

9/94

Département: Hydraulique

المركز الوطني للتوثيق
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
École Nationale Polytechnique

Mémoire de fin d'étude
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Thème

Caractérisation de l'irrigation sous pivot en région aride;
cas de Guerrara (w.Ghardaïa)

Proposé par:
M^{er} B.MOUHOUCHE (I.N.A.)

Réalisé par:
M^{er} R.SIOUSSIOU

Dirigé par:
M^{er} B.MOUHOUCHE (I.N.A.)
M^{er} S.BENZIADA (E.N.P.)

~Promotion: 1994~

REPUBLIQUE ALGERRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
-MINISTERE DELEGUE AUX UNIVERSITES
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Département: Hydraulique

Mémoire de fin d'étude
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Thème

Caractérisation de l'irrigation sous pivot en région aride;
cas de Guerrara (w.Ghardaïa)

Proposé par:
M^{er} B.MOUHOUCHE (I N A).

Réalisé par:
M^{er} R.SIOUSSIOU.

Dirigé par:
M^{er} B.MOUHOUCHE (I N A).
M^{er} S.BENZIADA (E N P).

~Promotion: 1994~

Dédicaces.

A ma MÈRE et à mon PÈRE,
pour tous leurs sacrifices à mon égard;

A ma tante aînée, Mamia;

A mes frères et sœurs et à toute ma famille;

A la famille Messaoudi Hadj Soumeur,
pour tout le confort qu'elle m'a offert durant ma
formation à l'E N P;

A monsieur Ammi Moussa Hadj Hammou,
pour l'énorme hospitalité qu'il m'a apporté

Je dédie ce modeste travail.

REMERCIEMENTS.



Il m'est très agréable de commencer ce mémoire en remerciant les personnes qui ont été proches de moi durant la réalisation de ce travail, tant sur le plan humain que scientifique.

Ainsi je commencerais par remercier mon père, Hadj Amor Sioussiou, pour son énorme soutien moral et matériel.

Je suis particulièrement reconnaissant à Monsieur Brahim Mouhouche à qui je dois la réalisation matérielle de ce mémoire.

C'est pour moi un devoir enchanteur de remercier Monsieur Salim Benziada pour ses précieuses recommandations.

Le présent travail a été effectué au G E P des frères Kherfi à Guerrara (W.Ghardaïa). Je dois mes sincères remerciements à l'ensemble de son personnel d'avoir bien voulu m'y accueillir et de m'avoir assisté durant toute la période de l'expérimentation.

Il y a aussi les personnes qui ont contribué dans ce travail avec enthousiasme et générosité; je citerais:

Mer Daoued, enseignant au département de pédologie à l'I N A (Institut National d'Agronomie), m'ayant aidé pour la caractérisation du sol de la région et pour son analyse granulométrique.

Mer A.Eddoug, responsable du centre de calcul de l'I N A, pour son assistance en outil informatique.

Mer A.Bermad, enseignant au département, pour ses conseils précieux.

Mer K.Messadek, de ma promotion, pour son apport moral et physique lors de la mise en forme du document.

Et la société GENERAL ENGINEERING, dirigée par mon frère Salah SIOUSSIOU, pour les travaux de saisie et d'impression

ملخص:

قصد هدف تقييم فعالية الرش المحوري طبقا لاستعماله بالجنوب الجزائري، لقد قمنا بدراسة توزيع المياه في الزمن وفي المكان تحت الرش ثم اختارنا بطريقة عشوائية ومزدوجة بقمح الشتاء. النتائج المحمل عليها غير مرضية وتدعو إلى تزويدها بعدد من التحسينات.

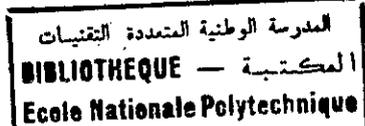
Résumé:

Dans le but d'évaluer l'efficacité de la rampe pivotante selon les conditions de son utilisation dans le sud de notre pays, nous avons procédé à l'étude de la répartition de l'eau dans le temps et dans l'espace, sous un pivot dont le choix était aléatoire. La culture choisie est le blé d'hiver. Les résultats, jugés insatisfaisants, insistent à apporter certaines améliorations.

Synopsis:

In order to evaluate the center pivot efficiency with local conditions use, we have process to determine the time's and space's water distribution under the machine. The farming is the corn of winter. The results obtained, judged "insatisfactory and prompt a number of improvements.

SOMMAIRE.-



Introduction:

Partie I: Recherches bibliographiques.

Chapitre I-1: Conditons pour une bonne gestion de l'irrigation.	02
Chapitre I-2: Performance d'une irrigation: Evaluation et facteurs influençants.	04
Chapitre I-3: Le centre pivot d'irrigation.	12

Partie II: Etudes préliminaires.

Chapitre II-1: Présentation de la ferme.	15
Chapitre II-2: Calcul des besoins en eau de la culture.	19

Partie III: Déroulement de l'essai.

Chapitre III-1: Matériel et méthode expérimentale.	24
--	----

Partie IV: Résultats et traitements.

Chapitre IV-1: Etude de la distribution de l'eau en surface.	29
Chapitre IV-2: Etude de la distribution de l'eau infiltrée.	53
Chapitre IV-4: Evaluation des variations de rendements.	60

Partie V: Conclusion générale et propositions. 62

Partie VI: Annexes.

