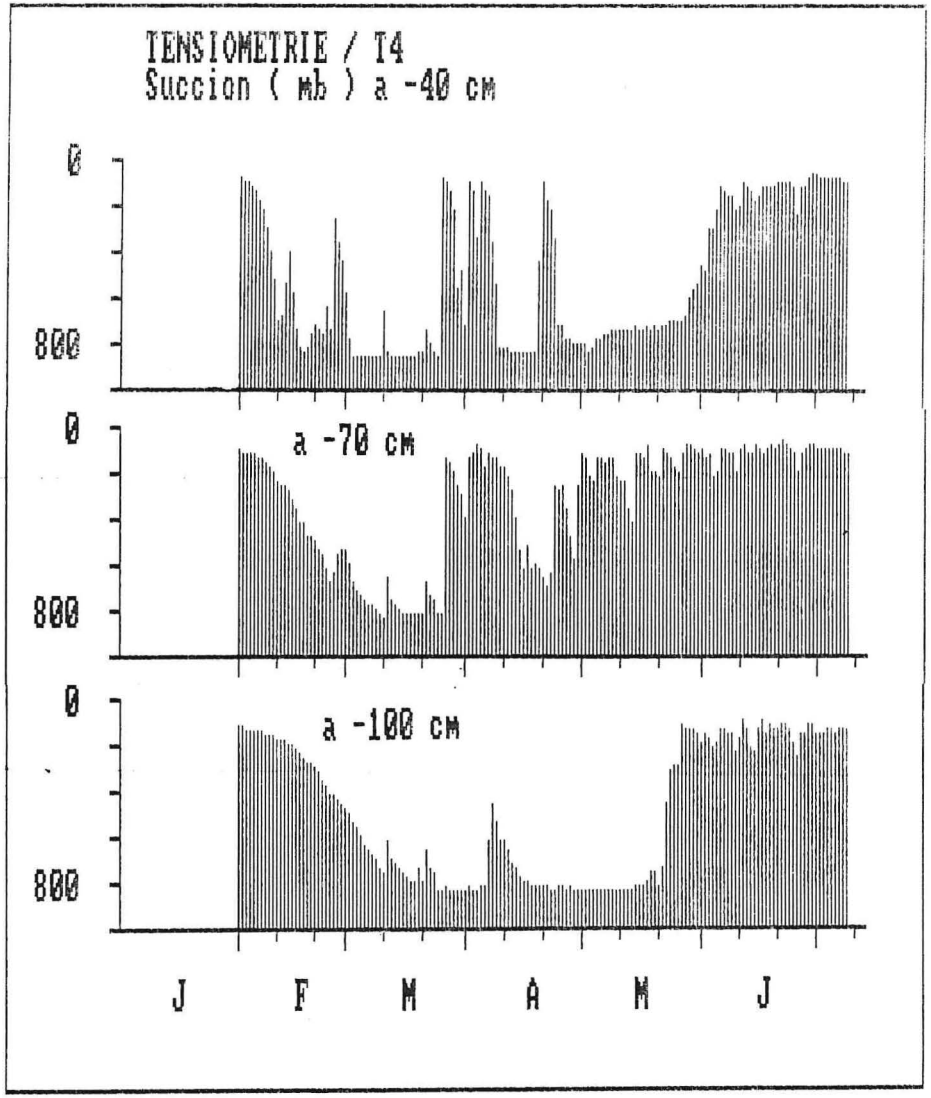
Le double arrosage du 26 et 27 janvier (par erreur) a permis de réhumecter le sol en profondeur. Tout au long des mois de février et mars le profil s'assèche rapidement en surface et beaucoup plus lentement en-dessous de 60 cm, mais le phénomène est net jusqu'à -140 cm et encore perceptible à -180 cm
Cet assèchement perçu de manière similaire à la sonde à neutrons et par les tensiomètres coïncide avec la première période du déficit hydrique évoquée ci-avant. La culture a donc puisé dans la réserve en eau du sol en profondeur.
Fin mars, la dose d'arrosage a été accrue de 6 mm. Suite à cela on enregistre à l'aide des tensiomètres une réhumidification du sol jusqu'à 70 cm conforme au calcul, par contre, au niveau du tube de sonde, rien n'est perceptible (il en va différemment sur le second tube). Il est surprenant de constater que même à la profondeur de 20 cm les arrosages pratiqués alors (220 mm en mars) passent totalement inaperçus !
La réhumectation générale du sol se produit fin mai, ce qui est en accord avec le début de drainage calculé par simulation à cette période. La situation hydrique demeure ensuite bonne tout au long du mois de juin, alors qu'en juillet on enregistre un dessèchement assez marqué en surface en liaison avec le creux pluviométrique de la seconde décade.
On note que le tensiomètre placé à -40 cm donne de la fin avril à la fin mai des valeurs de succion élevées paraissant assez contradictoires avec celles mesurées à -70 cm ou les relevés neutroniques à -40 cm.


BILAN HYDRIQUE JOURNALIER T4
Pluie + irrigation (mm)
100
Taux de satisfaction ETR/ETM (%)
100
J F M A M J J
Rosee
3
2
1
0
1
2
3
Fletr.
F M A M J

SUIVI NEUTRONIQUE / T4

Rapport de comptage





3.2.2 - T5

Ce traitement a été irrigué de manière identique à T4 jusqu'à la mi-mars (365 mm depuis la mi-janvier) puis n'a plus été arrosé (dernier arrosage le 17 mars). L'arrêt des irrigations a donc eu lieu en pleine saison sèche chaude , alors que la culture était déjà en phase d'élongation rapide et avait des besoins en eau très élevés. Elle a donc subi alors un très fort stress hydrique dont l'apparition puis la disparition se sont manifestées différemment selon les méthodes d'étude.

Début du stress hydrique

- Bilan hydrique simulé :
le taux de satisfaction devient inférieur à 60 % à partir du 24 mars et inférieu à 20 % à partir du 30 mars.

- Vitesse d'élongation :
du 14-03 au 21-03, la vitesse d'élongation est très élevée (1,9 cm/j) et identique à celle mesurée sur T4, alors que du 21 au 28 elle accuse déjà une légère baisse (-0,2 cm/j). Du 28-03 au 3-04, elle tombe à 0,8 cm/j contre 1,7 cm/j sur T4. Elle se maintient ensuite à ce niveau début avril (grâce à une pluie de 24 mm le 3-04) avant de chuter durablement en-dessous de 0,4 cm/j.

- Rosée et flétrissement :
le flétrissement n'est observé qu'à partir du 27-03. Il devient plus intense à partir de la mi-avril. Le phénomène de rosée persiste à un niveau élevé jusqu'au 28-03 et disparaît le 7-04.

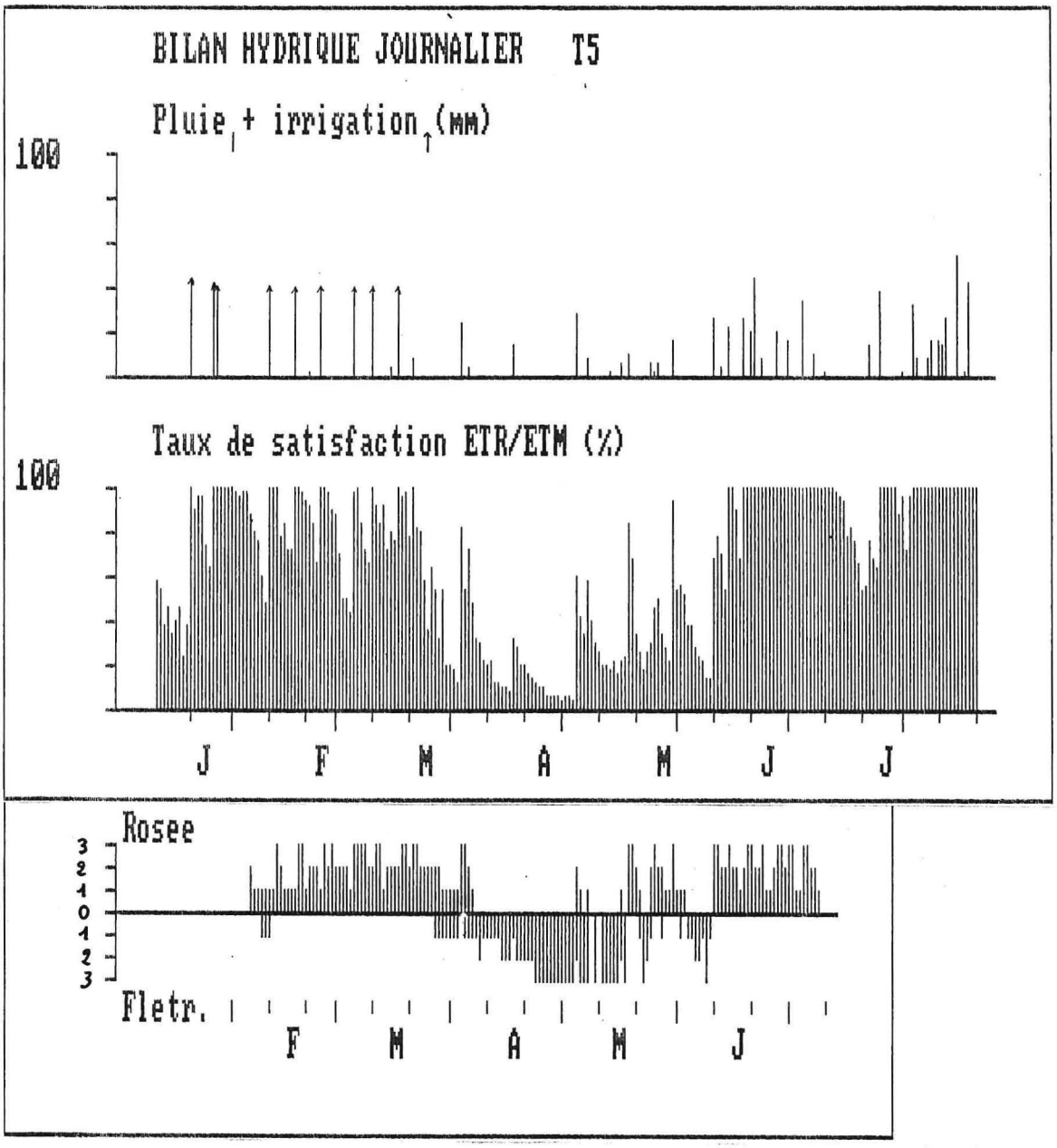
- Humidité des gaines et entre-noeuds :
la densité des mesures a été malheureusement faible à cette période. On remarque néanmoins que l'humidité des entre-noeuds baisse beaucoup plus tôt que celle des gaines. Le 9-04, l'humidité des gaines est encore comparable à celle des traitements les mieux arrosés (T4 et T6) alors que celle des entre-noeuds est déjà sensiblement inférieure. Le 23/4 cette dernière atteint sa valeur minimale tandis que pour les gaines la baisse est encore modérée et se poursuivra jusqu'a debut du mois de mai.

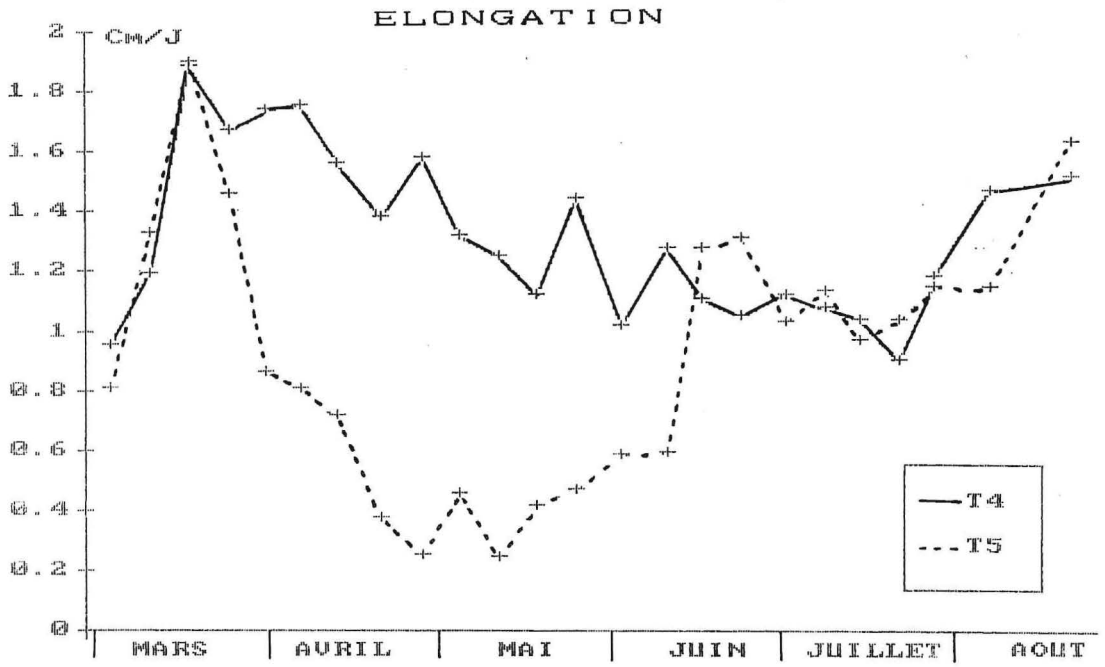
- Mesures neutroniques :
en surface(20,40 cm) la baisse et d'humidité est sensible dès le 23-03, nette le 26-03 et très forte le 30-06. En profondeur (80 à 120 cm) la baisse est beaucoup plus lente et se poursuit durant tout le mois d'avril.

On note donc une très bonne cohérence entre les diverses mesures et observations réalisées au cours de ce début de stress hydrique. A l'exception de l'humidité des gaines et des entre-noeuds, toutes indiquent un manque d'eau évident (se traduisant par une réduction de la croissance des tiges) à partir du 27 ou 28 mars, soit 10 jours après la dernière irrigation.

Fin du stress hydrique

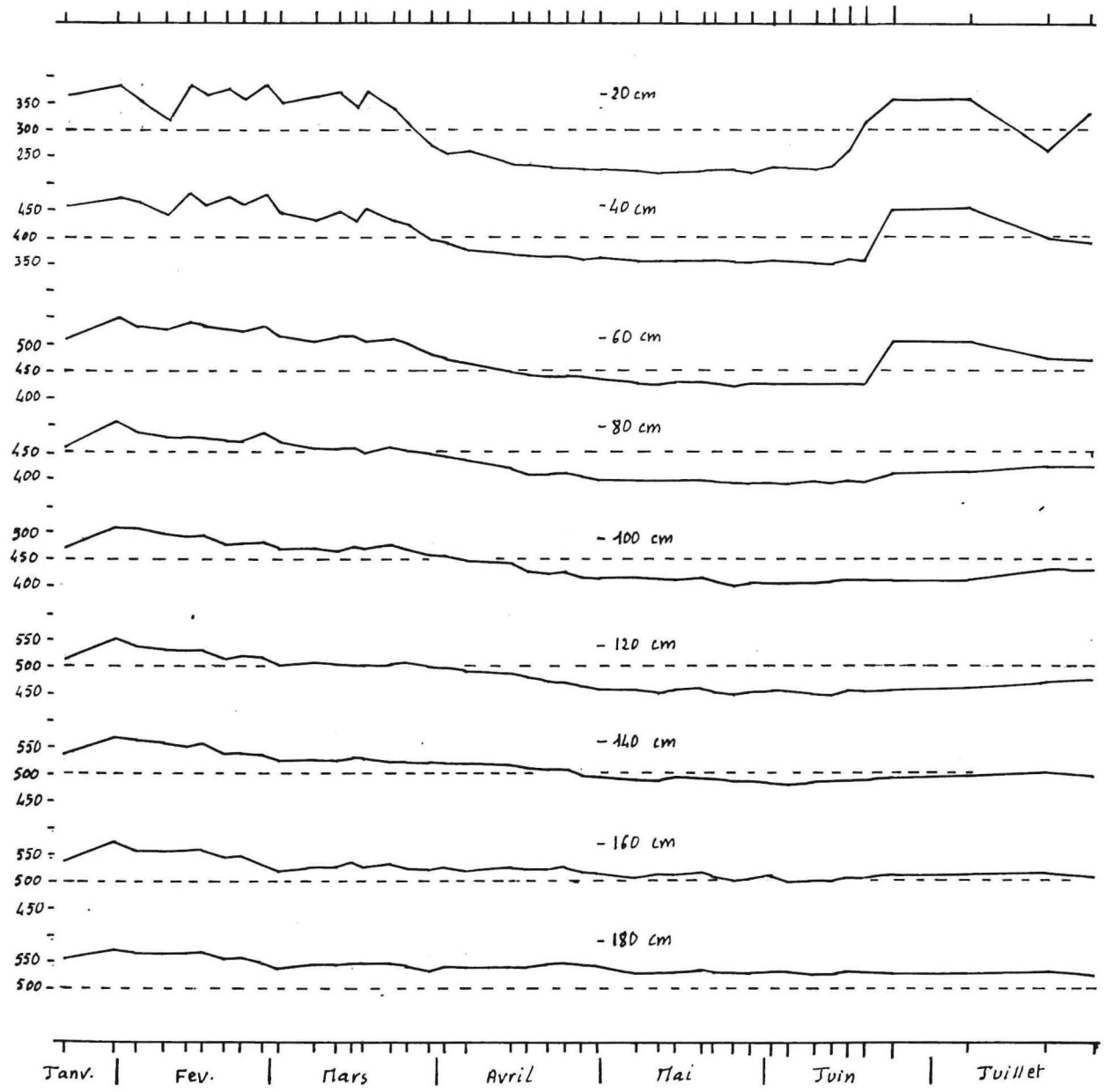
En avril la culture assèche lentement les horizons profonds du sol et s'adapte à la sécheresse par une réduction de sa surface foliaire (mort des jeunes talles et des feuilles âgées de rang supérieur à 5, enroulement persistant des limbes). En mai elle bénéficie de 82 mm de pluie, mais ce n'est qu'à partir du 10 juin que les pluies redeviennent suffisantes.
A partir de cette date le flétrissement disparaît et la rosée redevient observable chaque jour. Du 13-6 au 20-6, la croissance s'accélère brutalement et devien même supérieure à celle de T4 (phénomène de rattrapage).
L'humidité des entre-noeuds accuse déjà une forte augmentation dès le 11 juin, augmentation qui se poursuit au cours des semaines suivantes. Pour les gaines, par contre, la teneur en eau avait retrouvé des valeurs moyennes dès la fin mai et n'évolue pratiquement pas durant cette période.
Au niveau du sol, l'augmentation de l'humidité n'est nette qu'à partir du 18-06 à -20 cm et du 23-06 à -60 cm. On constate donc que la culture a retrouvé de bonnes conditions de croissance avant que cela ne soit perçu par les mesures neutroniques en bordure de la ligne de canne. Malgré 183 mm de pluie en juin, les horizons profonds ($\geqslant$ 80 cm) ne sont que très partiellement réhumectés.