Annexes I: Pilotage des irrigations avec CROPWAT.	64
Annexes II: Résultats des mesures.	72
Annexes III: Ajustements des résultats.	84

Bibliographie. 86

INTRODUCTION:

Les conditions économiques imposées actuellement aux agriculteurs exigent des rendements élevés pour couvrir leurs charges et n'autorisent donc aucune baisse de production due à des conditions climatiques défavorables. Aussi la sécheresse et les besoins croissants en produits agricoles incitent les agriculteurs à s'équiper pour l'irrigation. En effet, si cette solution présente un moyen de diversification des cultures ainsi qu'un facteur d'amélioration et de régularisation des rendements dans les zones semi-arides, elle constitue par contre la base de vie de toute plante cultivée dans une région aride et/ou désertique qu'est le sud algérien.

Cependant, l'irrigation nécessite un aménagement hydraulique important; donc un investissement coûteux dont il faut pouvoir maîtriser l'amortissement. En outre, la rareté de la ressource eau nécessite pour celle-ci une utilisation planifiée afin de lui procurer un niveau de valorisation satisfaisant.

Tout ceci amène les agriculteurs à maîtriser leur productivité. Ce qui se traduit, d'un point de vue hydraulique, en la nécessité de disposer, au niveau de la parcelle, d'une bonne répartition de l'eau dans le temps et dans l'espace.

Par ailleurs, le développement rapide de la mise en valeur agricole dans le sud algérien, avec pour spéculation principale les grandes cultures, a fait de la rampe pivotante un système d'irrigation très répandu dans notre pays et dont il faut caractériser le fonctionnement dans les conditions réelles de son utilisation.

A cet effet, notre travail porte sur l'étude de la distribution de l'eau dans le temps et dans l'espace d'une parcelle irriguée par rampe pivotante, dont le choix était aléatoire.

PARTIE I: RECHERCHES BIBLIOGRAPHIQUES.

Chapitre I-1: Conditions pour une bonne gestion de l'irrigation.

Chapitre I-2: Performance d'une irrigation: Evaluation et facteurs influençants.

Chapitre I-3: Le centre pivot d'irrigation.

Chapitre I-1: CONDITIONS POUR UNE BONNE GESTION DE L'IRRIGATION.

Une bonne gestion de l'irrigation permet de valoriser l'installation d'arrosage ainsi que l'eau consommée, afin d'aboutir à une irrigation économiquement rentable.

On suggère alors que:

a) Les apports d'eau doivent être optimisés en fonction de :

La phase du cycle végétatif:

En effet, les exigences des plantes en eau ainsi que leur sensibilité à des déficits hydriques varient d'une phase à une autre. On peut considérer comme stade critique pour lequel un stress hydrique causerait une chute de rendement notable, pour le cas du blé, la montaison, l'épiaison est de deux semaines avant la pollinisation [3]. Ces données sont exprimées quantitativement par le coefficient cultural et le coefficient de réponse du rendement à l'eau [3].

Variation dans le temps de la demande climatique :

C'est à dire celle de l'évapotranspiration potentielle. Celle-ci est définie comme étant l'évaporation d'un couvert végétal bas, continu et homogène, dont l'alimentation en eau n'est pas limitante, et qui n'est soumis à aucune limitation d'ordre nutritionnel, physiologique ou pathologique [1].

Propriétés physiques du sol:

Caractérisant sa capacité de stockage de l'eau ainsi que son taux d'infiltration. Ce qui détermine la dose maximale à apporter en aspersion, et la pluviométrie limite à appliquer.

Disponibilité en eau:

En effet, en cas de pénurie, un rationnement des doses d'arrosage serait nécessaire. Il faudrait alors considérer les périodes critiques du cycle végétatif afin de minimiser les chutes de rendement.

b) Les pertes de toute nature sont à éviter:

Pertes par évaporation:

Leur importance varie en fonction de la température et de l'humidité de l'air, de la température de l'eau et de certaines caractéristiques techniques telles que le rayon de pulvérisation et de la dimension des gouttelettes. Avec la pulvérisation, ces pertes sont généralement faibles et inférieures à deux pour-cent [3].

Pertes par ruissellement:

Elles se manifestent surtout en terrains lourds ou en pente (accidentés)..

Pertes par infiltration profonde:

Cas des sols légers et saturés.

Toutes ces formes de pertes sont plus aggravées en cas de pluviométrie élevée, donc non conforme aux bonnes conditions d'irrigation.

c) Irrigation uniforme:

Selon différents paramètres définissant l'uniformité de l'irrigation et qui seront traités ultérieurement (Chapitres IV-1 et IV-2).

En conclusion, cela insiste à maîtriser la répartition de l'eau d'arrosage dans le temps (*a*) et dans l'espace (*b* et *c*) .

Chapitre I-2: PERFORMANCE D'UNE IRRIGATION-EVALUATION ET FACTEURS INFLUENCANTS.

L'évaluation de la performance d'une irrigation porte sur:

- La manière dont l'irrigation est conduite ou pilotée.
- Les potentialités du système d'irrigation utilisé, à savoir ses capacités à satisfaire les doses et fréquences d'arrosages requises avec une uniformité de distribution acceptable.

Elle nous permet donc de:

- Evaluer l'efficacité réelle du système (avec le pilotage en cours).
- Déterminer comment le système peut être conduit efficacement (doses et fréquences des arrosages) et dans quelle mesure on peut l'améliorer (uniformité de distribution, caractéristiques hydrauliques).
- Obtenir l'information qui pourra aider les ingénieurs dans la conception d'autres systèmes d'irrigation.
- Comparer diverses méthodes, systèmes et pratiques d'irrigation et avoir ainsi une base pour les décisions d'ordre économiques.

A/Evaluation de la performance d'une irrigation:

Pour cela, une méthode élaborée par Hart et al.(1979), applicable aux différents systèmes d'irrigation, est adoptée. Elle est décrite dans ce qui suit [8]:

Principe:

On montre que la qualité d'une irrigation peut être évaluée par la connaissance de seulement quatre quantités, trois efficacités et un paramètre de distribution, qui permettent toujours de définir la performance de l'irrigation et d'en déterminer les éventuelles améliorations à apporter. Ces quatre grandeurs seront définies ultérieurement. Elles sont supposées nécessaires et suffisantes pour évaluer une irrigation, et pour cela, certaines hypothèses ont été émises.

Hypothèses:

a/Toute l'eau atteignant la bordure de la parcelle et qui n'est pas absorbée par infiltration ou collectée après ruissellement pour être réutilisée est considérée comme une perte. La nature de cette perte (évaporation, ruissellement, etc) est sans importance.

b/La dose requise au moment de l'irrigation est la quantité d'eau nécessaire pour restaurer la réserve facilement utilisable (R.F.U) dans la zone racinaire. Cette dose est identique pour toute la parcelle.

c/La distribution de l'eau par le système peut, de façon adéquate, être caractérisée par un paramètre unique.

*Description de la méthode:*A) Conduite de la méthode:

1) On détermine l'état d'humidité du sol avant irrigation. Pour cela, nous faisons des mesures sur plusieurs profils et nous considérons la moyenne. La connaissance de cette quantité nous permet de vérifier si la planification des arrosages est conforme à la réponse au déficit en eau de la culture.

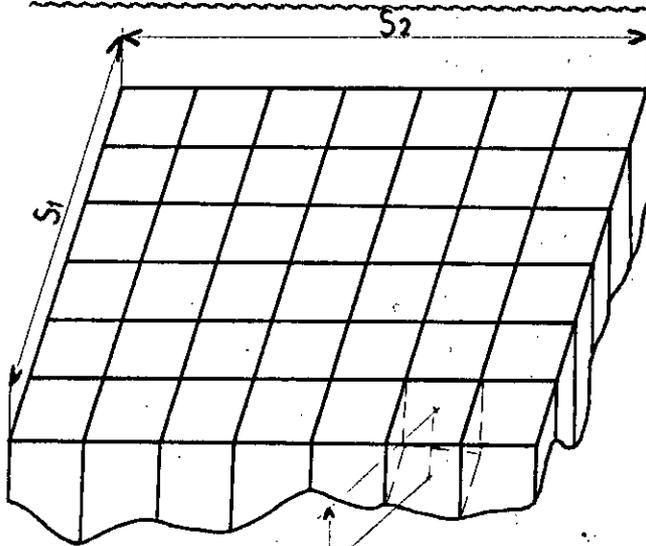
2) On détermine la distribution de l'eau infiltrée dans le sol après irrigation. Ceci par la représentation graphique des hauteurs d'eau observées, projetées sur le plan schématisant la zone échantillonnée, ou le long d'un axe représentant la longueur ou la largeur de la parcelle sondée. Chaque hauteur d'eau y_i est alors représentative d'une portion de surface d'aire A_i (fig.I-2-1).

3) On établit alors la courbe de distribution des fréquences cumulées des hauteurs d'eau observées et ajustées à une loi théorique. Deux cas peuvent alors se présenter:

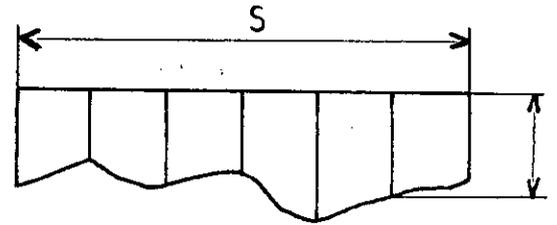
Courbe cumulée au dépassement, dans laquelle les hauteurs d'eau y_i sont représentées en fonction des fractions de surfaces cumulées (a_i) recevant au moins y_i (fig.I-2-2.a).

Courbe cumulée au non dépassement, dans laquelle les hauteurs d'eau y_i sont représentées en fonction des fractions de surfaces cumulées (a_i) recevant au plus y_i (fig.I-2-2.b).

Nous obtenons ainsi le *profil de distribution de l'eau infiltrée*.

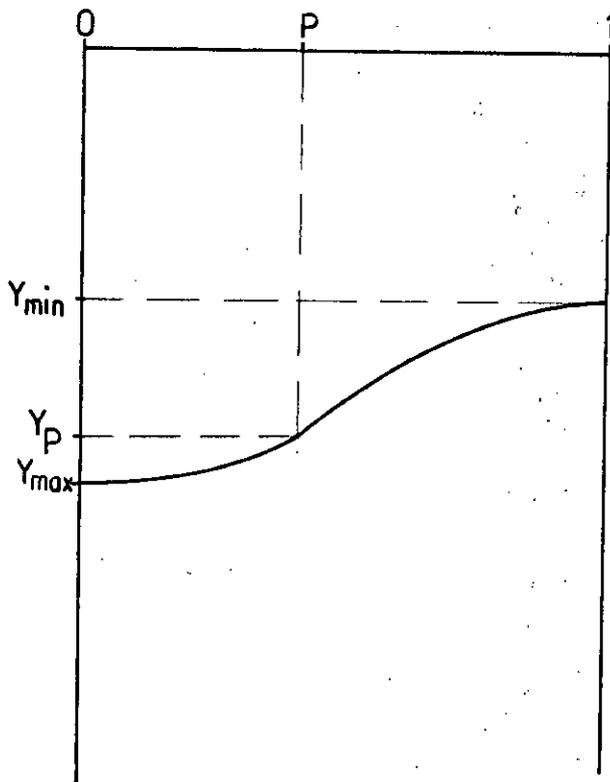


Profondeur d'eau absorbée sur la zone échantillonnée.