BILAN HYDRIQUE JOURNALIER T5
Pluie + irrigation (mm)
100
Taux de satisfaction ETR/ETM (%)
100
J F M A M J J
Rosee
3 2 1 0 1 2 3
Fletr.
F M A M J


ELONGATION
CM/J
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
T4
T5
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT

SUIVI NEUTRONIQUE / T5

Rapport de comptage



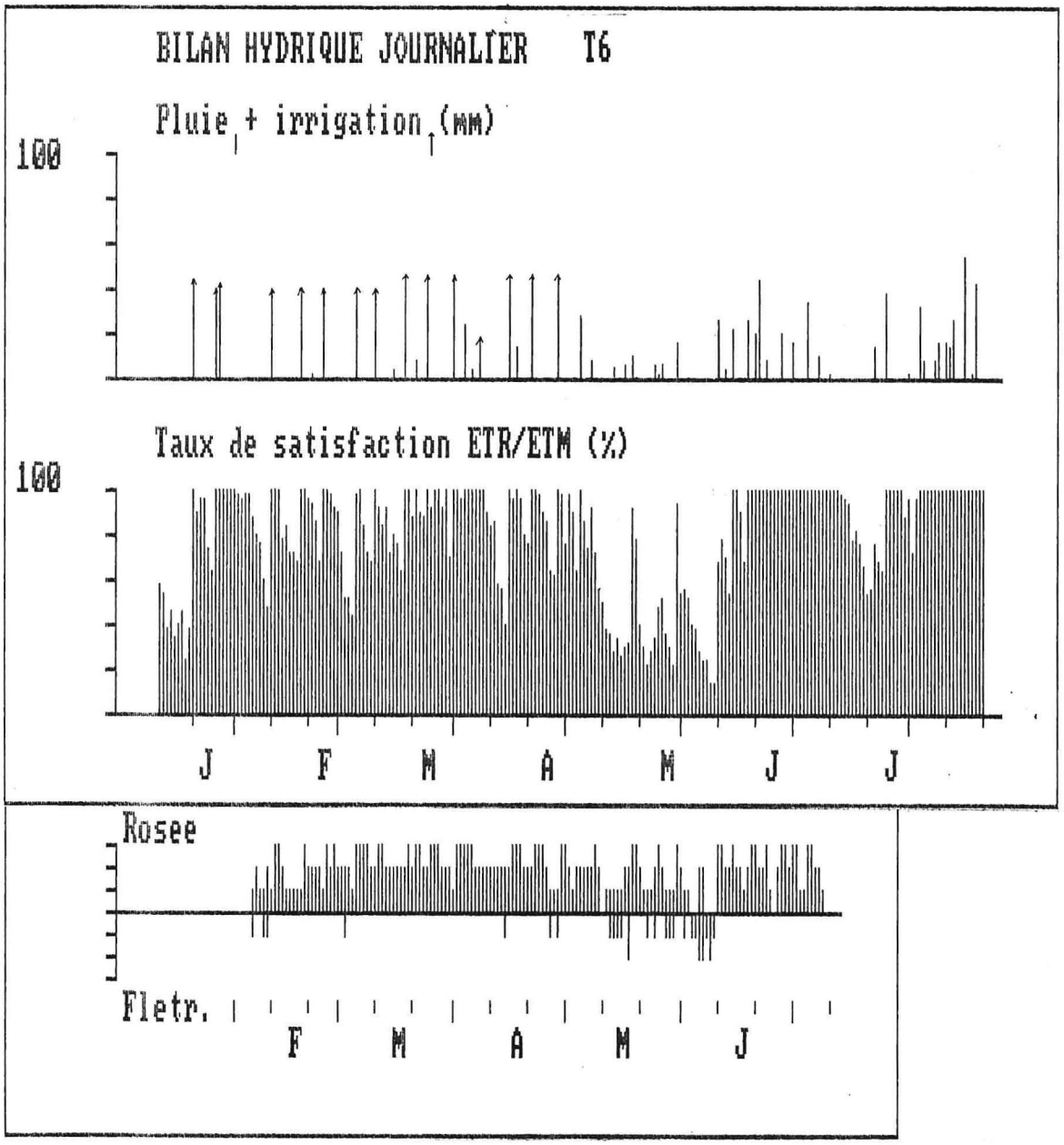
3.2.3 - T6

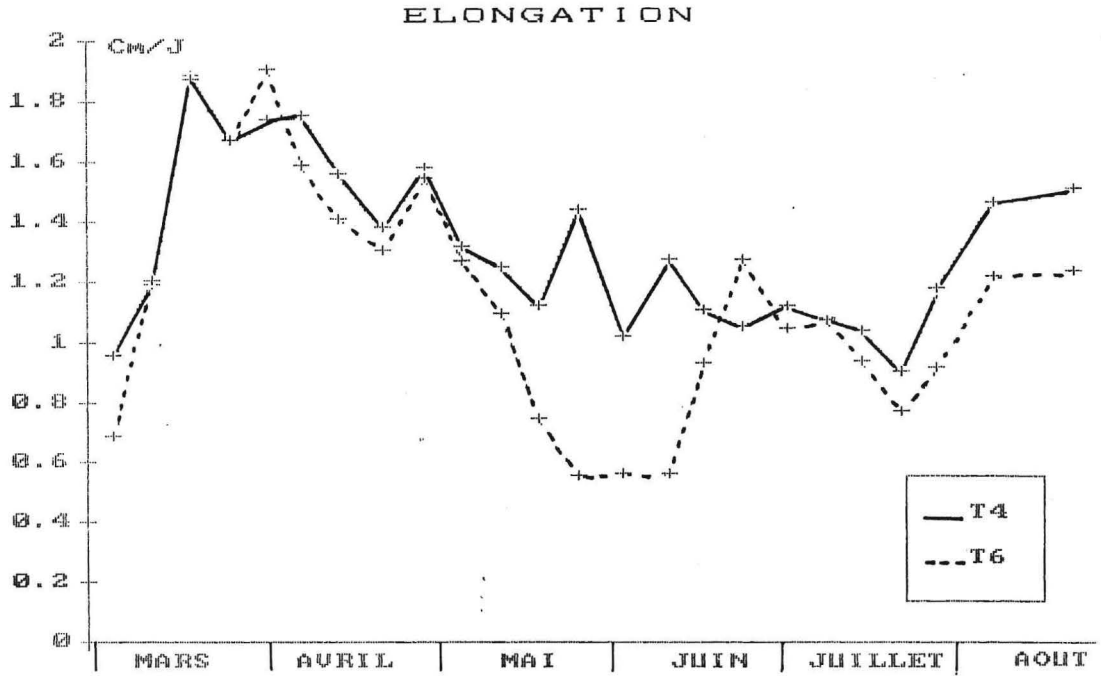
Ce traitement arrosé de manière identique à T4 jusqu'à fin avril (618 mm depuis janvier), s'est également comporté de façon tout à fait comparable pour ce qui est des vitesses de croissance ou pour les humidités des gaines et entre-noeuds. Au niveau du sol, l'assèchement en février et mars apparaît ici beaucoup moins accentué que pour le site suivi sur T4.

Après la dernière irrigation du 28-04, débute une phase de stress hydrique qui dure jusqu'au 10-06. Le taux de satisfaction calculé par simulation devient inférieur à 50 % à partir du 10-05. La vitesse de croissance des tiges accuse dès la période du 8 au 15-05 une légère baisse (-0,15 cm/j) par rapport à T4. Du 15 au 21, elle tombe à 0,7 cm/j et se stabilise ensuite à 0,55 cm/j, soit une vitesse comparable à celle de T5 pour la même période. A partir du 10-05, la rosée devient moins abondante mais elle ne disparaît qu'au début de juin. Le flétrissement apparaît à partir du 12-05 et se manifeste ensuite de façon épisodique jusqu'au début de juin où il devient plus intense. La teneur en eau des entre-noeuds commence à baisser dès le 14-05 et la baisse se poursuit de façon importante jusqu'à fin mai. Pour les gaines, la baisse est beaucoup moins importante ; il faut attendre le 27-05 pour noter un écart de 2 % avec T4. L'humidité du sol en surface diminue dès le 11-05 et le dessèchement est net à partir du 14-05.

On retrouve donc sur T6, au cours de l'apparition du stress hydrique, les mêmes phénomènes que ceux notés sur T5 avec toutefois des signes moins nets pour la rosée et le flétrissement. Ceci peut s'expliquer d'une part par le fait que le stress a été moins brutal (80 mm de pluie en mai) et d'autre part par des conditions climatiques propices à la persistance de la rosée et moins favorables au flétrissement (nombreuses petites pluies, couverture nuageuse et hygrométrie plus importantes qu'en mars ou avril, températures maximales plus faibles).

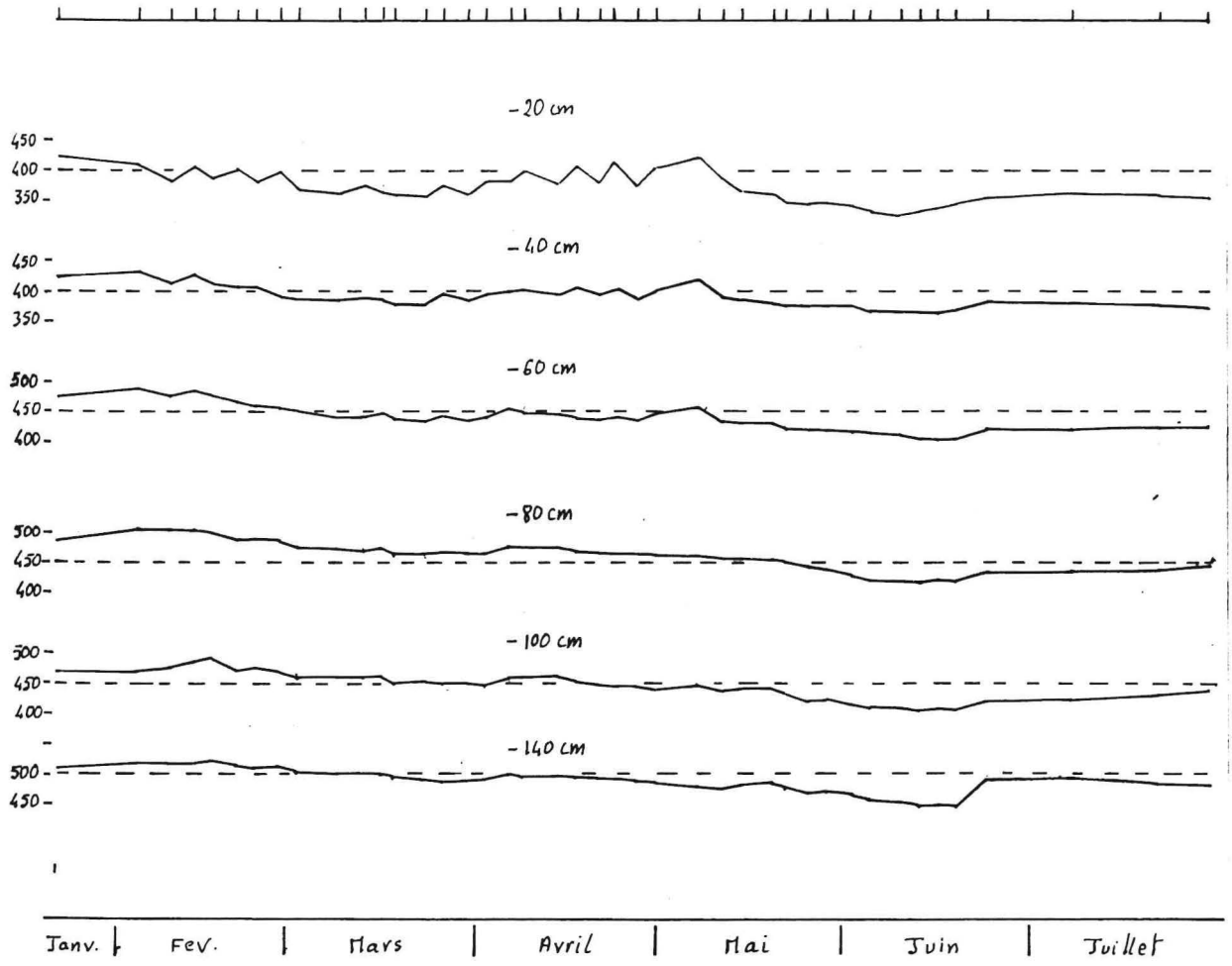
A la fin de la sécheresse, après le 10-06, on retrouve ici aussi des comportements très semblables à ceux notés sur T5 en matière de vitesse de croissance, rosée et flétrissement. Au niveau du sol, la réhumectation est par contre beaucoup moins nette en surface et reste curieusement incomplète. En profondeur l'humidité baisse jusqu'au 18-06 avant de remonter brutalement le 23-06. Pour les gaines, le retour des pluies n'entraîne pas de variation significative des teneurs en eau, tandis que pour les entre-noeuds, la remontée de la teneur en eau avait déjà eu lieu avant le 10-06.


BILAN HYDRIQUE JOURNALIER T6
Pluie + irrigation (mm)
100
Taux de satisfaction ETR/ETM (%)
100
J F M A M J J
Rosee
Fletr.
F M A M J


ELONGATION
Cm/J
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
T4
T6
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT

SUIVI NEUTRONIQUE / T6

Rapport de comptage



3.2.4 - T3

Contrairement aux traitement T5 et T6 qui après une phase de bonne alimentation hydrique subissent un stress hydrique brutal, le traitement T3 - tout comme T2 - connaît une alternance de courtes périodes des bonnes conditions hydriques après les irrigations et les pluies et de courtes périodes de sécheresse du fait du trop grand espacement des arrosages (2 semaines).

- Rosée et flétrissement :
à la suite d'une irrigation la rosée réapparaît de façon intense, diminue ensuite d'intensité puis cesse au bout de 5 à 8 jours le plus souvent. Parallèlement, le flétrissement réapparaît au bout de quelques jours et coexiste donc avec le phénomène de rosée durant plusieurs jours, mais, lorsque le flétrissemen s'intensifie, la rosée cesse.

- Taux de satisfaction :
globalement le bilan hydrique est déficitaire jusqu'au 10 juin. Les taux mensuels de satisfaction de février à juin sont : 54 %, 45 %, 64 %, 56 %, 83 %.

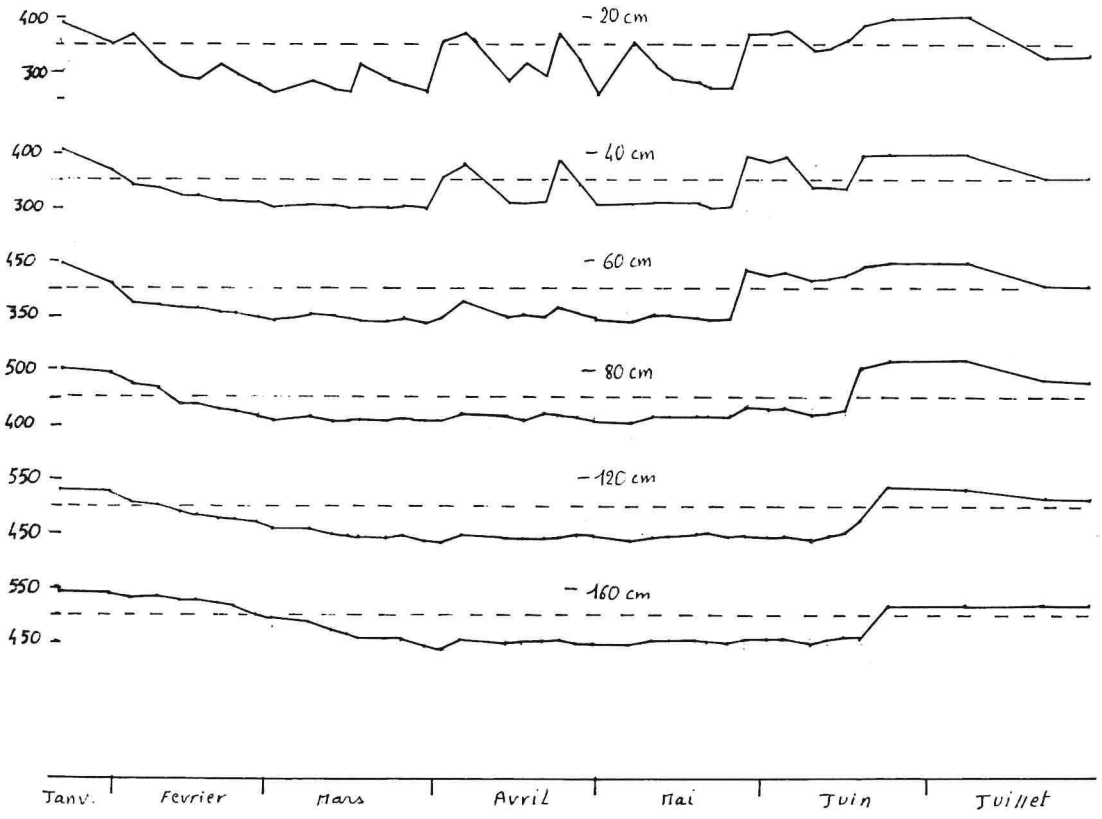
- Vitesse de croissance :
l'élongation commence avec retard (15 jours environ) et demeure relativement faible en mars. A partir de début avril, parallèlement à l'augmentation du taux de satisfaction hydrique, la vitesse de croissance devient élevée mais reste légèrement inférieure à celle de T4. Le flétrissement enregistré à la mi-mai coïncide avec un plus faible taux de satisfaction, notamment dans la seconde décade (40 %).