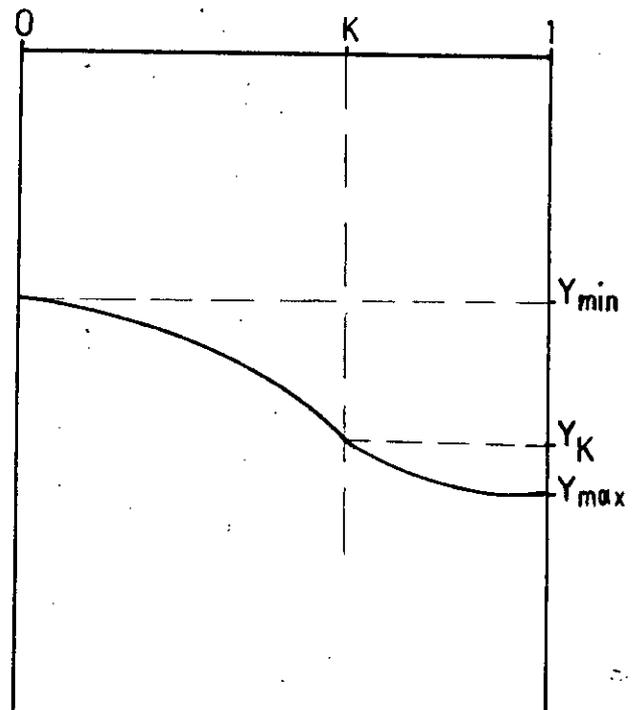


Profondeur d'eau absorbée le long d'un axe.

Figure I-2-1: Distribution réelle de l'eau dans le champ.



a-/ Fraction de surface ayant recue
au moins Y_i (mm).



b-/ Fraction de surface ayant recue
au plus Y_i (mm).

Figure I-2-2: Profils de distribution des hauteurs d'eau infiltrées.

4) Soit le premier cas considéré; On détermine les paramètres de calcul (fig.I-2-3). Les déficits et les excès par rapport à la demande et la moyenne infiltrée se calculent par simple intégration sur la loi de distribution considérée:

B: Volume du déficit eau après l'irrigation par rapport à la demande.

C: Volume du déficit en eau par rapport à la moyenne infiltrée.

D: Volume d'eau fourni à la parcelle.

E: Volume d'eau en excès par rapport à la demande.

R: Volume d'eau demandé.

F: Volume d'eau en excès par rapport à la moyenne infiltrée.

T: Volume d'eau infiltré dans le sol.

W: Volume d'eau perdue par ruissellement et évaporation.

Les formules de calcul de ces paramètres seront présentées lors de l'application au cas traité.

5) On calcule alors les principales efficiences et le paramètre de distribution de l'eau à la parcelle:

- *Efficiency de stockage*: Fraction de l'eau disponible emmagasinée dans la zone racinaire et satisfaite par l'eau d'irrigation;

$$E_s = \frac{R-B}{R}$$

- *Efficiency de percolation d'eau profonde*: Fraction de l'eau infiltrée dans la zone à irriguer et qui contribue à satisfaire la demande en eau;

$$E_p = \frac{R-B}{T}$$

- *Efficiency de délivrance*: Fraction de l'eau fournie à la parcelle et infiltrée dans le sol ;

$$E_d = \frac{D - W}{D}$$

- *Uniformité de distribution*:

$$U_d = \frac{T-C}{T}$$

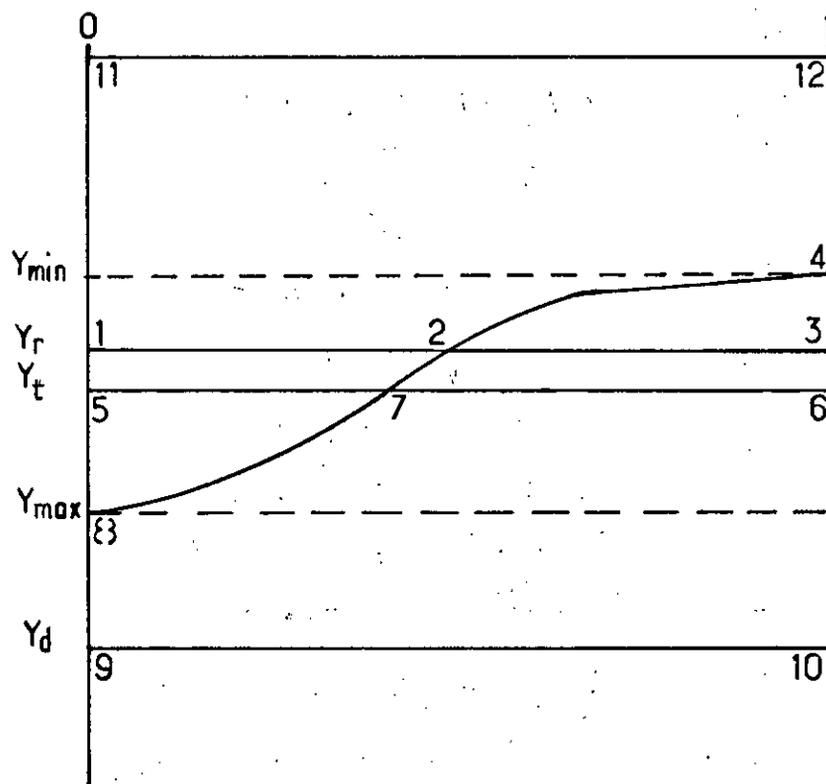


Figure I-2-3: Profil de distribution de l'eau infiltrée.

B= 2, 4, 3, 2.

C= 7, 2, 4, 6, 7.

D= 9, 11, 12, 10, 9.

E= 1, 8, 7, 2, 1.

R= 1, 11, 12, 3, 1.

F= 5, 8, 7, 5.

T= 8, 11, 12, 4, 8= 5, 11, 12, 6, 5.

W= 8, 9, 10, 4, 2, 7, 8.

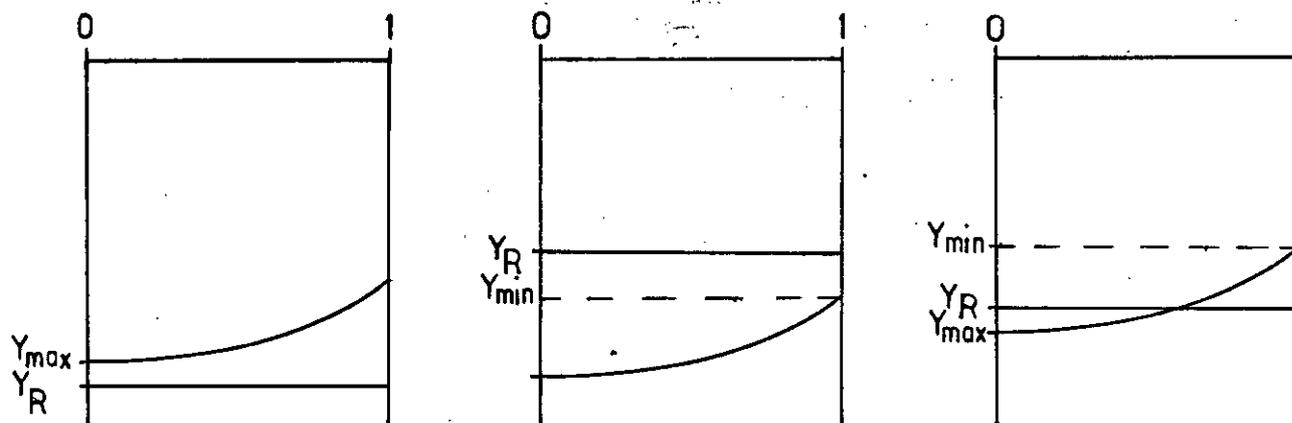
B) Analyse des résultats:

La performance de l'irrigation est déterminée par l'analyse simultanée des quatre quantités E_s , E_p , E_d et U_d . Cependant, il est intéressant de signaler certains cas typiques (fig.I-2-4):

Cas1: La hauteur d'eau demandée est supérieure à la hauteur maximale infiltrée. Dans ce cas, $E_p = 1$ et $E_s < 1$. L'irrigation est insuffisante.

Cas2: La hauteur d'eau demandée est inférieure à la hauteur minimale infiltrée. Dans ce cas, $E_p < 1$ et $E_s = 1$. L'irrigation est excessive.

Cas3: La hauteur d'eau demandée est supérieure à la hauteur minimale infiltrée et inférieure à la hauteur maximale. Dans ce cas, $E_p < 1$ et $E_s < 1$, mais la perte par percolation et les déficits par rapport à la demande peuvent être acceptables et l'irrigation sera jugée suffisante.



a- Irrigation insuffisante.

$E_p = 1; E_s < 1.$

b- Irrigation excessive.

$E_p < 1; E_s = 1.$

c- Irrigation équilibrée.

$E_p \rightarrow 1; E_s \rightarrow 1.$

Figure I-2-4: Cas typiques de distributions d'eau infiltrée.

Limites acceptables des paramètres de performances:

Les connaissances actuelles de l'irrigation peuvent suggérer quelques classes de valeurs des paramètres de performances telles que le montre le tableau I-2-1.

Paramètre	Excellent	Satisfaisant	Insatisfaisant
E_s	≥ 0.8	$\geq 0.5 < 0.8$	< 0.5
E_D	≥ 0.8	$\geq 0.5 < 0.8$	< 0.5
E_d	≥ 0.8	$\geq 0.6 < 0.8$	< 0.6
U_d	≥ 0.9	$\geq 0.7 < 0.9$	< 0.7

Tableau I-2-1: Niveaux de qualité des paramètres de performance .

(D'après Hart et al.1979)

C) Conclusion:

Moyennant les normes de satisfaction définies ci-dessus, l'analyse présentée permet de:

- Décrire et caractériser la qualité d'irrigation pratiquée, et donc de donner les éventuelles améliorations à apporter (faire une distribution plus uniforme, réduire ou augmenter la dose totale à appliquer).

- Comparer plusieurs systèmes d'irrigation sous des conditions pédoclimatiques semblables.

Remarque: A cause de la variabilité des conditions du sol et de la précision des techniques de mesure, il n'est pas justifié de calculer les efficacités et l'uniformité de distribution avec une précision supérieure à 3 pour-cent [9].

B/Facteurs influençant la performance d'une irrigation:

Facteurs affectant l'uniformité de la répartition de l'eau en surface:

- *Perturbations dues au vent et ses fluctuations en direction et vitesse:* On suggère l'arrêt des irrigations par aspersion lorsque la vitesse du vent dépasse 5 m/s.

- *Pression de fonctionnement:* Celle-ci affecte le spectre granulométrique de l'organe d'aspersion choisi. Des travaux de recherche dans ce contexte ont montré qu'avec l'augmentation de la pression, la fréquence des petites gouttes, plus sensibles à l'action des vents, augmente et le diamètre maximal des gouttes diminue [10].