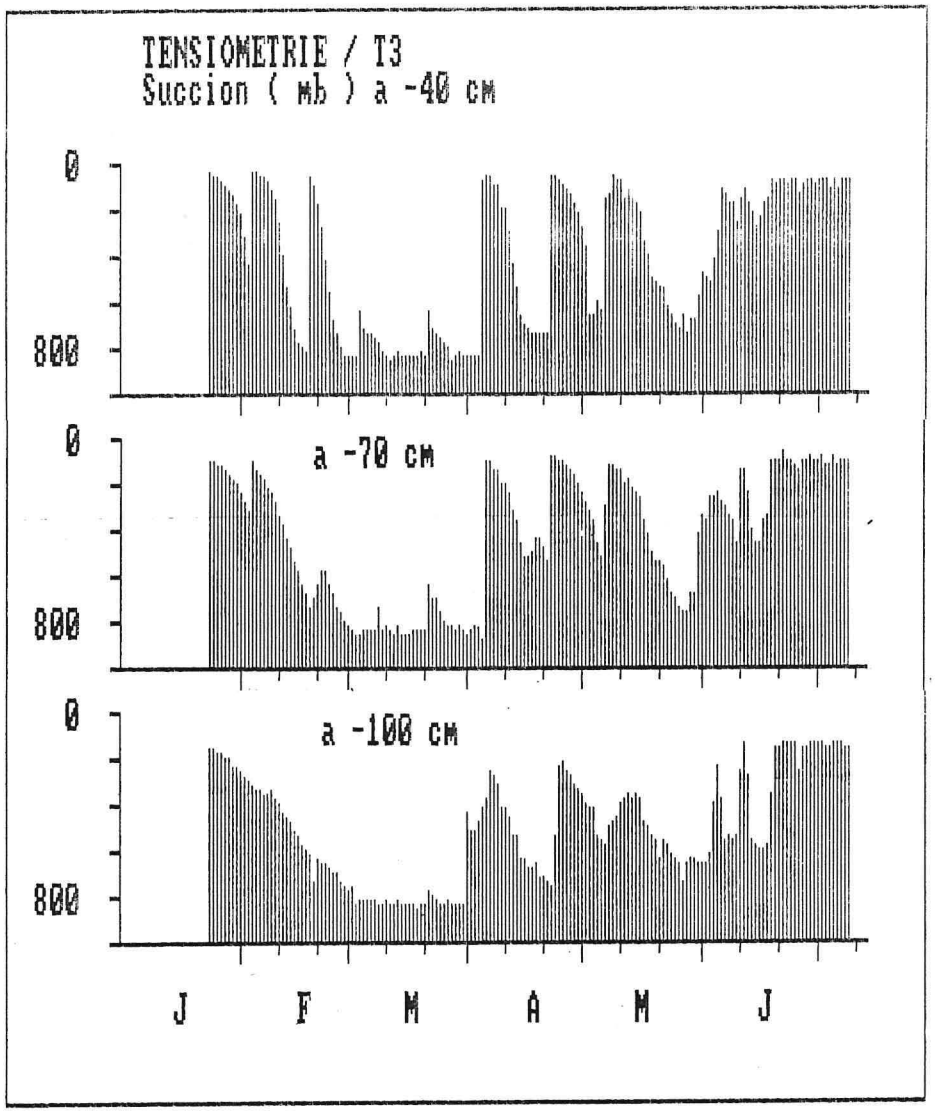
- Humidité des gaines et des entre-noeuds :
en avril et mai, les teneurs en eau sont systématiquement plus basses que sur T4 ; l'écart étant de 1 à 2 % pour les entre-noeuds et 2 à 3 % pour les gaines.

- Humidité du sol :
l'insuffisance des arrosages a pour conséquence une baisse de l'humidité du sol en février observable jusqu'à -100 cm,aussi bien à la sonde à neutrons que par les tensiomètres. L'assèchement se poursuit en mars jusqu'à plus de -160 cm. Pour ce traitement également, il faut attendre le 23-06 pour observer la réhumectation complète et durable de la totalité du sol.
En concordance avec le bilan simulé, on observe que la situation hydrique s'améliore à partir de début avril. Les relevés neutroniques indiquent que les échanges d'eau se cantonnent sur une faible épaisseur de sol (-20 cm principalement, -40 cm parfois). Les fluctuations d'humidité rapides et importantes traduisent l'irrégularité et l'insuffisance des apports. Les relevés tensiométriques montrent une situation hydrique beaucoup plus favorable, notamment en profondeur (-70, -100 cm), et concordent mal avec les mesures neutroniques faites à quelques décimètres de distance, ou avec le bilan simulé.

SUIVI NEUTRONIQUE / T3

Rapport de comptage





3.2.5 - T2

Ce traitement s'apparente à T3, mais avec cette fois des arrosages espacés de 3 semaines (à l'exception de fin avril où il y a eu par erreur un arrosage supplémentaire), ce qui entraîne des périodes de manque d'eau plus longues.

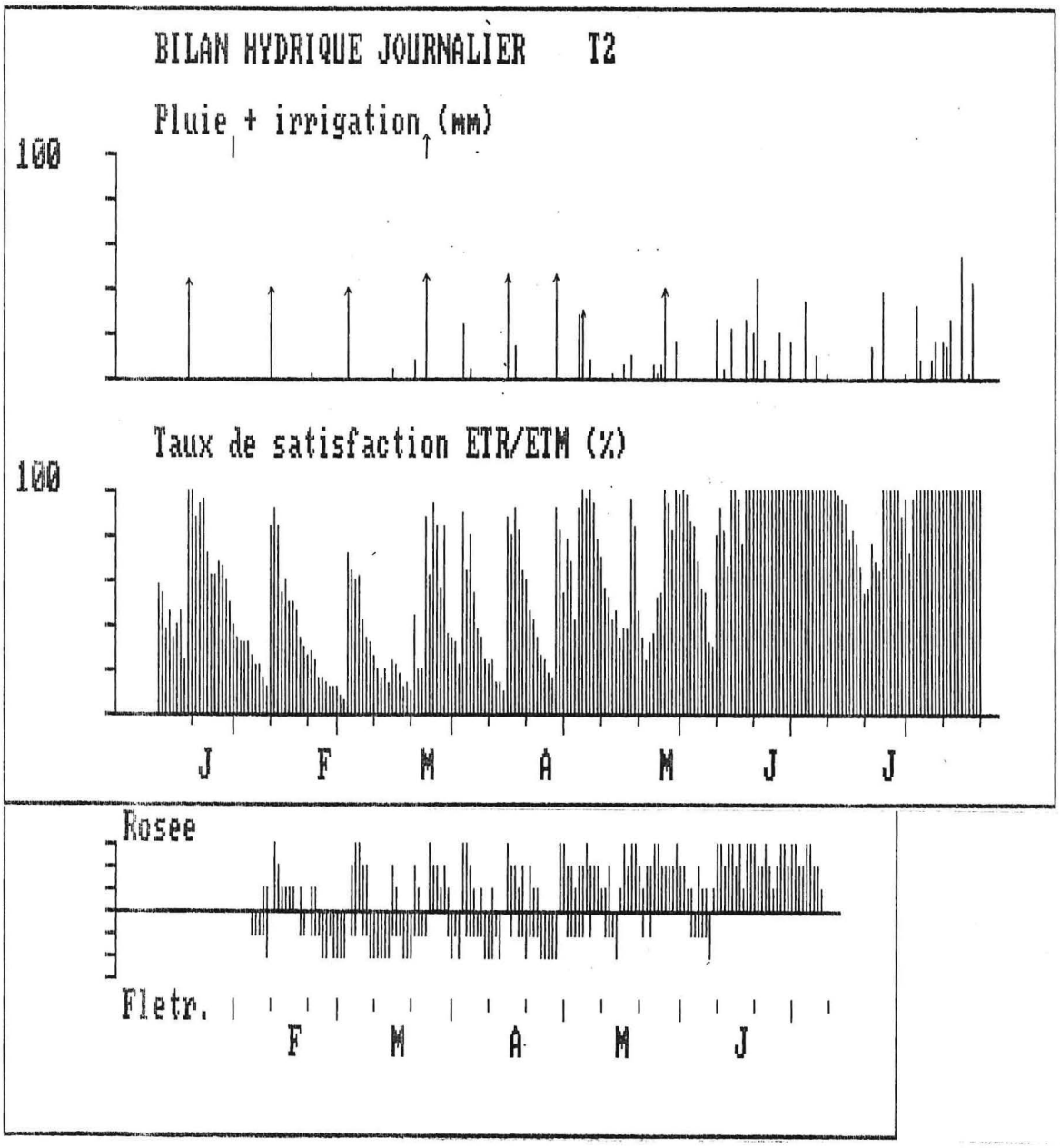
- Taux de satisfaction :
les taux moyens (%) de février à juin sont de 34,36, 45, 63 et 83.

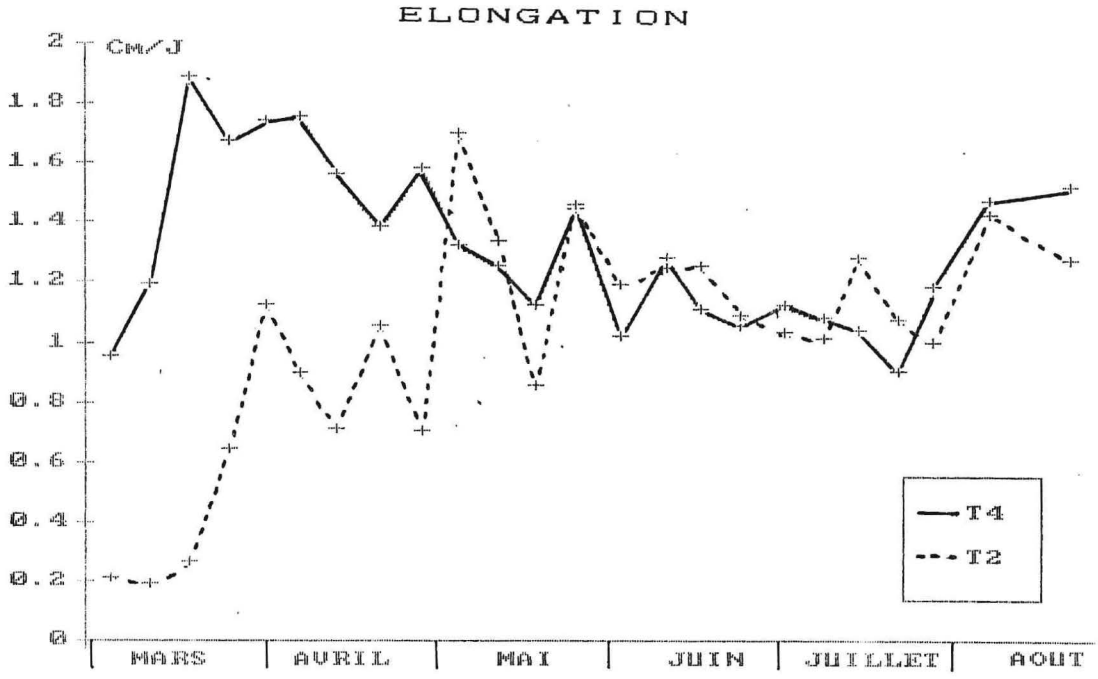
- Vitesse de croissance :
en accord avec la médiocre alimentation hydrique de février et mars, l'élongation commence encore plus tardivement que sur T3 (fin mars). En avril la croissance est appréciable (0,9 cm/j) mais nettement inférieure à T4 ou T3. Début mai on enregistre une très forte vitesse d'élongation, supérieure à T4 ; et qui se maintient par la suite à un niveau égal à T4. Cette croissance début mai coïncide avec un taux de satisfaction hydrique de 81 % pour la première décade de ce mois qui a pu induire en plus un certain "rattrapage" de croissance. Ce taux baisse à 46 % au cours de la seconde décade alors qu'on note une baisse importante de la croissance vers le 20-05. La vitesse tombe en effet à 0,9 cm/j, contre 1,7 au début du mois, mais reste néanmoins étonnant élevée comparativement à T4.

- Humidité des gaines et entre-noeuds :
tout au long du mois d'avril les teneurs en eau sont nettement plus basses que sur T4. le retour à des valeurs normales se fait à partir du 21-05, soit avec un retard de 2 semaines sur l'accélération de la croissance. On note en juin pour les humidités des gaines des valeurs beaucoup fortes que sur les autres traitements (ce qui est à rapprocher des plus fortes teneurs en Azote des limbes).

- Rosée et flétrissement :
jusqu'en avril, par rapport à T3, on observe que le phénomène de rosée disparaît plus vite après un arrosage alors que le flétrissement apparaît plus rapidement et avec une plus grande intensité. A partir de mai la situation s'amélior nettement et apparaît même meilleure que sur T3.

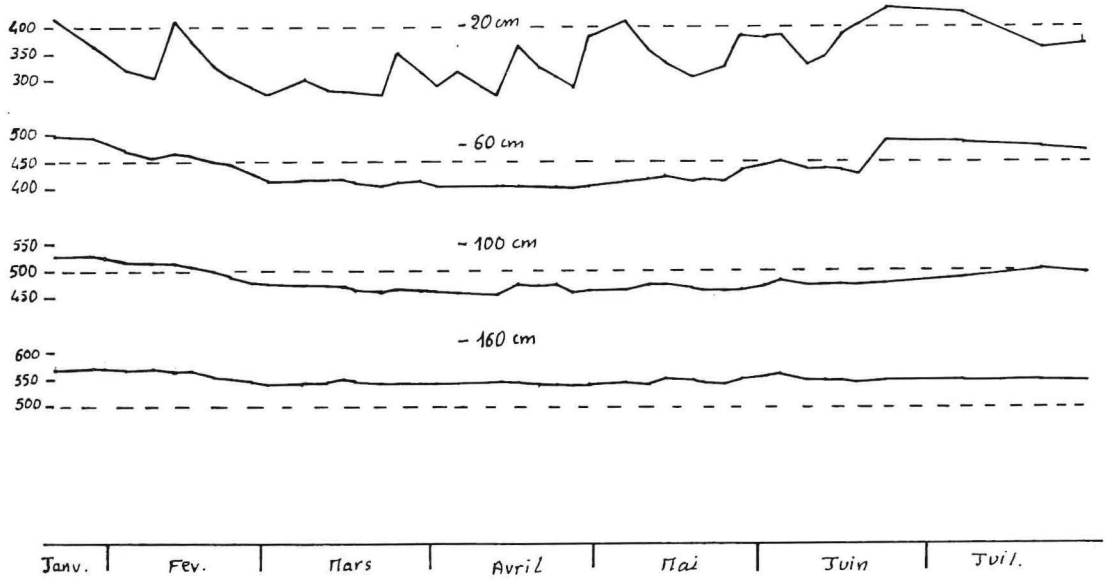
- Humidité du sol :
comme T3, le sol se dessèche en profondeur au cours du mois de février et mars ; ici toutefois, les variations d'humidité apparaissent très réduites à -160 cm. La plupart du temps, les fluctuations d'humidité liées aux arrosages et aux pluies se limitent alors à la partie supérieure du sol. Le tensiomètre situé à -40 cm est à peine ou pas affecté.
Début mai les tensiomètres enregistrent une réhumectation du sol jusqu'à plus de 100 cm de profondeur, suivie d'un dessèchement important vers le 20-05. Au cours de la même période à la sonde, cette même évolution est très nette à -20 cm mais est par contre à peine perceptible à -60 cm.

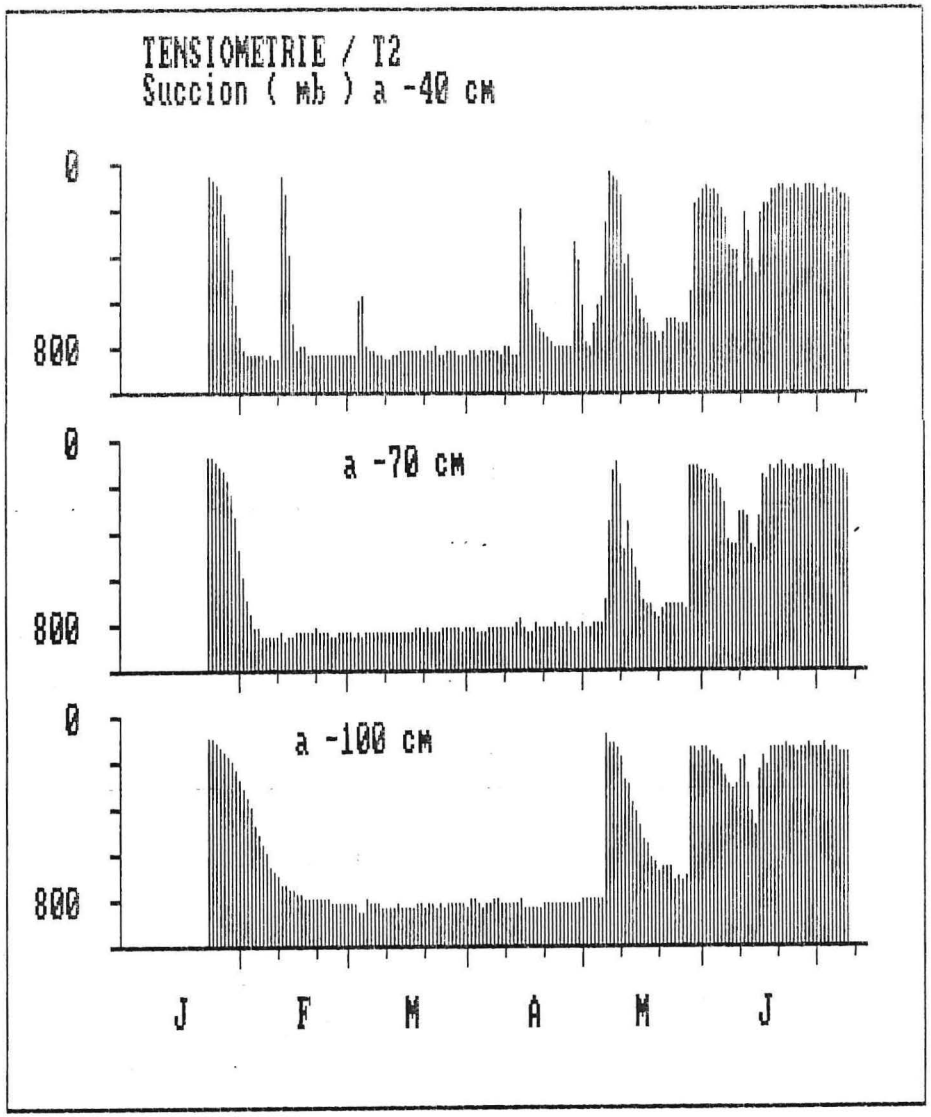

BILAN HYDRIQUE JOURNALIER T2
Pluie + irrigation (mm)
100
Taux de satisfaction ETR/ETM (%)
100
J F M A M J J
Rosee
Fletr.
F M A M J


ELONGATION
Cm/J
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
T4
T2
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT

SUIVI NEUTRONIQUE / T2

Rapport de comptage





3.2.6- T1

Ce traitement n'a plus été irrigué à partir de janvier. Le développement de la végétation est alors arrêté puis en mars et avril de nombreux talles secondaires meurent. Malgré des conditions climatiques très rudes, et une forte attaque de la maladie du charbon, aucune touffe ne meure.