- *Disposition relative des asperseurs:* Selon la pression de fonctionnement et la qualité des organes d'arrosages, la disposition de ces derniers est déterminée par un calcul de recouvrement menant à une uniformité de répartition acceptable.

Facteurs affectant la répartition de l'eau infiltrée:

- *Conductivité hydraulique du sol:* Si sa valeur est importante, un déplacement horizontal par capillarité pourrait compenser la non uniformité de répartition en surface. Ceci étant après ressuyage. Il faut noter que la conductivité est plus élevée pour des sols légers.

- *Perméabilité du sol:* Son effet apparaît en aspersion lorsque la pluviométrie apportée dépasse la vitesse d'infiltration du sol.

- *Topographie du terrain:* Si celui-ci est accidenté, avec un sol peu perméable, l'uniformité serait très affectée.

Chapitre I-3:LE CENTRE PIVOT D'IRRIGATION.

Description:

Le système à pivot se compose d'une rampe en élévation, supportée tous les trente (30) à soixante (60) mètres par des tours motrices. Chaque tour est dotée d'un moteur électrique dont la mise en marche provoque la rotation des roues. Celles-ci tournent perpendiculairement à la rampe et l'ensemble décrit un cercle. A l'aval de la dernière tour, on dispose généralement une conduite en porte-à-faux, et parfois un canon d'arrosage (qui nécessite une forte pression d'alimentation en eau). La longueur de la rampe peut atteindre 800m , ce qui permet d'arroser un disque d'environ 200 ha. Le diamètre intérieur des conduites diffère selon les modèles.

Afin de synchroniser le déplacement des différentes tours, seul le moteur le plus éloigné reçoit le réglage de la cadence des démarrages et des arrêts à partir de l'armoire électrique. C'est donc celui-ci qui commande le mouvement, les autres assurent le réalignement des tours qui restent en arrière, tel que montré sur la figure I-3-1. Au droit de chaque tour, deux (02) travées voisines sont reliées par un tuyau articulé ou supporté assez librement pour que ces dernières puissent former un certain angle ayant pour sommet la tour considérée. Un contacteur spécial ferme le circuit d'alimentation électrique (la source étant au centre du pivot), lorsque les deux (02) travées liées à cette tour forment un angle déterminé. Par ailleurs, l'ensemble peut s'adapter à une topographie présentant des dénivellations d'environ 20 pour-cent.

Au centre du pivot, l'alimentation en eau du système est assurée par une conduite verticale dont l'extrémité supérieure est connectée à la rampe alors que la partie inférieure est branchée au réseau hydraulique sous pression. La conduite verticale est maintenue rigide par des armatures métalliques formant une pyramide et l'ensemble est ancré dans un socle en béton armé et constitue ainsi la tour centrale.

Fonctionnement hydraulique:

La rampe est équipée d'organes d'arrosage dont l'espacement et les caractéristiques hydrauliques sont calculés de manière à assurer une pluviométrie quasi-uniforme sur toute la surface couverte.

Les arroseurs utilisés sont des buses à basse pression ou des asperseurs; le choix étant fonction de:

a) Qualité de l'eau: Une eau chargée en éléments sableux provoquerait l'obstruction des buses à basse pression. Cependant, ces dernières offrent une meilleure pulvérisation. Les gouttelettes sont de taille petite à modérée; ce qui permet une meilleure dissipation de chaleur si l'on utilise des eaux chaudes tel que notre cas. Par ailleurs, si l'eau utilisée est corrosive, il est important d'éloigner la pulvérisation de la structure de la machine.

b) Intensité et fréquence des vents: Les buses sont généralement rapprochées du sol à l'aide de tubes verticaux branchés sur la conduite par l'intermédiaire de crosses; ce qui rend le système moins sensible au vent. Par ailleurs, un résultat satisfaisant est obtenu par l'utilisation d'asperseurs à grande taille de gouttes.

c) Nature du sol: Un sol à structure fragile est sensible au compactage par les gouttes d'eau. Celles-ci sont d'autant plus nuisibles que leur taille est plus grande. Par ailleurs, une faible taille des gouttes (cas des buses) est liée à une forte intensité d'apport d'eau qui engendrerait alors un ruissellement sur sols imperméables, compacts ou en pente.

d) *Pression disponible*: Notons que les buses requièrent une pression très inférieure par rapport aux asperseurs.

Nous citons ci-après certaines caractéristiques hydrauliques de ces organes d'arrosage [5].

Organe d'arrosage	Pression à l'extrémité du pivot	Taille des gouttes	Intensité d'apport
Buse basse pression.	1 bar	Petite à moyenne	Elevée
Asperseur basse pression.	2.5 bars	Grande	Moyenne
Asperseur haute pression. Espacement variable.	4.2 bars	Moyenne	Moyenne à faible
Asperseur haute pression. Espacement constant.	4.2 bars	Moyenne à grande	Faible

Tableau I-3-1: Caractéristiques hydrauliques d'appareils d'aspersion.

(Bulletin F.A.O N°35)

PARTIE II: ETUDES PRELIMINAIRES.

Chapitre II-1: Présentation de la ferme.

Chapitre II-2: Calcul des besoins en eau de la culture.

Chapitre II-1:PRESENTATION DE LA FERME.

A/-Situation géographique :

Notre expérimentation a été réalisée au niveau d'une exploitation agricole spécialisée en grandes cultures et élevage, située dans la région de Saadallah, daïra de Guerrara, wilaya de Ghardaïa (fig.II-1-1).

Ses coordonnées terrestres sont [14] :

-32°48' de latitude Nord.

-4°42' de longitude Est.

B/-Ressource en eau :

L'eau est tirée de la nappe albienne (continental intercalaire) à travers un forage profond (environ 1000 m). A débit nul (vanne du forage fermée), le manomètre indique une charge totale de 12 bars.

A cet effet, le forage est connecté directement au réseau sans aucun pompage.

Une analyse faite au laboratoire du département de phytotechnie de l'Institut National Agronomique indique un Ph =7,64 et une conductivité électrique à 25°C, $C_E = 2,22$ mmhos/cm, donc peu de danger d'alcalinisation.

C/-Etude pédologique :

La carte des sols d'Algérie, consultée au département de pédologie de l'Institut National Agronomique, indique pour la zone considérée des alluvions actuelles ; lacs, marécages, dayas, chotts, sebkha, limons et croûtes gypso-salines.

a) *-Analyse granulométrique:*

Sachant a priori que le sol est sableux, on s'est contenté d'un tamisage pour séparer le sable grossier ($>200 \mu$), le sable fin ($>50 \mu$, $<200 \mu$) et les limons et argiles ($<50 \mu$). Ceci étant sur un profil moyen et à deux horizons (0-20cm; 20-40cm).

La manipulation est faite au laboratoire de pédologie de l'Institut National Agronomique.

Les résultats sont présentés ci-après:

Horizon	Sable grossier	Sable fin	Limons et argiles
0-20 cm	38,49%	40,34%	21,12%
20-40cm	42,2%	39,57%	18,41%

Tableau II-1-1:Résultats de l'analyse granulométrique.

Conclusion :

Environ 80% de sable, ce qui confirme que le sol est sableux. Cependant, avec 40% de sable fin et 20% de limons et argile, la capacité de rétention du sol n'est pas à négliger.

b)-Détermination de la densité apparente :

Les échantillons sont prélevés dans des anneaux métalliques de volume connu et pesés après passage à l'étuve à 105°C, pendant 24^h. La masse de sol sec obtenue que divise le volume de l'anneau nous donne la densité apparente. L'opération est répétée sur 10 échantillons (2 horizons sur 5 profils).

La valeur moyenne obtenue est : $d_a = 1,40$.

c)-Détermination de la capacité de rétention du sol :

La capacité au champ a été déterminée au laboratoire du département de Génie Rural à l'Institut National Agronomique. Cependant, le sol étant remanié, les résultats ne paraissent pas refléter la réalité (35% en humidité volumique sur sol sableux).

A cet effet, on a préféré estimer cette caractéristique à partir des résultats de prélèvements après irrigation sur site. Pour cela et selon diverses constatations lors des expériences, c'est dans l'expérience 4 du 14/04/94 que le sol semblait bien ressuyé après saturation (chapitre IV-2). C'était donc les meilleures conditions reflétant la capacité de rétention. La valeur de cette dernière est donc prise égale à la moyenne pondérée des lames d'eau infiltrées après irrigation, avec une légère majoration pour combler un éventuel excès de consommation par les plantes lorsqu'elles sont pourvues d'eau abondante; soit $y_{cr} = 72$ mm sur 40 cm de profondeur.

d)-Analyse chimique :

Les résultats d'une analyse chimique faite au laboratoire PHOSYN en France sont donnés à titre indicatif (fig.II-1-2).



Rapport des Résultats suivant l'Analyse

B.P.G, 32500 FLEURANCE
Tel: 62 06 62 55 Fax: 62 06 65 30

NO. DE COMMANDE: 54114
NOM DU CHAMP: GEP KHERFI PIVOT 3

DATE DE RECEPTION: 06/09/95
SURFACE:

ANNEE : 1994
CULTURE : BLE

ANALYSE	RESULTAT DE L'ANALYSE	TENEUR-SOUHAITABLE	INTERPRETATION					CONSEILS TECHNIQUES
			Très Faible	Faible	Un Peu Faible	Bonne	Elevée	
Calcium	2362 ppm	1000	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Normale
Magnesium	344 ppm	40	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Normale
Manganese	14 ppm	45	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Elément Prioritaire. Traitement conseillé (*voir ci dessous);
Bore	1.3 ppm	2.0	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Pas de problème pour cette culture
Cuivre	1.0 ppm	1.5	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Elément Prioritaire. Traitement conseillé (*voir ci dessous)
Molybdene	0.2 ppm	0.1	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Pas de problème pour cette culture
Fer	86 ppm	30	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Adequate
Zinc	1.8 ppm	3.0	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Elément Prioritaire. Traitement conseillé (*voir ci dessous)
Sulfur	176 ppm	10	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Elevée
Sodium	562 ppm		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Voir ESP
Phosphore	74 ppm	50	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Une fertilisation appropriée est essential (**voir ci-dessous)
Potassium	268 ppm	200	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Adequate
E.C.	5.53 mmhos/cm 4. MAX		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Problème de salinité. Lessivage nécessaire.
C.E.C.	3.2 meq/100g 25.0		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Très faible rétention des éléments nutritifs.
pH	7.8	7.0	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Pas de problème
CaCO3 Total	18 %		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Elevée
Azote	476 ppm	1000	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Une fertilisation appropriée est essential
C.S.P.	3.45 %	15 MAX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	Teneur idéale - pas de problème

COMMENTAIRES

* COMPOUND PHOSATE est un équilibre idéal du Mn, Cu, Fe et Zn. Dose d'application 6-10 kg/ha.
 ** En plus de la fumure de fond considérez l'application d'AGRIPHOS (43% P2O5, 5.5% Mn,Cu,Fe,Zn) en application foliaire à la dose de 5 l/ha.