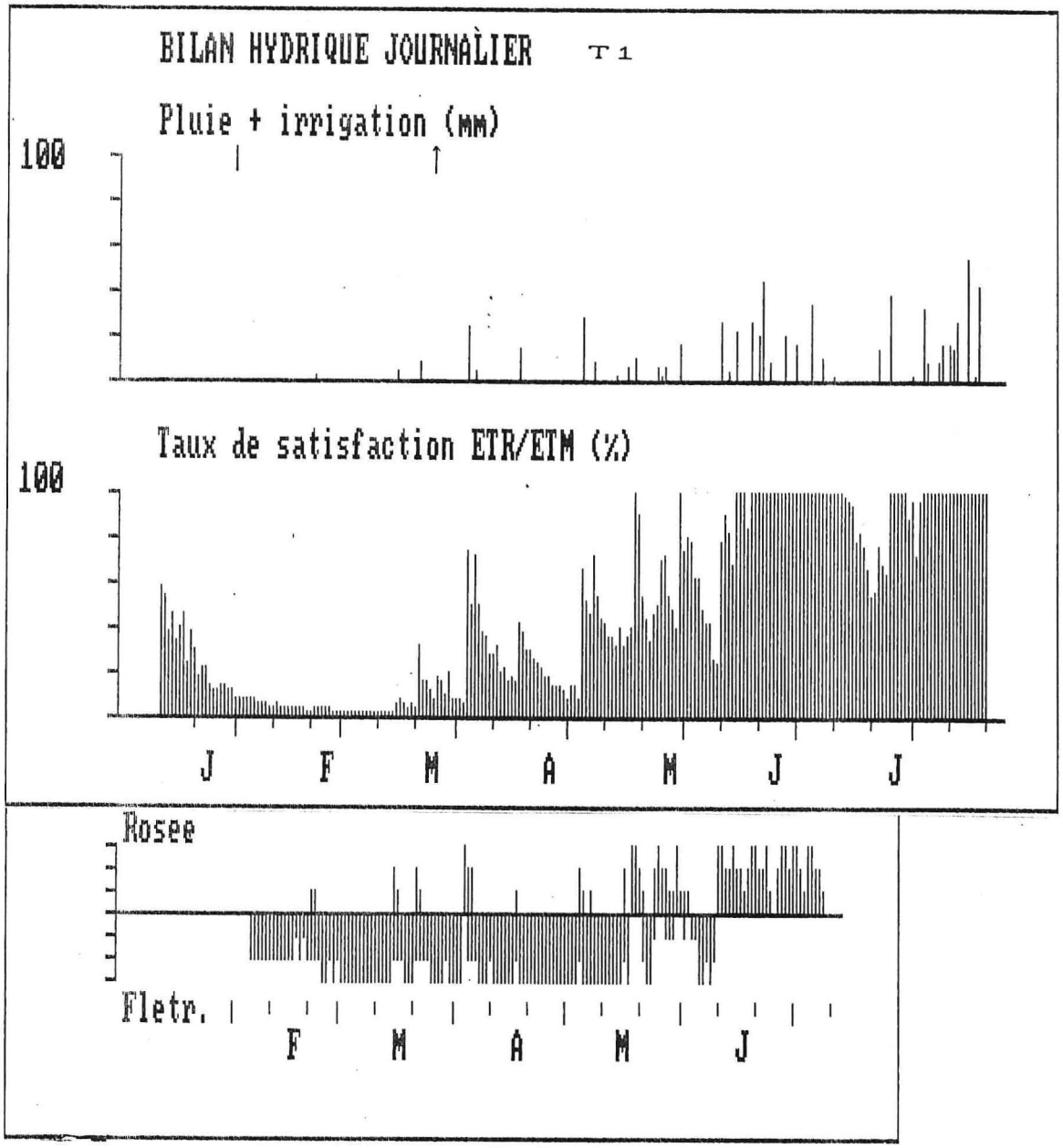
- Taux de satisfaction :
le couvert végétal restant tout au long de la saison sèche beaucoup moins important que pour les traitements irrigués, nous avons donc choisi pour le calcul du bilan hydrique de limiter le coefficient cultural à 0,6 jusqu'en juin. Les taux de satisfaction mensuels ainsi calculés sont, de février à juin, de 4 %, 6 %, 25 %, 44 % et 80 %.

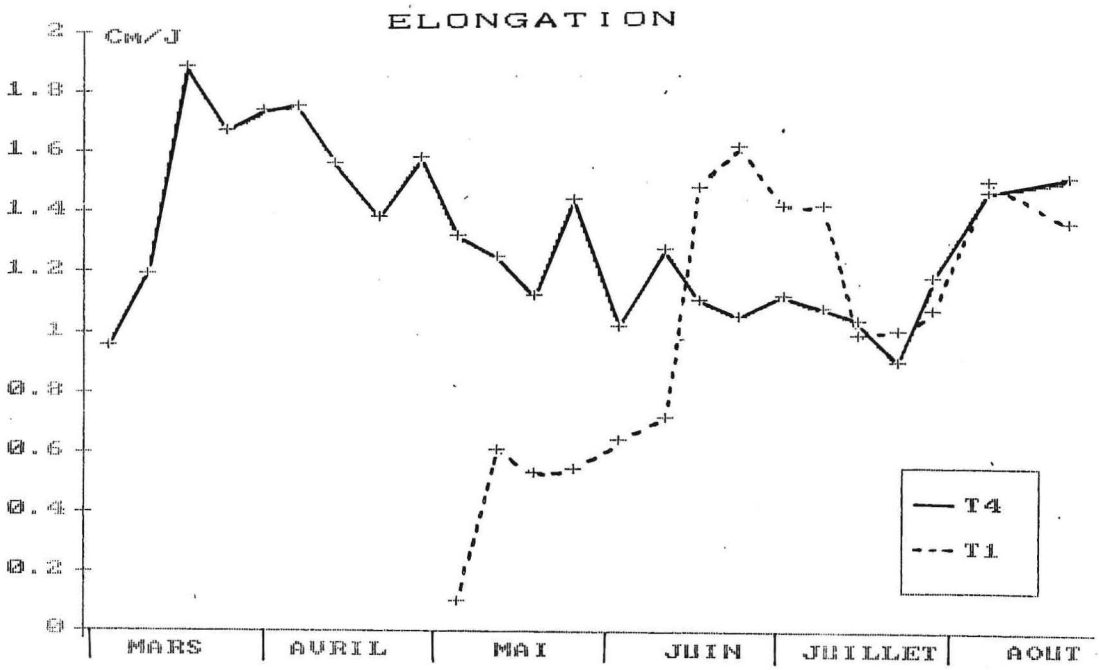
- Rosée et flétrissement :
le flétrissement est intense dès le mois de février et se maintient de façon continue jusqu'à la mi-mai ; les quelques pluies étant sans effet alors qu'elles peuvent entraîner un peu de rosée. Fin mai, bien que les pluies soient encore peu importantes, il disparaît certains jours à cause probablement d'un temps moins chaud, plus humide et plus couvert. Les quelques jours de sécheresse précédant le retour des pluies le 10-06 sont par contre nettement perçus : absence de rosée, flétrissement intense.

- Vitesse de croissance :
pour les tiges mesurées, sélectionnées fin avril parmi celles étant les plus avancées, l'élongation ne commence qu'à la mi-mai. Dès l'établissement de conditions hydriques favorables, à partir du 11-06, la croissance devient très forte, nettement supérieure à celle mesurée sur T4. Ce phénomène de "rattrapage" se poursuit durant 1 mois et correspond à un supplément de croissance de 11 cm par rapport à T4. Cet écart est comparable à la différence de longueur des gaines foliaires formées en période de stress hydrique et en période de bonne alimentation hydrique (mesurée sur d'autres essais).
Cette croissance accélérée pourrait donc résulter principalement d'une augmentation de la longueur des gaines et non d'une croissance plus rapide des tiges.

- Humidité des gaines et des entre-noeuds :
en avril et mai, les basses teneurs en eau, très inférieures à celles mesurées sur T4, témoignent d'une sécheresse très intense. Dès le 11-06, juste au début de la période de bonne pluviométrie, les valeurs redeviennent égales à celles des autres traitements. Ce rétablissement précède donc l'accélération de l'élongation et serait plutôt la conséquence (tardive) des pluies du mois de mai qu'une réaction immédiate à la pluie de la veille.

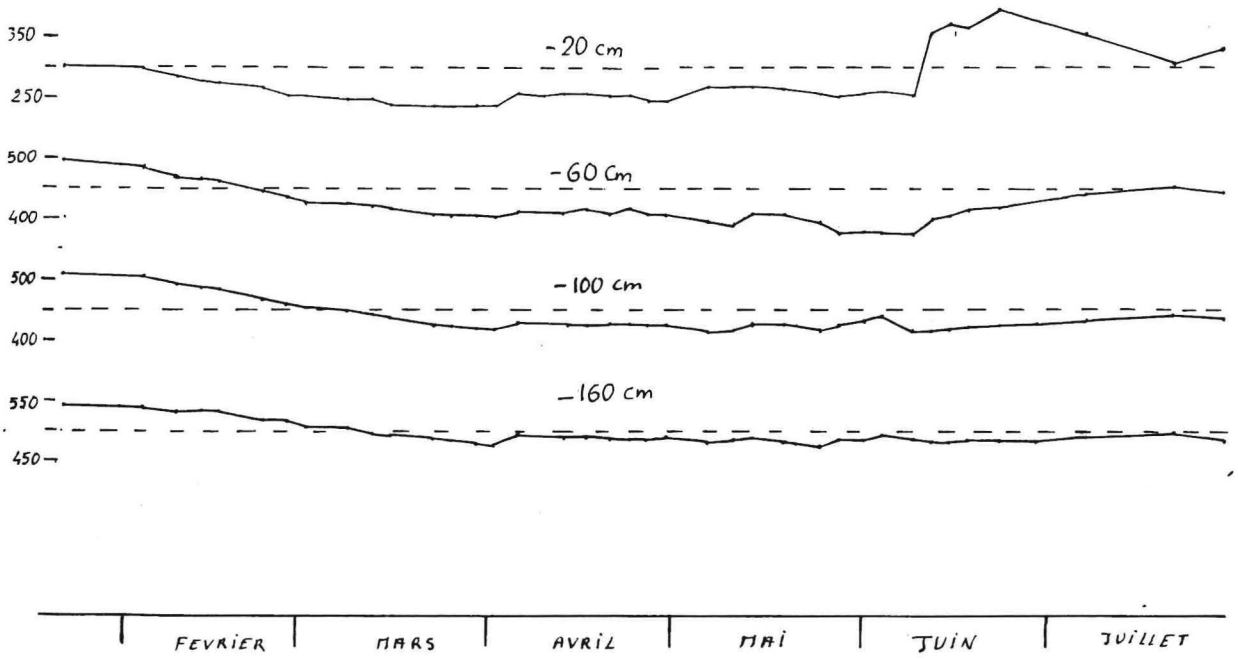
- Humidité du sol :
le maximum d'assèchement est atteint fin mars (sauf à 60 cm). Suite à la pluie de 24 mm du 3-04,on observe curieusement (et sur les 2 sites de mesure) une légère hausse des taux de comptage, mais la réhumectation ne se produit véritablement qu'à partir du 10-06, encore est-elle très incomplète puisque les horizons profonds ($>$80 cm) ne sont pratiquement pas touchés (pour une RU de 80 mm, le bilan simulé donne pour juin et juillet un drainage de 40 mm).


BILAN HYDRIQUE JOURNALIER T1
Pluie + irrigation (mm)
100
Taux de satisfaction ETR/ETM (%)
100
J F M A M J J
Rosee
Fletr.
F M A M J


ELONGATION
CM/J
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
T4
T1
MARS
AVRIL
MAI
JUIN
JUILLET
AOUT

SUIVI NEUTRONIQUE / T1

Rapport de comptage



3.3 - SYNTHESE PAR METHODE DE SUIVI

3.3.1 - VITESSE D'ELONGATION

Elle réflète les conditions de vie de la culture, en particulier les conditions d'alimentation hydrique, et a pour le producteur de canne, de façon plus ou moins directe, une signification en terme de rendement.

En période de stress hydrique accentué (T5), la croissance est très faible (moins de 4 mm/jour). Dans la semaine qui suit le début d'un stress hydrique,la baisse de croissance est déjà nettement perceptible (T5). Inversement, le retour de meilleurs conditions se traduit dans la semaine suivante par une forte remontée de la vitesse d'élongation (T5, T6, T1), parfois accentuée par un phénomène de "rattrapage" que nous attribuons en partie à une augmentation de la taille des nouvelles gaines. Remarquons que ce phénomène fonctionne également en sens inverse sous forme d'une réduction de la taille des gaines se formant au début d'une période de stress hydrique, ce qui accentue la baisse de l'élongation (voir aussi au chapitre 3.4.1).

A l'échelle de la semaine, la réaction à une rapide variation des conditions hydriques, dans un sens favorable ou défavorable, est donc nettement perçue par des mesures classiques d'élongation au dernier ochréa visible. Des mesures plus précises - au mm et à l'heure près -, réalisées dans le cadre d'une autre étude, ont montré que la réaction est perceptible à l'échelle de la journée à condition toutefois d'avoir un témoin bien irrigué pour référence. Les mesures bi-hebdomadaires faites durant plusieurs semaines sur T4 et T5 n'ont par contre pas pu être exploitées de façon satisfaisante car trop imprécises par rapport aux écarts de croissance que l'on cherche à détecter. Nous pensons néanmoins que des mesures d'élongation faites avec une plus grande précision (repère placé sur la tige, notation de l'heure) peuvent fournir des indications très claires sur un pas de temps de 3 jours et donc permettre de détecter une dégradation (déjà sensible) de l'alimentation hydrique

En dehors des situations très tranchées, l'interprétation des vitesses et variations de vitesses d'élongation n'est pas toujours aisée si l'on ne dispose pas d'une valeur de référence mesurée sur une culture bien irriguée (toutes conditions égales par ailleurs); de faibles écarts de croissance (2 à 3 mm/j) peuvent en effet dépendre de facteurs autres que l'alimentation hydrique tels que les variations dues à la mesure ou les conditions climatiques(ensoleillement, température, etc...). L'établissement d'un modèle agrométéorologique de croissance serait en ce sens fort utile.

Pour la période précédant la phase de cannaison (soit entre 2 et 4 mois suivant la date de coupe, les mesures de hauteur au dernier ochréa visible ont probablement moins d'intérêt pour juger des conditions hydriques sur le court terme ; la question mériterait néanmoins d'être étudiée.

3.3.2 - TENEUR EN EAU DES GAINES ET DES ENTRE-NOEUDS

Les mesures réalisées souffrent de fluctuations importantes d'une semaine sur l'autre, dues probablement au nombre insuffisant de tiges de nos échantillons (5, il aurait fallu au minimum 10). Il apparaît néanmoins, à l'examen des situations les plus tranchées, que le temps de réaction des teneurs en eau aux variations de conditions hydriques est long, surtout pour les gaines, et que la valeur d'un jour ne réflète pas toujours les conditions hydriques du moment.

Deux semaines après le début d'un stress hydrique (T5, T6), la baisse de teneur en eau est encore faible au niveau des gaines 4 à 6 (elle n'atteindra son maximum qu'au bout d'un mois), alors que pour les entre-noeuds 3 à 5, elle est déjà nette. Cette différence de sensibilité est à rapprocher du fait que les entre-noeuds analysés sont des organes jeunes en pleine croissance, alors que les gaines sont des organes plus âgés ayant fini de grandir depuis 2 à 4 semaines (à un moment où la situation hydrique était différente).

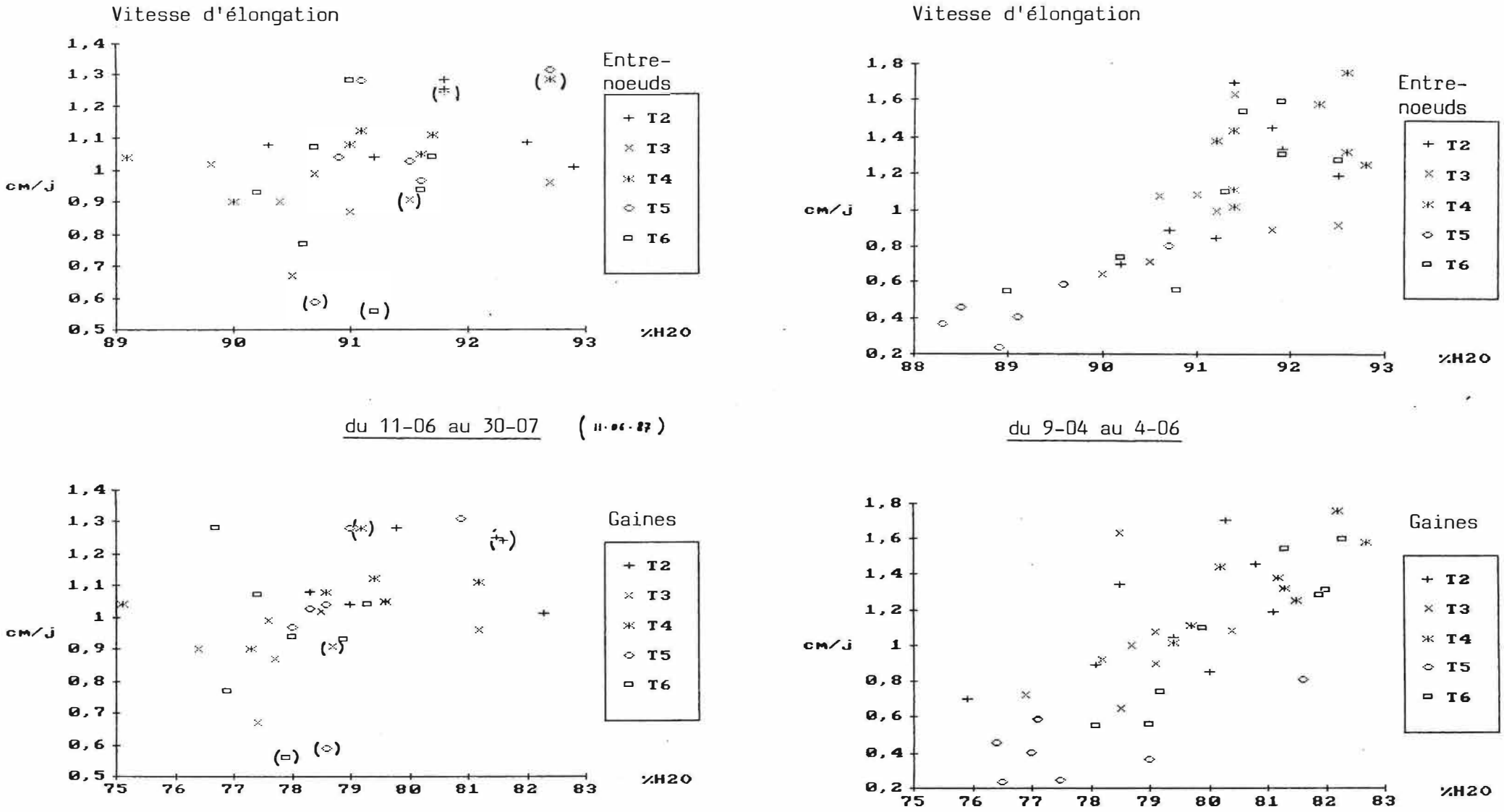


Planche 3 : VITESSE D'ELONGATION EN FONCTION DE LA TENEUR EN EAU DES ENTRE-NOEUDS (3, 4, 5) ET DES GAINES (4, 5, 6).

[Teneurs en eau mesurées dans les derniers jours de la période (1 semaine environ) considérée pour l'élongation

A partir de la fin mai, on note une tendance plus ou moins nette à l'augmentation des teneurs en eau (T1, T2, T5) si bien que le 11-06 - premier jour d'une période durable de bonnes conditions hydriques - il n'y a déjà plus de très basses valeurs d'humidité. Bien qu'insuffisantes, les pluies de mai ont conduit au rétablissement des teneurs en eau des nouveaux organes formés. Il précède ou coïncide (d'où une certaine ambiguité) avec le retour de conditions hydriques favorables, mais précède également (T1, T5, T6) le retour à des croissances normales qui ne se produit qu'après le 11-06.

Les graphiques de la planche 3 tentent de faire le lien entre vitesse de croissance et teneur en eau des gaines et des entre-noeuds. Pour la période allant de début avril jusqu''au 04-06, on observe qu'aux faibles humidités (mesurées surtout sur T5) correspondent bien de faibles vitesses de croissance et inversement. La relation est toutefois peu précise surtout en dehors de très basses valeurs qui correspondent à des situations de stress hydrique très prononcé. le 11-06, on peut noter des vitesses d'élongation très différentes (0,55 à 1,3 cm/j) pour des écarts d'humidités faibles (1 %). A partir de la mi-juin les vitesses d'élongation s'uniformisent, en liaison avec l'amélioration de la pluviométrie, mais les teneurs en eau montrent encore des fluctuations et des variations importantes d'un traitement à l'autre, sans rapport avec les vitesses d'élongation.
Notons en outre que la teneur en eau des gaines tend à diminuer avec l'âge de la culture (fig 2.1) et qu'elle est sensible aux conditions d'alimentation minérale.

Si l'on exclue les situations de stress hydrique extrême (pour lesquels il n'est point besoin de faire des mesures !), la mesure de la teneur en eau des entre-noeuds et encore moins celle des gaines, ne paraissent donc pas être des méthodes appropriées pour juger des conditions d'alimentation hydrique et de croissance du moment. Les analyses portent sur des échantillons prélevés au lever du jour ; des prélèvements en fin de journée permettraient peut-être de mieux discerner l'importance du stress hydrique subi par la culture durant le jour.

3.3.3 - ROSEE ET FLETRISSEMENT

- Rosée

Les suivis au jour le jour sur les 6 traitements montrent qu'il existe le plus souvent une étroite relation entre l'abondance de la rosée matinale et le taux de satisfaction des besoins en eau :

rosée abondante	(notée 3 ou 2)	: taux $>$ 60 %
rosée peu abondante	(notée 1)	: 60 % $>$ taux $>$ 30 %
absence de rosée		: taux $<$ 30 %

Cette échelle n'est qu'indicative, la relation n'étant pas toujours vérifiée, aussi, pour la conduite des irrigations, l'analyse de l'évolution de la rosée au cours des jours précédents permet de mieux situer les conditions d'alimentation hydrique que l'examen de la seule valeur du jour. Après une période de rosée abondante, la baisse (2 $\longrightarrow$ 1) confirmée sur 2 jours traduit un début de déficit hydrique alors que l'arrêt de la rosée durant 2 jours consécutifs indique un manque d'eau important et le début d'un stress hydrique déjà bien marqué.

Notons que si une rosée abondante est le signe que la culture a à la disposition d'une partie de son système racinaire de l'eau facilement utilisable, elle ne renseigne pas véritablement sur l'importance du stock d'eau disponible dans le sol. Ainsi, après une petite pluie sur un sol sec, la rosée peut se manifester durant 1, 2 ou 3 jours.

En saison des pluies, les faibles précipitations nocturnes sont gênantes dans la mesure où elle empêche de noter l'exsudation véritable, sans pour autant améliorer les conditions d'alimentation en eau de la culture. On observe également que le phénomène se produit de façon moins nette qu'en saison sèche où les gouttelettes apparaissent sur les feuilles dès la tombée de la nuit.

- Flétrissement

En règle générale, l'apparition puis l'intensification du flétrissement de la végétation en milieu de journée se fait parallèlement à la baisse du taux de satisfaction des besoins en eau, mais il n'existe pas toujours une bonne correspondance entre la note attribuée et la valeur du taux de satisfaction, surtout pour les valeurs intermédiaires (notes 1 et 2). Ceci peut s'expliquer par le fait que la notation est ponctuelle dans le temps ; elle réflète donc plutôt la situation du moment et ne représente pas toujours la situation moyenne à l'échelle de la journée. D'autre part l'appréciation de l'intensité du flétrissement est assez délicate en dehors des cas extrêmes (absence totale, très forte intensité).

Comme pour la rosée, l'analyse de l'évolution du phénomène sur plusieurs jours permet de mieux juger les conditions d'alimentation hydrique de la culture et le besoin d'arrosage. L'apparition du flétrissement, confirmée sur 2 jours, indique une alimentation hydrique déficitaire (du moins à la mi-journée) alors que l'accentuation du phénomène (note 2) traduit déjà un assèchement important du sol et un stress hydrique marqué.

Ces observations au niveau du feuillage peuvent donc avoir un réel intérêt pratique pour la conduite des arrosages car elles permettent de détecter assez tôt le moment où la culture commence à souffrir de manque d'eau. En pratique les observations sont simples à réaliser mais nécessitent une certaine habitude pour juger valablement de l'intensité des phénomènes. Elles doivent pouvoir se faire assez tôt en repousse, avant même la phase de cannaison. L'observation d'un jour pouvant être biaisée pour plusieurs raisons (petite pluie, passage nuageux), il faut que tout changement d'intensité soit confirmé sur 2 jours consécutifs. C'est d'ailleurs l'analyse de l'évolution au cours des derniers jours qui permet de mieux juger la situation hydrique du moment. L'association des deux méthodes et l'analyse simultanée des 2 séries d'observations au travers d'une grille telle que celle présentée ci-après doit également permettre d'affiner et de conforter le jugement.

Rosée	Flétrissement	Situation hydrique
3,2	0	Bonne
2	1	Léger déficit (à la mi-journée), mais encore satisfaisant
1	1	Déficit sensible (taux de satisfaction < 60 %)
1 0	2 1	Déficit important (réserve facilement utilisable épuisée)
2	2,3	Sol sec, stress hydrique intense

Ces deux méthodes de suivi qui exploitent les variations du comportement de la plante en fonction de sa situation hydrique, sont essentiellement qualitatives et n'apportent donc pas de données directement utiles pour l'établissement du bilan hydrique.

3.3.4 - HUMIDITE DU SOL

En remarques préliminaires, nous avions écarté toute utilisation quantitative des mesures neutroniques et tensiométriques, jugeant que les quelques mesures ponctuelles réalisées ne permettaient ni d'évaluer les flux d'eau moyens au niveau d'un traitement (manque de représentativité d'un site dû en particulier au manque d'uniformité de l'irrigation par aspersion), ni même d'esquisser un bilan hydrique localement au niveau du site de mesure (imprécision sur la dose d'arrosage, répartition très hétérogène de l'eau dans le sol résultant de la redistribution de la pluviométrie par le feuillage qui provoque des infiltrations préférentielles au niveau des touffes de canne). Dans ce chapître, nous essayerons simplement de voir l'intérêt de ces mesures pour la conduite des arrosages, mais aussi les difficultés de leur interprétation.

- Profondeur de mesure

On peut constater (T5,T6) que le dessèchement des niveaux profonds (> 1 m) se fait avec un certain retard sur celui des horizons de surface et de façon beaucoup plus lente. Il intervient parce que la partie supérieure du sol, qui est le lieu de prélèvement préférentiel du système racinaire, est déjà asséchée et à un moment où la culture commence déjà à souffrir de manque d'eau. Les variations d'humidité détectées en profondeur seront donc trop tardives pour une conduite des arrosages visant à éviter tout stress hydrique important.
Par ailleurs, la culture peut très bien vivre avec un sol sec en profondeur (T4,T3 en mai, juin), il n'est donc pas nécessaire d'y maintenir en permanence une forte humidité.
Les mesures en profondeur ne permettent donc qu'un suivi à moyen terme dont l'intérêt est de contrôler à postériori si les apports ont été globalement déficitaires (en partant d'un sous-sol initialement humide) ou excédentaires (en partant d'un sous-sol au moins partiellement assèché).

En surface, les variations d'humidité sont beaucoup plus rapides puisqu'elles se font au rythme de l'évolution des conditions d'alimentation hydrique de la culture et peuvent donc servir pour un pilotage fin des irrigations. Les mesures à faible profondeur (20 ou 40 cm) paraissent les plus intéressantes car c'est là que les variations d'humidité sont le mieux perçues.

- Positionnement par rapport à la ligne de canne

L'infiltration préférentielle de la pluviométrie au niveau de la ligne de canne donne une très grande importance à cette question. Nous avons vu comment le sol pouvait rester sec à 40 cm de profondeur, et parfois même 20 cm, en bordure de la ligne de canne après des irrigations de 40 mm. L'arrosage par aspersion s'apparente alors plus à une irrigation localisée (!) dans la mesure ou une part importante des apports (y compris pour les pluies) s'infiltre au niveau du rang de canne. Ceci soulève d'ailleurs de nombreuses questions concernant la détermination des doses d'arrosage en liaison avec la notion de réserve utile et les problèmes de percolation.

Le positionnement du point de mesure en bordure du rang de canne parait être la plus mauvaise solution ; un sol relativement sec à ce niveau ne signifiant pas obligatoirement que la culture manque d'eau. Par ailleurs, en cherchant à maintenir une forte humidité du sol à ce niveau, on risque de devoir sur-arroser et de provoquer des pertes par percolation au niveau du rang de canne.

L'emplacement le plus approprié pour le suivi de l'humidité du sol semble donc bien être la ligne de canne du moins dans le cas de notre parcelle cultivée à plat (pour une culture sur billon, ce peut être très différent).

- Interprétation des mesures

Les tensiomètres donnent immédiatement des valeurs ayant une signification en terme de disponibilité en eau, il est néanmoins nécessaire d'établir une grille d'interprétation pour la conduite des irrigations et en particulier de déterminer à partir de quel seuil il convient d'arroser.
Les suivis tensiométriques effectués sur 3 traitements, en bordure de la ligne de canne, n'apportent pas de réponse précise à cette question.

Pour les mesures neutroniques, il faut au niveau de chaque tube réaliser un étalonnage pour l'interprétation des valeurs de comptage. Ici également se pose le problème de déterminer (par quelle méthode ?) un seuil à partir duquel il convient d'arroser. Comme il est aisé avec une soude de faire des mesures à différentes profondeurs, ce seuil pourrait se rapporter à un cumul des valeurs de comptage sur la partie du sol préférentiellement exploitée par les racines.

Les suivis d'humidité du sol (tensiométriques ou neutroniques) réalisés dans le cadre de cet essai ont donc soulevé plus de problèmes qu'ils n'ont apporté de solution et il nous parait prématuré de vouloir les utiliser (les tensiomètres en particulier qui sont d'un maniement aisé) pour piloter les irrigations des parcelles industrielles.

3.3.5 - BILAN HYDRIQUE SIMULE

- Taux de satisfaction des besoins en eau

Nous avons déjà vu qu'il existait sur le plan qualitatif une bonne correspondance entre les variations du taux de satisfaction calculé et les mesures de croissance ou les observations sur le feuillage. Les graphiques de la planche 4 montrent que dans les grandes lignes il existe aussi sur le plan quantitatif une bonne corrélation entre ce taux de satisfaction et le taux de croissance établi pour les différents traitements en prenant comme référence le traitement le mieux arrosé (T4).
Il existe toutefois quelques écarts dont les plus remarquables sont :

- un "pic" de croissance après une période de sécheresse (T1,T5,T6). C'est le phénomène de "rattrapage" déjà évoqué (augmentation de la longueur des gaines foliaires).
- un décalage plus ou moins sensible à l'apparition d'un stress hydrique (T5, T6 surtout). La sous-estimation de la réserve utile considérée pour la simulation pourrait expliquer le fait que la vitesse de croissance chute moins vite que le taux de satisfaction ; la culture parvenant alors à utiliser les réserves profondes du sol au-delà des 80 mm pris en compte dans notre calcul.
- pour T2, en mai et juin, la croissance est élevée (souvent supérieure à T4). Il n'est pas exclu qu'il ait bénéficié d'un arrosage supplémentaire fin mai, non comptabilisé dans le bilan hydrique, puisque des erreurs dans l'application des calendriers d'arrosage de T2 et T3 ont eu lieu à cette époque.
  Ce traitement a aussi bénéficié d'une meilleure alimentation minérale (cf chapitre 25). Pour T3, c'est le contraire, ce qui pourrait expliquer la faible croissance observée à partir de la fin juin.

- notons enfin que les valeurs représentées correspondant à des périodes de temps différentes (10 jours pour le taux de satisfaction, 1 semaine environ pour la croissance), ce qui peut également induire quelques décalages.

La mise en évidence d'une relation étroite entre le taux de satisfaction des besoins en eau et le taux de croissance en période de cannaison constituerait un progrès important à la fois pour tout ce qui à trait à l'élaboration du rendement (et en particulier sa prévision) et à la valorisation de l'eau (bilan hydrique ⟶ croissance), mais également, en sens inverse, pour le diagnostic hydrique et la détermination des besoins en eau (taux de croissance ⟶ situation hydrique). La recherche d'une telle relation dont l'existence se dessine au travers des résultats de cette étude, nécessitera une expérimentation fine avec en particulier des mesures d'élongation journalières.

- Besoins en eau

La bonne correspondance entre le taux de satisfaction calculé et les mesures de croissance ou les observations sur le feuillage ne permet nullement de dire que la simulation est juste et les principaux termes du bilan (ETR, drainage) correctement évalués ; c'est toutefois un indice favorable.

Les mesures d'humidité du sol ne permettement pas de quantifier avec précision ces différents termes du bilan réel, mais fournissent quelques indications :

- en février et mars surtout, on note un assèchement plus ou moins accentué du sol pour les 3 traitements (6 tubes de sonde) irrigués chaque semaine (T4,T5,T6). Le bilan hydrique simulé indique que les apports ont été déficitaires de l'ordre de 60 mm au total sur les 2 mois, ce qui s'accorde bien avec la baisse du stock d'eau du sol et permet de penser que les besoins maximaux de la culture -bien que très élevés : 240 mm en mars- ne sont pas sur-estimés.

- en condition de sous-irrigation, la culture prélève de l'eau dans les horizons profonds (jusqu'à 1,4 ou 1,6 m), donc bien au-délà de la réserve en eau de 80 mm prise en compte pour la simulation. L'assèchement des horizons profonds se fait lentement et représente donc de faibles flux (1 à 2 mm/j) au regard des besoins journaliers (7 à 8 mm/j).

Il faut reconnaître que la modélisation des relations eau-sol-plante adoptée dans notre programme de simulation du bilan hydrique correspond assez mal à cette situation qui combine une réserve en eau facilement utilisable en surface et une réserve de profondeur plus difficilement mobilisable, utilisée en cas sous-irrigation.

Figure 5.1 : HAUTEUR DES TIGES EN FONCTION DE LA SOMME DES TEMPERATURES MOYENNES -12°C pour le traitement T4

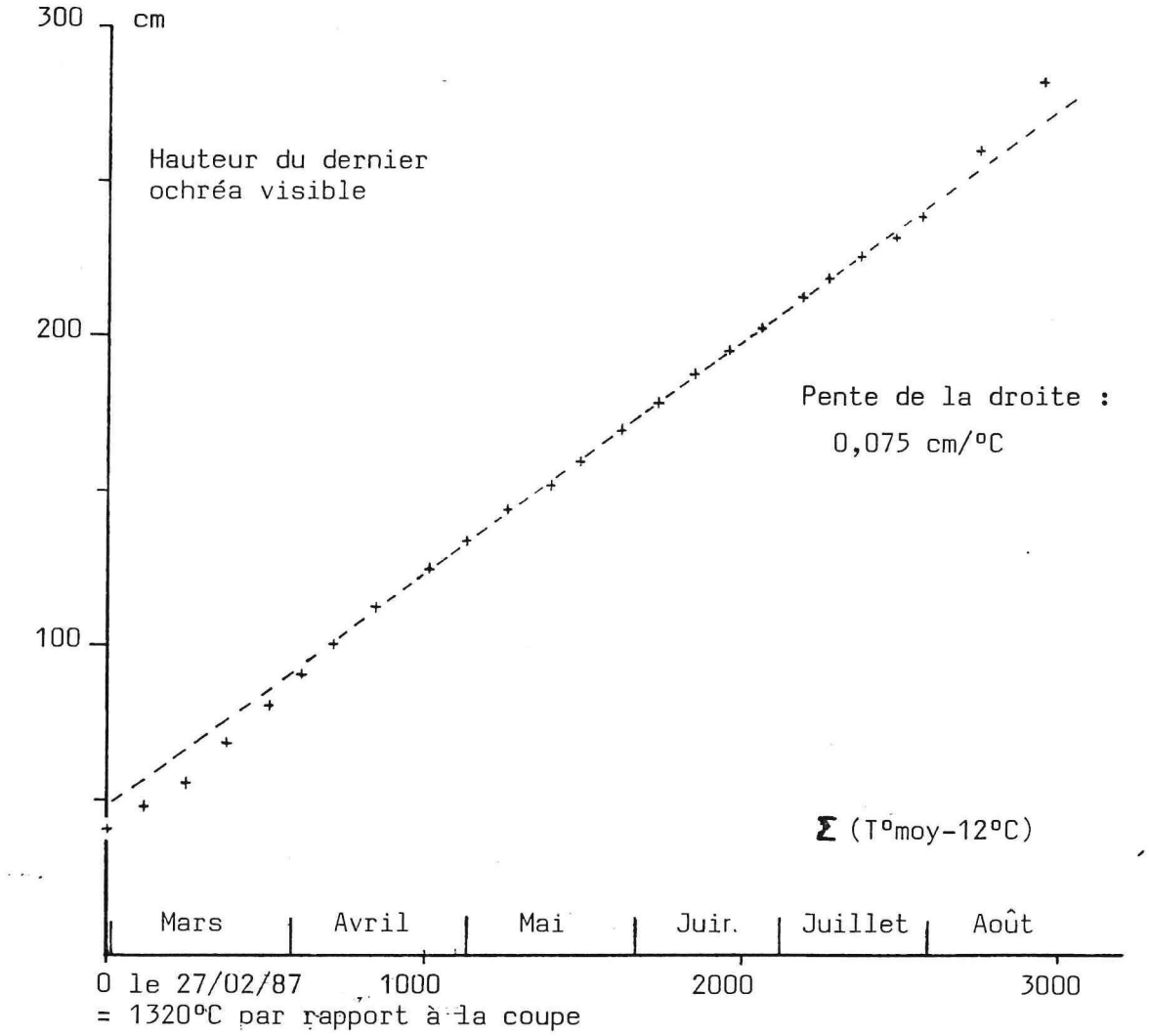
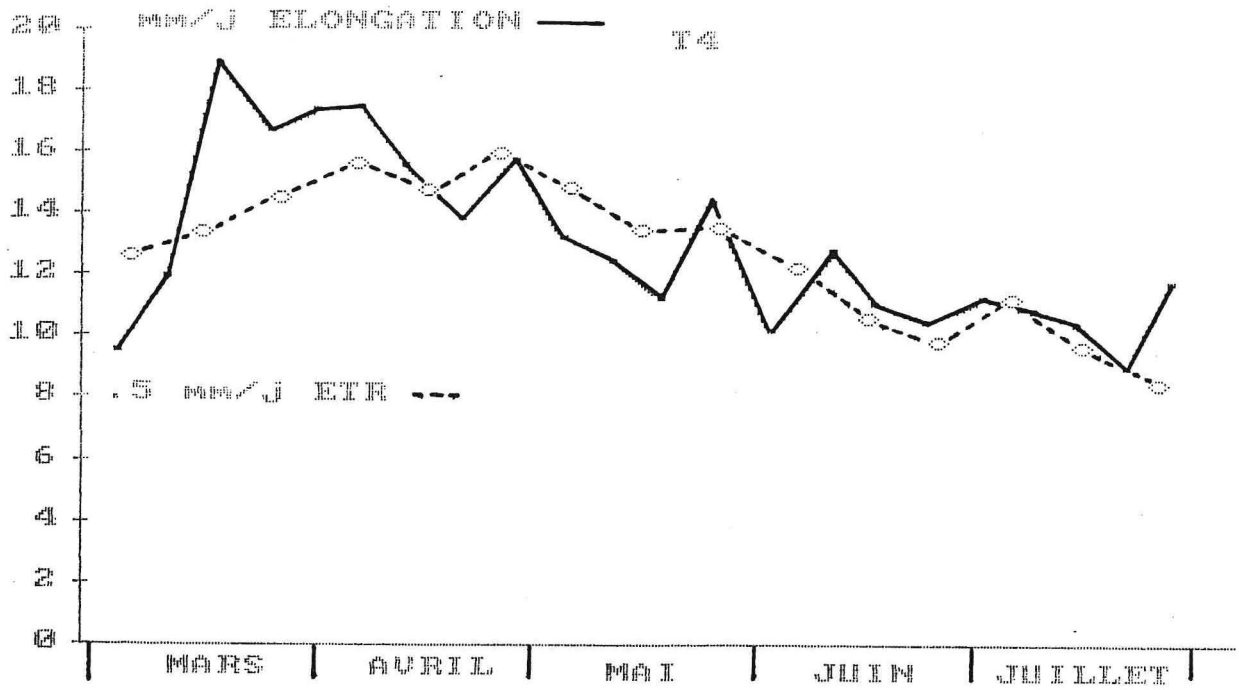


Figure 5.2 : VITESSE D'ELONGATION ET EVAPOTRANSPIRATION REELLE (ETR calculée par simulation) pour le traitement T4.



3.4 - CROISSANCE DES TIGES , RENDEMENT

3.4.1 - VITESSE D'ELONGATION ET CONDITIONS CLIMATIQUES

La baisse des températures moyennes s'accompagne d'une réduction de la vitesse de croissance des tiges. On constate en effet (fig 5.1) que la hauteur des tiges mesurées sur T4, évolue de façon parallèle à la somme des températures moyenne - 12°C, d'avril à juillet. Les mesures d'août, réalisées par un personnel différent, apparaissent décalées et sont probablement erronnées. En mars, au début de la phase d'élongation, la croissance est plus rapide. L'écart pourrait être en partie dû à l'accroissement de la longueur des gaines foliaires qui se surajoute à l'élongation des tiges au sens strict. Toutefois la taille des gaines paraissait presque stabilisée dès la mi-mars.

N° de la gaine *	0	1	2	3	4	5	6
Longueur en cm	25,1	29,8	31,2	33,6	34,1	33,8	34,9

(* N°1 = gaine portée par le premier noeud hors du sol)

On observe que vitesse d'élongation et évapotranspiration réelle évoluent également -sauf en mars- de façon parallèle (fig 5.2) dans un ratio constant proche de 2 (soit 2 mm de croissance pour 1 mm d'ETR).
La diminution régulière de la vitesse d'élongation d'une canne bien irriguée entre la saison sèche chaude (mars,avril) et la pleine saison des pluies (août), apparait donc bien correllée avec les paramètres reflètant la composante énergétique du climat (mais va aussi de pair avec la vieillissement).

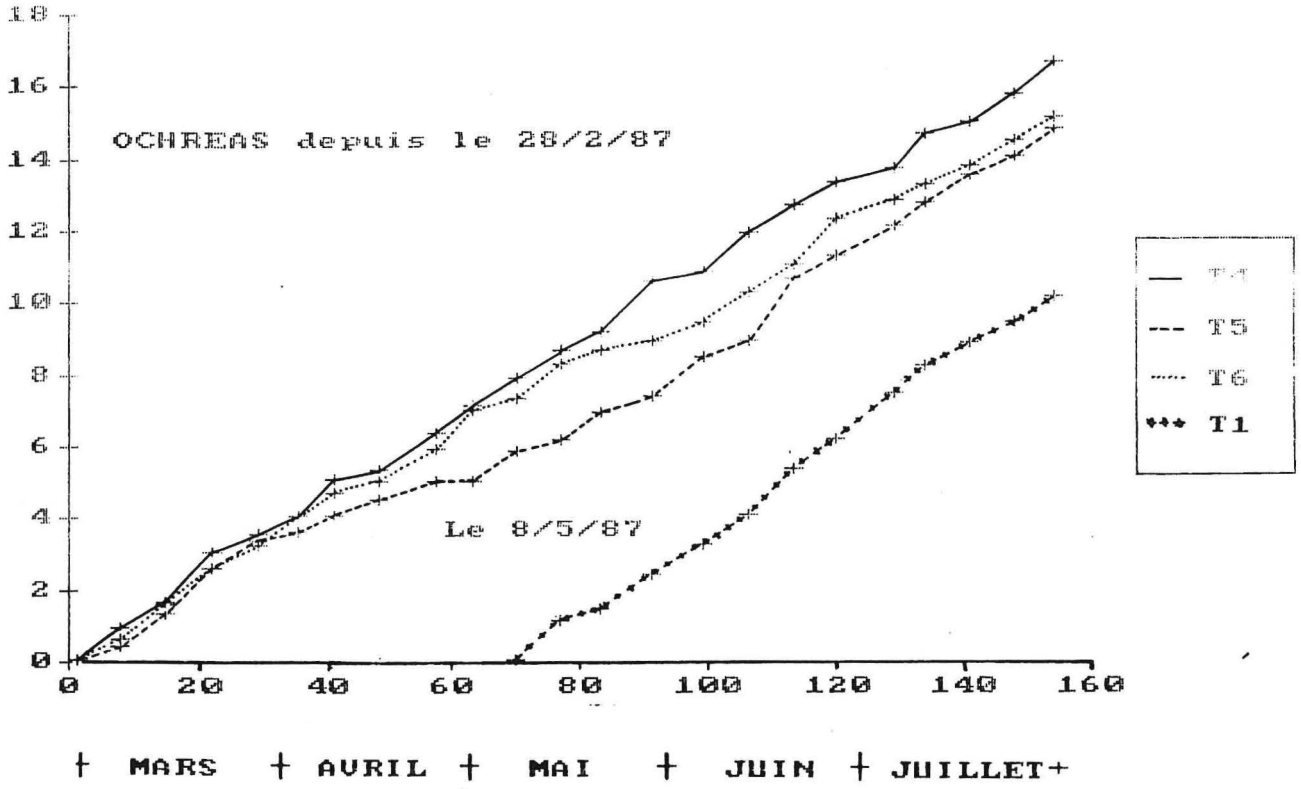
3.4.2 - RYTHME D'APPARITION DES OCHREAS

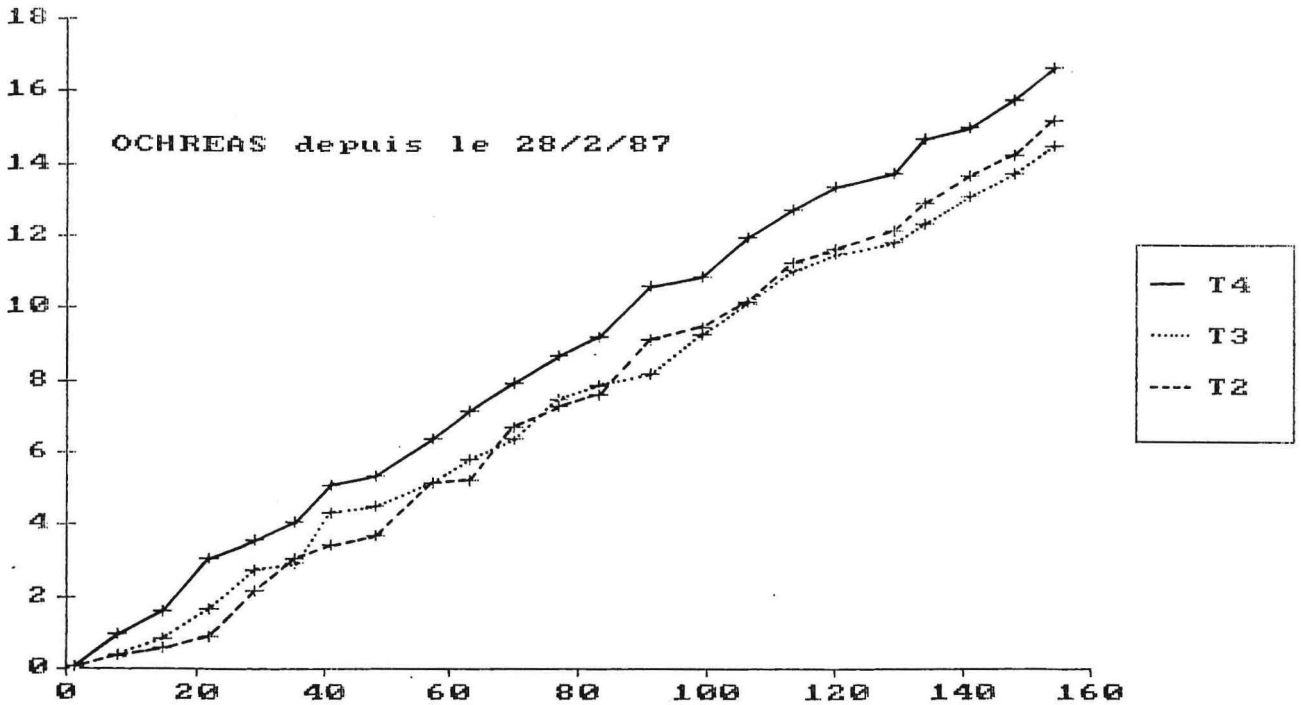
Vu sur le long terme (fig 6.1), le rythme d'apparition de nouveaux ochréas sur T4 est très proche de 3 par mois et pratiquement constant au fil du temps, avec toutefois une très légère tendance à la baisse entre mars et juin. Il apparait donc peu sensible aux variations de la composante énergétique du climat.

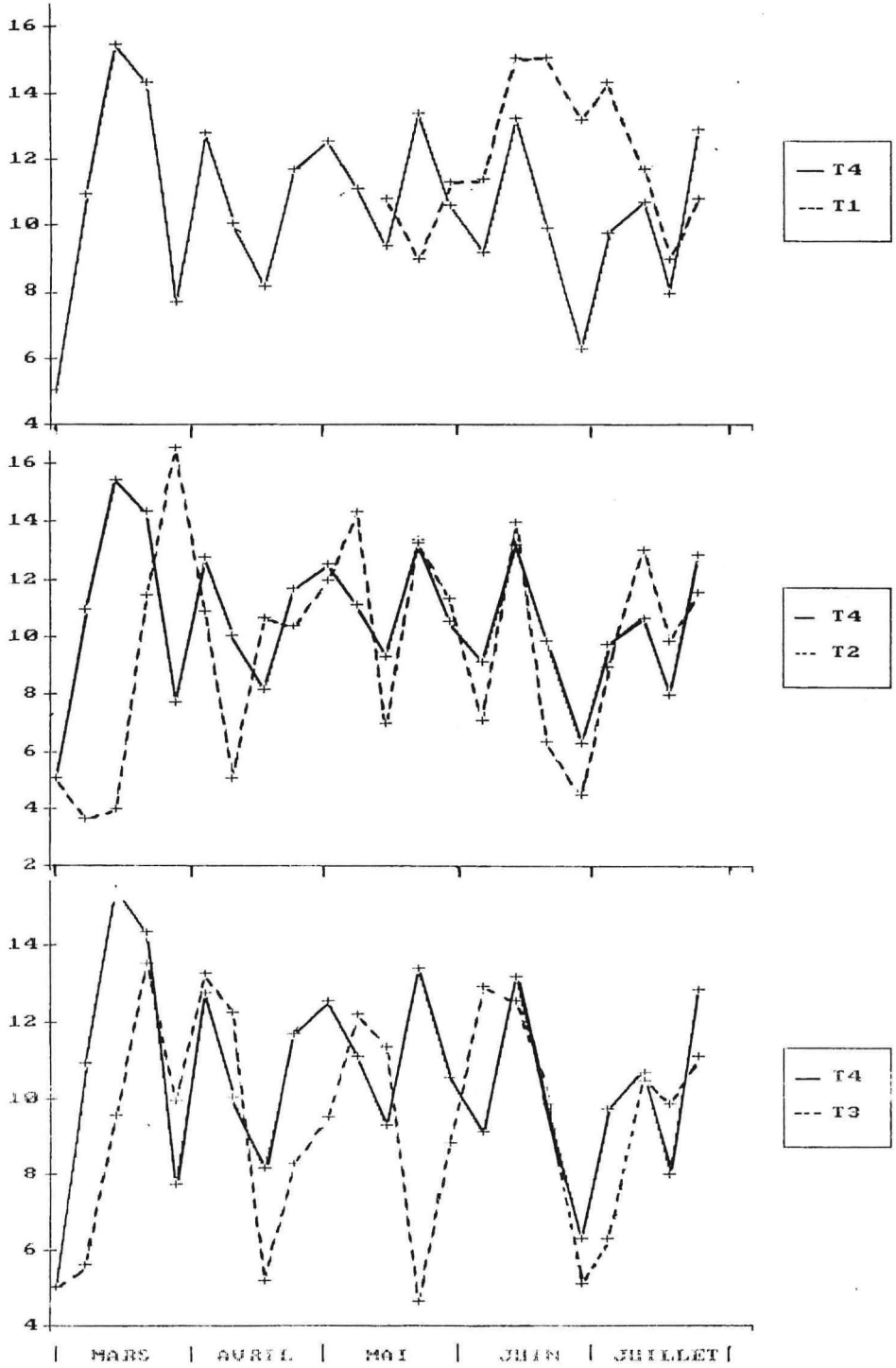
A l'échelle de la semaine, il est au contraire très chaotique, du moins perçu au travers de comptages hebdomadaires sur 20 tiges par traitement. L'établissement de moyennes coulissantes sur 2 semaines n'atténue que légèrement ces fluctuations (fig 6.2). On perçoit néanmoins nettement l'impact des stress hydriques: en cas de déficit prolongé, le rythme d'apparition de nouveaux ochréas baisse considérablement (T5,T6), tandis qu'au retour de conditions hydriques favorables, il s'accélère de façon importante ("rattrapage" T1, T5, T6). Au total, pour tous les traitements ayant connu des périodes de déficit hydrique, le nombre d'ochréas émis à la fin juillet est inférieur -de 1 à 2 (fig 6.1) à celui de T4. Les stress hydriques provoquent donc bien une réduction persistante du nombre de feuilles et d'entre-noeuds formés.

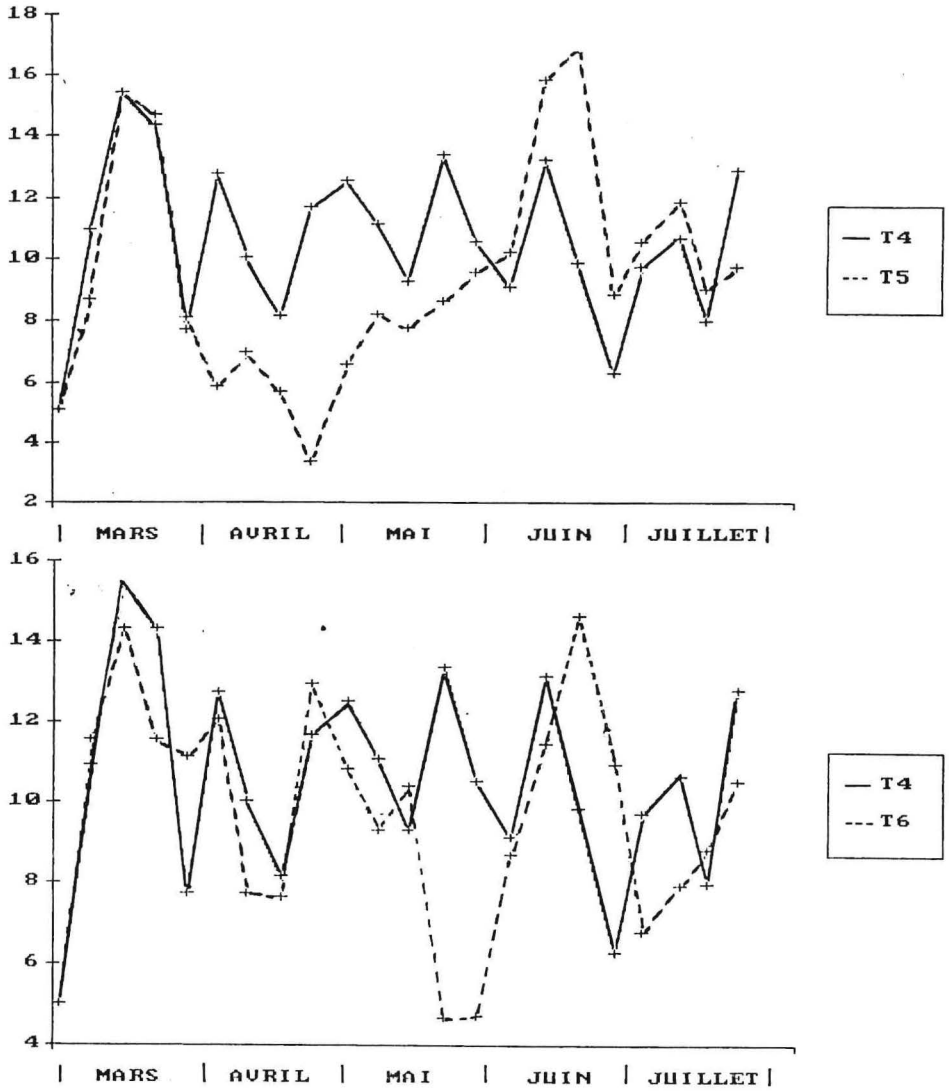
A court terme, les variations de la taille des gaines peut accentuer en apparence considérablement le phénomène. En début de stress hydrique, la taille de la dernière gaine formée est moindre et l'entre-noeud qui la porte s'allonge moins vite ; son ochréa reste donc caché plus longtemps dans la gaine plus âgée. Au retour de conditions favorables, le phénomène inverse se produit, il n'est pas alors rare de comptabiliser 3 nouveaux ochréas dans la même semaine.

Figures 6.1 : RYTHME D'APPARITION DES OCHREAS









NOUVEAUX OCHREAS par jour pour 100 tiges
(moyenne glissante sur 2 semaines)

Planche 6.2

Bien que sensible aux stress hydriques, le rythme d'apparition des ochréas ne présente pas grand intérêt pour un diagnostic hydrique sur le court terme du fait de ces importantes fluctuations.

3.4.3 - CARACTERISTIQUES DES TIGES A LA RECOLTE

- Taille des entre-noeuds : Figure 7.1

La moyenne par traitement a été établie en prenant pour référence le premier entre-noeud entier hors du sol. A l'intérieur d'un même traitement tous les entre-noeuds 10 ne se sont donc pas formés exactement à la même date et dans les mêmes conditions hydriques. Il en est de même entre 2 traitements différents ; ainsi les entre-noeuds 10 des traitements mal irrigués au départ (T1,T2,T3) sont-ils formés plus tard que ceux du traitement T4 ; ceci pouvant expliquer certaines différences de taille (l'écart pouvant correspondre à 2 entre-noeuds (T2,T3) ou plus (T1)).

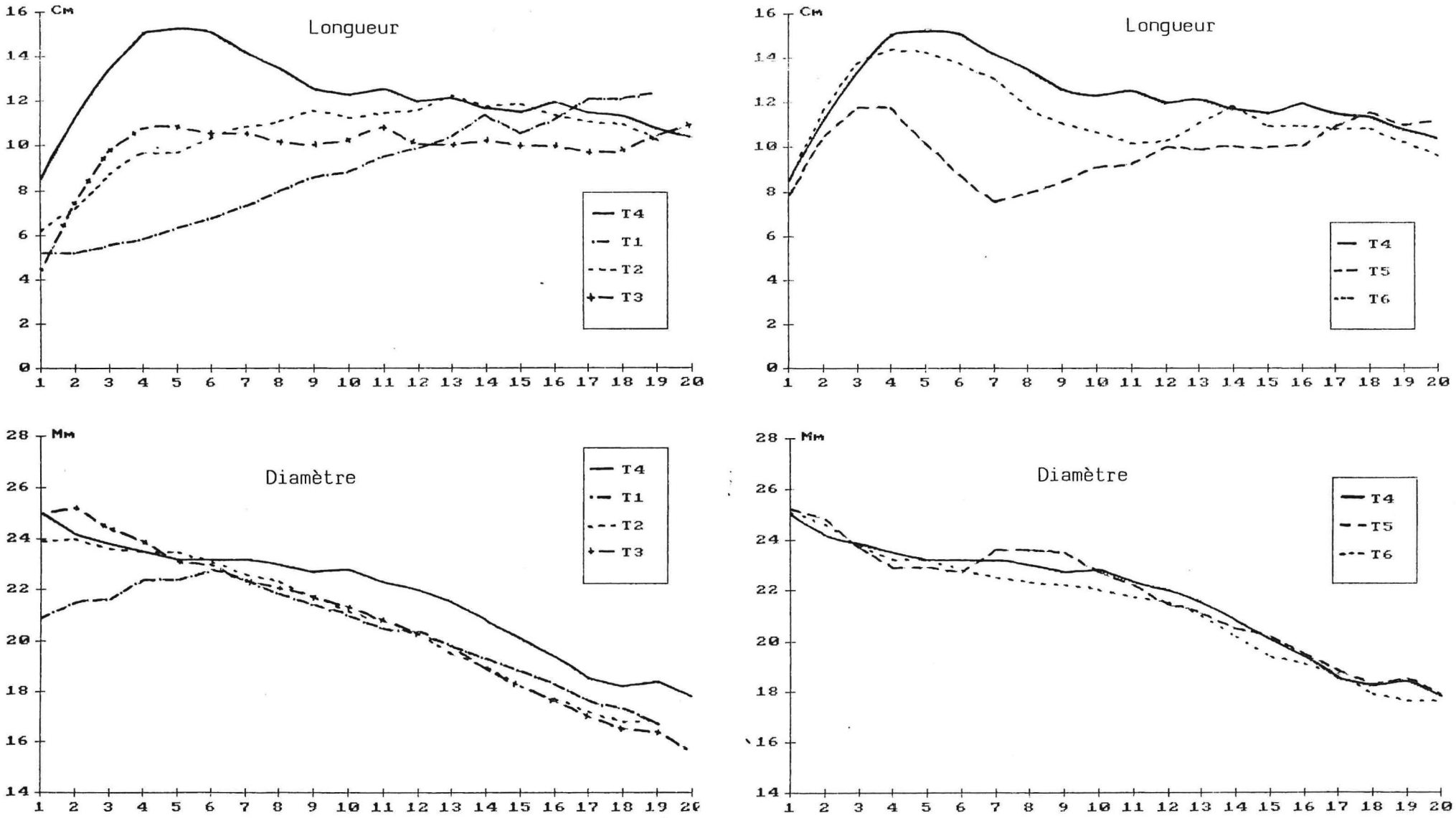
La réduction de la longueur des entre-noeuds formés en période de déficit hydrique apparait néanmoins très nettement (T5,T1,T2,T3). Au niveau du diamètre, l'impact est moins important et parfois inverse. Ainsi, sur T5, on note qu'après un léger amincissement en début de stress, le diamètre devient légèrement supérieur à celui des cannes bien irriguées.
L'amélioration de l'alimentation hydrique entraine un retour progressif (en liaison avec la récupération au niveau de la surface foliaire ?) et plus ou moins complet à des tailles normales.

On observe pour T4 que la longueur maximale des entre-noeuds est atteinte par les entre-noeuds 4 et 5, soit ceux formés en avril. Ensuite, la longueur baisse assez nettement, ce qui est à rapprocher de la baisse de la vitesse d'élongation et de la relative constance du rythme d'émission des feuilles. Pour les diamètres, la baisse commence dès les premiers entre-noeuds ; d'abord faible, elle s'accélère ensuite de façon sensible. Le rapport constant entre vitesse de croissance et ETR doit être nuancé par cette réduction du diamètre et plus encore par celle de volume et de poids qui en découle.

- Caractéristiques des tiges usinables

Les tiges suivies en élongation ont été sectionnées à un même niveau par rapport à la fleur (taux de floraison 80 %), au point d'attache de la feuille 8 (en comptant 1 le premier limbe (très réduit) juste en dessous de la fleur), ce qui correspondait bien à la séparation entre la partie usinable et la hampe florale. Les moyennes par traitements ont été établies à partir d'une quinzaine de tiges seulement et ne peuvent donc prétendre représenter valablement l'ensemble des tiges récoltées.

Figures 7.1 : LONGUEUR ET DIAMETRE DES ENTRE-NOEUDS
DES TIGES USINABLES (n°1 = bas de la tige , 19 ou 20 = sommet)



CARACTERISTIQUES		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Longueur des tiges usinables	cm	171	199	200	248	199	228
Volume des tiges usinables	cm3	535	670	670	935	725	839
Nombre d'entre-noeuds		19,4	18,9	20,2	20,1	20,0	19,8
Volume moyen des E.N.	cm3	27,6	35,5	33,1	46,5	36,3	42,4
Diamètre moyen des tiges	mm	20,0	20,7	20,7	21,9	21,6	21,7
Poids des tiges	g	578	741	726	1033	790	912
Poids au ml	g/m	338	373	363	416	398	400
Densité		1,08	1,10	1,08	1,10	1,09	1,09

BILAN HYDRIQUE

ETR (du 1-02 au 30-09)	mm	613	921	1010	1312	922	1174
Irrigation cycle	mm	123	453	568	975	488	741

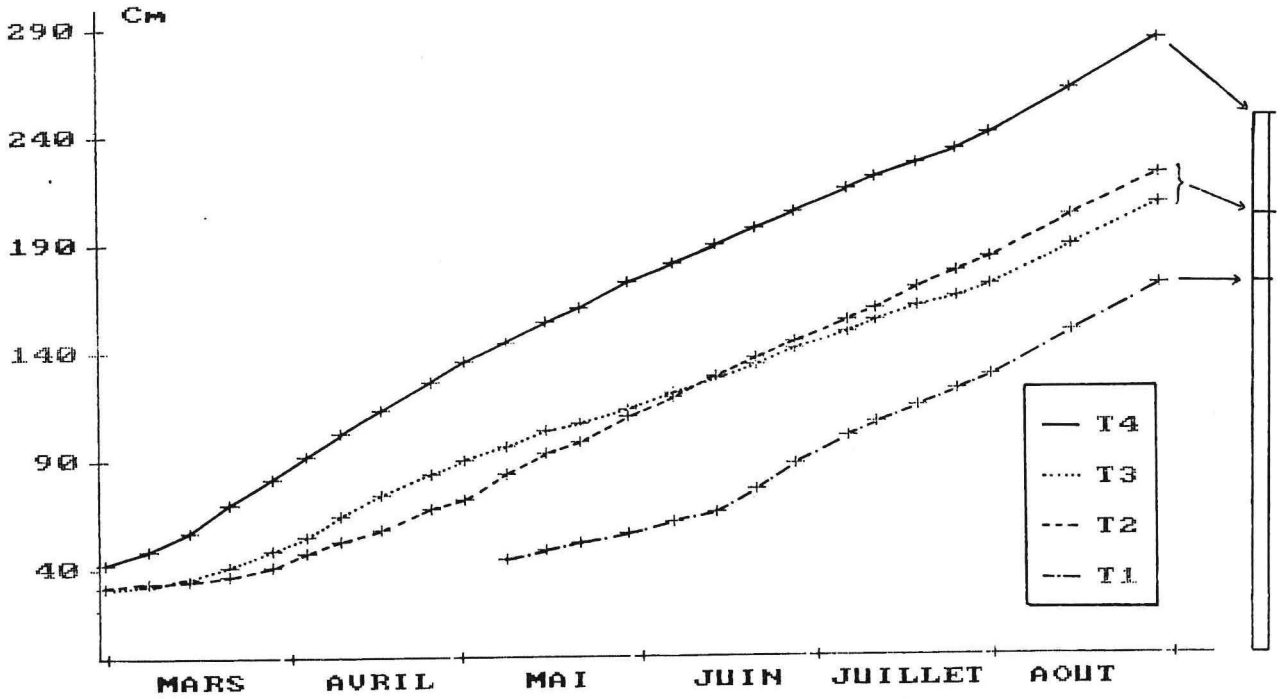
Pour ce qui est des caractéristiques de longueur, de volume et de poids, la hiérarchisation est conforme à l'importance de l'ETR, à l'exception de T3 qui accuse un mauvais développement. Les ratios que l'on peut établir sont toutefois très fluctuants, en faveur de T1 ou T5 et en défaveur de T3.
Les tiges des traitements mal irrigués en début de période de cannaison (T1, T2, T3) ont des diamètres sensiblement réduits, ce qui entraine des poids au mètre linéaire plus faibles.

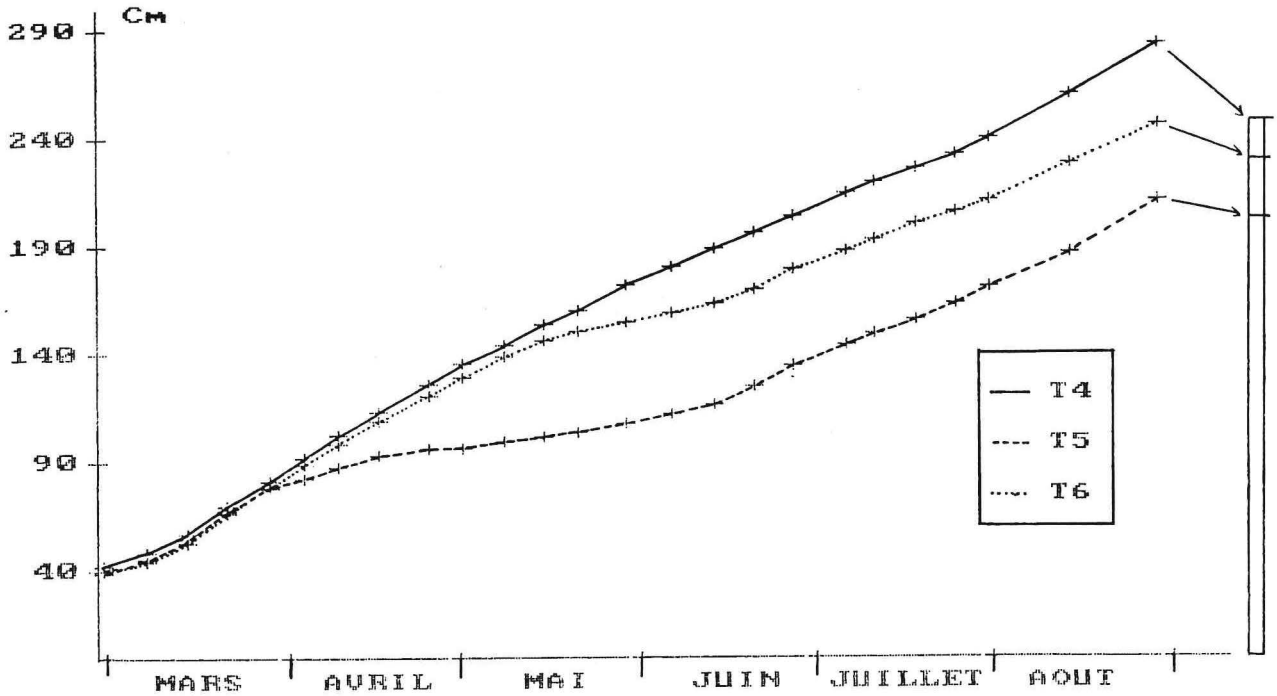
Concernant le nombre d'entre-noeuds, les écarts sont faibles et moins importants que ceux auxquels on pouvait s'attendre au regard du nombre d'ochréas totalisés à la fin juillet depuis le 28-02 pour les différents traitements :

T2 = 15,1 T3 = 14,4 T4 = 16,6 T5 = 14,7 T6 = 15,1

La comparaison des hauteurs du dernier ochréa visible à la fin août et de la longueur des tiges usinables (figure 7.2) permet également de penser que la production d'entre-noeuds usinables ("croissance utile") s'est prolongée plus tard (car elle ne parait pas avoir été plus rapide, vu les vitesses d'élongation et d'apparation des ochréas mesurées en juillet) sur les traitements ayant été sous irrigués -sur T1 en particulier- que sur le traitement T4 où la formation de la hampe florale aurait donc commencé plus tôt. Cela signifierait que des cannes ayant bénéficié de bonnes conditions hydriques dès le début de la cannaison valoriseraient moins bien la pluviométrie naturelle (arrêt de la formation de tige vers la fin août) que des cannes ayant démarrées plus tardivement ou dans de moins bonnes conditions.
Nos mesures sont trop imprécises pour l'affirmer ; il conviendrait donc de le vérifier par un protocole approprié.

Figures 7.2 : HAUTEUR DES TIGES EN VEGETATION
(au dernier ochréa visible)
ET A LA RECOLTE (tiges usinables)





Parmi les cannes récoltées sur T1, on dénombre en outre une grande proportion (43 % contre 16 % sur T4) de "hors cycle" caractérisées par :

- un faible nombre d'entre-noeuds (une douzaine), souvent de grande taille,
- l'absence de floraison (elles ont donc continué à s'allonger jusqu'en novembre),
- l'absence de trace de stress hydrique à la base (pas de petits entre-noeuds).

Ces cannes n'ont probablement commencées leur développement qu'avec l'arrivée des pluies abondantes en juin (pour compenser la défaillance des talles primaires survivants qui ne couvraient qu'imparfaitement le sol) et n'avaient donc à la récolte que 6 mois d'âge. Elles constituent une part importante du tonnage (ayant quelles qualités technologiques ?), malheureusement non mesurée.

3.4.4 - RENDEMENT

Les rendements mesurés sur 108 m2 pour chaque traitement sont, exprimés en TC/ha, les suivants :

T1 = 62,8 T2 = 74,4 T3 = 58,5 T4 = 78,3 T5 = 68,7 T6 = 77,6

L'essai ne comportait pas de répétition et n'avait pas pour finalité la comparaison des rendements ; il est néanmoins étonnant et inquiétant de trouver des résultats aussi peu en accord avec l'alimentation hydrique. Pour la période allant du 1-02 au 30-09, les taux de satisfaction des besoins en eau calculés s'établissent ainsi :

T1 = 42 % T2 = 64 % T3 = 70 % T4 = 91 % T5 = 64 % T6 = 81 %

Les rendements réels concordent un peu mieux avec le poids des tiges suivies en élongation pondérés par le nombre de tiges usinables récoltées, ce qui conduit aux rendements calculés suivants (TC/ha) :

T1 = 50 T2 = 66 T3 = 54 T4 = 92 T5 = 68 T6 = 82

mais ici encore le rendement mesuré sur T1 apparait particulièrement fort alors que celui de T4 est relativement bas.

Il serait hasardeux de vouloir expliquer ces discordances car les causes sont certainement multiples et variées. Elles peuvent avoir trait à des questions agronomiques (fertilisation insuffisante devenant facteur limitant, tallage,...) ou d'expérimentation (erreurs toujours possibles, représentativité des tiges mesurées), mais peuvent aussi résulter du comportement normal de la canne face aux conditions hydriques subies. Nous pensons en particulier au cas de T1 où la croissance utile semble s'être prolongée plus tard en saison des pluies et qui a connu une forte production de cannes "hors cycle" (apparamment plus lourdes que les cannes échantillonnées).

4. CONCLUSIONS

Cette étude a permis d'aborder de nombreux points touchant à l'appréciation de la situation hydrique d'une culture de canne à sucre, mais également certains aspects concernant la croissance des tiges en liaison avec les conditions hydriques et climatiques.

Bien qu'ils n'aient pas tous été obtenus dans les meilleures conditions (de fertilisation en particulier) et avec toute la précision souhaitable, les résultats présentés et analysés ci-dessus permettent néanmoins de dégager quelques enseignements concrets et conduisent aussi à formuler de nombreuses questions dont l'étude fine mériterait d'être entreprise.

APPRECIATION DE LA SITUATION HYDRIQUE

- Suivi de l'humidité du sol (tensiomètres, humidimètre à neutrons).

Ces mesures ponctuelles souffrent d'une mauvaise représentativité à l'échelle de la maille d'irrigation (manque d'uniformité des apports par aspersion) mais aussi à l'échelle même de la ligne de canne du fait d'une redistribution de la pluviométrie par la végétation au profit du rang de canne où l'eau s'infiltre préférentiellement.

L'emplacement le plus approprié pour de telles mesures paraît être le centre de la ligne de canne (pour une culture à plat) et à faible profondeur (20-40 cm). Là, les variations d'humidité sont rapides, importantes et réflètent le mieux les conditions d'alimentation en eau de la culture en période d'irrigation (contrairement aux mesures en profondeur par exemple).

Le recours exclusif à des mesures ponctuelles d'humidité du sol (par tensiomètre notamment) pour la conduite des irrigations apparaît risqué et en tout cas prématuré dans le cadre de la SODESUCRE.

- Teneur en eau des gaines foliaires et des entre-noeuds (prélevés au lever du jour)

Ces méthodes conviennent mal pour la conduite des arrosages car elles sont trop peu sensibles (délai de réponse long, surtout pour les gaines) et les valeurs sont souvent sans rapport évident avec les conditions hydriques et de croissance du moment.

- Rosée (exudation nocturne) et flétrissement à la mi-journée

L'intensité de ces phénomènes est en rapport étroit (au moins en saison sèche) avec la situation hydrique de la culture. Ainsi, l'absence de rosée matinale ou un flétrissement marqué à la mi-journée - confirmés sur 2 jours - traduisent-ils un déficit hydrique déjà important. Une détection plus précoce du manque d'eau est possible par un suivi au jour le jour combinant ces 2 observations.

Une telle méthode reste néanmoins à mettre au point et à valider. Il conviendrait en particulier de vérifier si elle peut constituer un indicateur fiable de la situation hydrique et applicable à tous les stades de la culture (jeune repousse, pleine cannaison, fin de cycle).

- Vitesse d'élongation (en période de cannaison)

A l'échelle de la semaine toute variation importante des conditions d'alimentation hydrique, dans un sens favorable ou défavorable, se répercute immédiatement et de façon nette sur la vitesse d'élongation.

Pour la conduite des arrosages, un début de stress hydrique doit pouvoir être détecté dans un délai plus court (2-3 jours) et avant que le déficit hydrique (donc la baisse de croissance) ne deviennent trop important. Les écarts de croissance seront alors nécessairement plus faibles et donc plus difficiles à mettre en évidence (plus grande précision des mesures) mais aussi à interpréter si l'on ne dispose pas de valeurs de référence correspondant à une culture bien irriguée. L'expérience reste à faire.

Ces 2 dernières méthodes, basées sur la réaction de la canne elle-même, indiquent assez mal l'importance de la réserve en eau du sol. Elles permettent de déceler (plus ou moins vite) un déficit hydrique mais par contre ne donnent pas d'indications concernant d'éventuels apports excédentaires.

BILAN HYDRIQUE SIMULE

Nous avons pu noter en règle générale une bonne concordance entre les évolutions des conditions d'alimentation hydrique calculées et les observations de terrain. Sur le plan quantitatif il existe même une bonne corrélation (hormis pour le traitement T2) entre le taux de croissance et le taux de satisfaction des besoins en eau déterminé par le calcul.
La mobilisation (lente) de la réserve en eau des horizons profonds en cas de sous-irrigation apparaît toutefois avoir été mal prise en compte par la simulation.

CROISSANCE DES TIGES

- La baisse de croissance journalière entre avril et juillet va de pair avec la diminution des températures ou de l'évapotranspiration, qui sont des reflets de la composante énergétique du climat.

- La formation des feuilles et des entre-noeuds, perçue par le biais des ochréas nouveaux apparus, est par contre relativement constante, sauf en cas de déficit hydrique prolongé où elle prend du retard. Ce retard ayant pratiquement disparu à la récolte, on peut penser que les cannes mal irriguées au départ bénéficient d'une période de compensation en saison des pluies qui pourrait être due à la formation plus tardive de la hampe florale ; mais ce n'est là qu'une hypothèse.

- Les cannes stressées en début de cannaison ont des diamètres réduits, alors que des déficits plus tardifs influent peu sur le diamètre moyen.

THEMES DE RECHERCHE

Le phénomène de la redistribution de la pluviométrie par le feuillage et de son infiltration préférentielle au niveau du rang de canne - qui nous a tant surpris par son ampleur et gêné pour l'exploitation des mesures neutroniques et tensiométriques - est à étudier plus en détail notamment dans l'optique de l'appréciation de la situation hydrique par des mesures d'humidité du sol et pour la détermination des doses d'arrosage optimales (en vue d'éviter des percolations).

L'étude fine, à l'échelle de la journée, de la correspondance entre le taux de croissance et la satisfaction des besoins en eau devrait également déboucher sur des résultats utiles. Elle s'inscrit dans le cadre plus large de l'établissement d'un modèle agro-météorologique de croissance.

Comparaison des humidités des gaines [4,5,6] et [3,4,5,6]

Echantillon		1	2
Humidité des gaines 3	(%)	82,8	86,1
(1) Humidité des gaines [4,5,6]	(%)	78,1	80,4
(2) Humidité des gaines [3,4,5,6]	(%)	79,3	81,8
Différence (2) - (1)	(%)	1,2	1,4
Rapport des poids humides 3/[3,4,5,6]	(%)	25,9	25,7

Les gaines 3 ont un poids humide comparable au poids moyen des gaines 4,5,6 , par contre elle sont plus riches en eau (+4 à 6 %). L'humidité déterminée sur les seules gaines 4,5,6 est donc sensiblement plus faible que celle déterminée habituellement sur les gaines 3 à 6 ; 1,3 % en moins en moyenne sur les 2 échantillons.

Comparaison des humidités des entre-noeuds [3,4,5] et [4,5]

Echantillon		1	2
Humidité des entre-noeuds 3	(%)	91,8	92,1
Humidité des entre-noeuds [4,5]	(%)	91,6	92,6
Humidité des entre-noeuds [3,4,5]	(%)	91,6	92,5
Rapport des poids humides 3/[4,5]	(%)	5,6	5,6

Les entre-noeuds 3 ayant un poids très faible par rapport aux entre-noeuds 4 et 5 et une teneur en eau comparable, il n'y a donc pratiquement pas de différence entre l'humidité des entre-noeuds [3,4,5] et celle des entre-noeuds [4,5] déterminée habituellement.

SOLS

Caractéristiques (cf. tableau d'analyses)

Sur le plan pédologique, la zone de l'essai (4000 m2) s'inscrit dans une même unité de sol -dit sol ferrallitique remanié- comportant 2 horizons principaux :

- jusqu'à 60 à 90 cm de profondeur, un horizon argileux (20 à 30 % d'argile) et gravillonnaire (30 à 50 % d'éléments grossiers), avec en surface une couche plus sableuse correspondant à la partie labourée. Les éléments grossiers sont de natures diverses :

  gravillons ferrugineux principalement parfois cimentés en petits blocs, fragments de schiste plus ou moins altérés, graviers de quartz.

- en profondeur, jusqu'à plus de 2 m, un matériau argileux et limoneux (50 % et plus de particules de moins de 20 μ) résultant de l'altération de la roche-mère schisteuse. Il a un touché talqueux caractéristique, des couleurs vives (rose, orange) et renferme de nombreux fragments de roche pourrie, ayant conservé la structure du schiste (mais friables, et broyés en grande partie lors de l'analyse). Quelques racines sont présentent dans cet horizon.

Sur le plan agronomique, il s'agit donc d'un sol profond, sans niveau induré ou compacté. Il est relativement meuble à l'état humide bien que de densité élevée (1,6 $\pm$ 1) et peu structuré. Les fluctuations de l'épaisseur de l'horizon de surface et de sa teneur en éléments grossiers induisent néanmoins une légère hétérogénéité. Le traitement T6 est en outre partiellement touché par une tâche argileuse associée à une termitière (très propice pour la canne).

Réserve utile

Pour le premier mètre de sol, 3 méthodes différentes aboutissent à une même estimation de 90 à 100 mm de réserve utile. On constate néanmoins que les méthodes de mesure "in situ" (humidimètre à neutrons, prélèvements d'échantillons) qui mesurent la différence d'humidité entre le sol humide ressuyé et le sol assèché par la culture, et la méthode de laboratoire qui mesure la différence d'humidité de la terre fine entre pF 4,2 et pF 2,5, divergent assez fortement dans le détail :

- en surface, la méthode des pF sous-estime l'humidité à la capacité de rétention (le pF à considérer serait inférieur à 2,5 influence positive des éléments grossiers sur la rétention de l'eau ?). Le déssechement du sol peut-être par contre plus poussé que celui obtenu à pF 4,2, notamment dans les 20 premiers centimètres.

- en profondeur, dans les horizons argileux, la réserve utile est très fortement surévaluée par la méthode des pF ; la teneur en eau du sol humide est bien plus faible que celle déterminée à pF 2,5 (6 à 9 % d'humidité en moins). Ceci pourrait résulter du broyage des fragments de schiste altéré pour l'analyse (qui représentent parfois la moitié du poids de terre) alors qu'en place ils seraient en réalité peu aptes à absorber l'eau.

L'assèchement du sol par la culture s'observe bien en-dessous de 1 m (1,6 m pour T3 ou T4), mais au-délà de 1,4 m, les baisses d'humidité deviennent faibles (mois de 3 % du poids de terre) et ne se font que très lentement (1 à 2 mois). Nous retiendrons à titre indicatif une fourchette de 120 à 150 mm de RU maximale.

	T3 - 1						T6 - 1					
Profondeur (cm)	0 20	20 40	40 60	60 80	100 120	140 160	0 20	20 40	40 60	60 80	100 120	140 160
Elem. gros. (% sol) 2 mm	48	45	44	32	16	11	39	51	38	27	26	6
2 µ - Argile	19,8	22,4	26,1	30,7	34,6	31,9	25,4	32,1	38,3	34,2	37,6	25,2
Limon fin	12,7	13,4	12,5	15,0	20,4	29,7	13,3	12,2	14,2	13,7	17,9	33,2
20 µ - Limon gros. (% t.f.)	13,2	12,4	10,7	11,7	13,1	16,9	19,0	12,1	9,7	10,5	11,0	13,7
50 µ - Sable fin	22,4	18,2	13,0	12,8	13,4	10,5	21,1	16,1	13,5	16,9	13,8	12,9
0,2 mm - Sable gros	31,9	31,6	37,7	29,8	18,5	11,0	21,2	27,5	24,3	24,7	19,7	15,0
Mat. Org. (% t.f.)	1,68	1,06					1,58	1,20				
pH eau (1/2,5)	6,0	5,9	5,9	5,9	6,0	6,0	5,9	5,3	6,2	6,3	6,3	6,2
Humidité pF 2,5	16,6	18,5	19,6	24,7	28,6	32,6	17,6	19,3	25,8	23,4	27,9	32,9
(% t.f.) pF 4,2	8,7	10,3	11,3	13,0	15,1	14,5	9,9	12,4	15,4	14,9	16,1	(12,3)
	7,9	8,2	8,3	11,7	13,5	18,1	7,7	6,9	10,4	8,5	11,8	(20,6)

Analyses physiques du sol sur T3 et T6

ANNEXE 3

==========

BILAN HYDRIQUE SIMULE

==========

Objet : B3-32 / ESSAI IRRIGATION N° 3 / Traitement T4

Debut du cycle : 24 / 11 / 86 Fin : 10 / 12 / 87

RU = 80 mm Stock = 25 mm Ruissel. - Seuil = 40 mm - Coef. = 20 %

Mois N°	Dec.	PLUIE mm	IRRIG mm	EVA mm	KC %	ETM mm	ETR mm	SAT %	STOCK mm	DRAIN mm
1 NOV	3 :	0.0	41.0	39.0	50	19.5	11.2	57.5	54.8	0.0
2 DEC	1 :	0.0	41.0	59.3	50	29.7	29.0	97.9	65.6	1.1
3 DEC	2 :	0.0	41.0	63.4	50	31.7	29.3	92.5	77.3	0.0
4 DEC	3 :	0.0	0.0	64.0	50	32.0	31.7	99.0	45.6	0.0
5 JAN	1 :	0.0	0.0	59.7	50	29.9	21.8	73.1	23.8	0.0
6 JAN	2 :	0.0	43.0	55.4	50	27.7	13.8	49.8	53.0	0.0
7 JAN	3 :	0.0	82.0	78.7	60	47.2	42.6	90.1	64.3	28.1
8 FEV	1 :	0.0	39.0	75.1	70	52.6	43.3	82.4	60.0	0.0
9 FEV	2 :	0.0	38.0	73.7	80	59.0	51.6	87.6	46.4	0.0
10 FEV	3 :	1.0	40.0	64.2	80	51.4	44.8	87.3	42.6	0.0
11 MAR	1 :	0.0	40.0	91.8	90	82.6	58.4	70.7	24.1	0.0
12 MAR	2 :	4.0	86.0	84.1	90	75.7	62.8	83.0	51.3	0.0
13 MAR	3 :	8.5	92.0	82.2	100	82.2	75.8	92.2	76.0	0.0
14 AVR	1 :	27.0	17.0	78.4	100	78.4	75.6	96.4	44.4	0.0
15 AVR	2 :	13.0	46.0	87.0	100	87.0	70.3	80.8	33.1	0.0
16 AVR	3 :	0.0	92.0	91.7	100	91.7	77.2	84.2	48.0	0.0
17 MAI	1 :	35.0	29.0	78.8	100	78.8	71.1	90.2	40.9	0.0
18 MAI	2 :	19.0	81.0	71.5	100	71.5	63.3	88.6	72.8	4.8
19 MAI	3 :	28.5	40.0	70.6	100	70.6	69.7	98.7	64.2	7.5
20 JUN	1 :	25.0	58.0	56.7	100	56.7	56.1	98.9	80.0	11.1
21 JUN	2 :	71.0	29.0	47.0	100	47.0	47.0	100.0	80.0	53.0
22 JUN	3 :	87.5	0.0	42.4	100	42.4	42.4	100.0	80.0	44.3
23 JUL	1 :	46.0	0.0	50.3	100	50.3	50.3	100.0	60.6	15.1
24 JUL	2 :	0.5	0.0	49.1	100	49.1	41.5	84.5	19.6	0.0
25 JUL	3 :	51.0	0.0	44.8	100	44.8	38.1	85.1	32.5	0.0
26 AOU	1 :	77.5	0.0	42.3	100	42.3	40.4	95.6	69.5	0.0
27 AOU	2 :	135.0	0.0	38.6	100	38.6	38.6	100.0	70.5	92.4
28 AOU	3 :	73.2	0.0	49.0	100	49.0	49.0	100.0	80.0	14.7
29 SEP	1 :	29.5	0.0	43.9	100	43.9	43.9	100.0	65.6	0.0
30 SEP	2 :	91.0	0.0	51.8	100	51.8	51.8	100.0	70.6	33.6
31 SEP	3 :	40.5	0.0	48.9	100	48.9	48.9	100.0	62.2	0.0
32 OCT	1 :	30.0	0.0	48.8	100	48.8	48.1	98.5	44.1	0.0
33 OCT	2 :	64.0	0.0	45.9	100	45.9	45.9	100.0	62.2	0.0
34 OCT	3 :	0.0	0.0	55.6	80	44.5	39.2	88.1	23.0	0.0
35 NOV	1 :	2.5	0.0	52.9	80	42.3	14.2	33.6	11.3	0.0
36 NOV	2 :	1.5	0.0	50.5	70	35.3	6.3	17.9	6.5	0.0
37 NOV	3 :	1.5	0.0	50.0	70	35.0	3.5	9.9	4.5	0.0
38 DEC	1 :	1.5	0.0	48.2	70	33.7	2.2	6.6	3.8	0.0
Totaux	:	964.7	975.0	2285.3		1949.4	1650.8	84.7		305.7

Pluie utile = 960.3

Ruissellement = 4.4