D/-Présentation du pivot étudié:

Celui-ci est de marque ANABIB. Il présente les caractéristiques suivantes(*):

- Longueur du système:	306.3m (6 tours mobiles avec porte à faux)	
- Surface arrosée avec arrosage au delà des bords:	30.1ha	
- Type de travées:	52.7 m	46.8 m
- Nombre de travées:	2	4
- Longueur avec raccord:	52.83 m	46.98 m
- Diamètre du tube:	159.0 mm	159.0 mm
- Hauteur de construction:	3.7 m	3.7 m
- Hauteur libre sous charpente:	2.9 m	2.9 m
- Propulsion par moteurs électriques:	0.74 kw	0.74 kw
- Poids avec l'eau:	2954 kg	2705 kg
- Type de pneu:	14.9-24	14.9-24
- Pression au sol:	13.2 N/cm ²	12.1 N/cm ²
- Organe d'arrosage:	buses basse pression	
- Longueur du porte à faux:		11.7 m
- Arrosage au delà des bords:		3.1 m
- Rayon arrosé avec arrosage au delà des bords:		309.4 m
- Heures de service proposées par jour:		24 h
- Débit total pour un apport de 10mm/jour:		125.3 m ³ /h
- Capacité d'arrosage:		1.16 l/s/ha
- Apport correspondant à:	100.0m ³ /ha/j ou	10 mm/j
- Vitesse maximale:		123 m/h
- Temps minimal de rotation à vitesse maximale:		15h 10min
- Pluviométrie minimale par rotation:		6.3 mm
- Intensité maximale:		63 mm/h
- Pression à la buse au dernier branchement:		1.2 bars
- Pression d'alimentation à l'entrée du pivot (avec dénivellation de la tour centrale jusqu'à l'extrémité: 0/0):		2.0 bars
- Puissance requise du générateur:		8.7 kva
- Puissance absorbée par le réseau:		7.0 kw

(*) Source:Société ANABIB.

Chapitre II-2: CALCUL DES BESOINS EN EAU DE LA CULTURE.

Pour cette partie, nous avons utilisé le logiciel CROPWAT dont une description succincte est donnée ci-dessous :

a)-Présentation du logiciel CROPWAT [11]:

CROPWAT est un logiciel de calcul des besoins en eau des cultures et des besoins d'irrigation à partir des données concernant le climat et les cultures. En outre, le logiciel permet l'élaboration de programmes d'irrigation pour différentes conditions de gestion et le calcul de l'approvisionnement en eau d'un périmètre pour divers plans de culture.

Les procédés de calcul des besoins en eau des cultures et des besoins d'irrigation sont principalement basés sur des méthodes présentées dans les bulletins d'Irrigation et de Drainage de la F.A.O n°24 "Les besoins en eau des cultures" et n°33 "Réponse des rendements à l'eau". Le calcul de l'évapotranspiration de référence, ETo , est effectué moyennant la formule de Penman rectifiée par Monteith; dont les paramètres sont réduits à la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et l'insolation journalière.

b)-Données climatologiques :

Celles-ci sont obtenues à la station météorologique de Ghardaïa, qui nous a fourni :

*Pour la période Novembre 1993 à Avril 1994 :

- Température de l'air.
 - Humidité relative.
 - Vitesse du vent.
 - Insolation journalière.
-

*Pour la décennie 1977 à 1986 :

-Température de l'air.

-Humidité relative.

-Vitesse du vent.

L'insolation journalière n'étant pas disponible, ses valeurs sont prises dans l'ATLAS SOLAIRE D'ALGERIE -TOME 2-.

La station météorologique est située à environ 70 à 80 km du site d'expérimentation et , d'après le personnel de l'Office National de Météorologie(DAR EL-BEIDA), c'est la source de données la plus représentative. Par ailleurs, la pluviométrie n'a pas été considérée (zone aride).

c)-Données de la culture :

Elles sont prises à partir des indications du manuel de CROPWAT (bulletin F.A.O N°46).

Les caractéristiques sont présentées dans la figure II-2-1. Les données considérées pour l'expérimentation sont celles du fichier de culture: blehir 1 (fig.II-2-1). Cependant, un pilotage indicatif de l'irrigation est présenté en annexe avec les deux profondeurs de racines pour la première phase (2 variantes).

d)-Calcul de l'évapotranspiration de référence E_{To} :

Les résultats sont donnés dans les tableaux II-2-1 et II-2-3.

e)-Calcul des besoins en eau des cultures :

Les résultats sont donnés dans les tableaux II-2-2 et II-2-4.

Données de culture: BLE D'HIVER							
Fichier culture: BLEHIR1							
Phase de croissance		Init.	Dévelop.	Mi-	Arrière	Total	
				saison	-saison		
Durée	*jours \$	25	45	65	45	180	
Coefficient cultural Kc	*coeff.\$	0.40	->	1.20	0.75		
Profondeur d'enracinement	*mètre \$	0.25	->	0.40	0.40		
Tarissement admissible	*fract.\$	0.80	->	0.52	0.52		
Coeff. de réponse du rendement ky	*coeff.\$	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00	

Données de culture: BLE D'HIVER							
Fichier culture: BLEHIR2							
Phase de croissance		Init.	Dévelop.	Mi-	Arrière	Total	
				saison	-saison		
Durée	*jours \$	25	45	65	45	180	
Coefficient cultural Kc	*coeff.\$	0.40	->	1.20	0.75		
Profondeur d'enracinement	*mètre \$	0.40	->	0.40	0.40		
Tarissement admissible	*fract.\$	0.80	->	0.52	0.52		
Coeff. de réponse du rendement ky	*coeff.\$	0.20	0.60	0.50	0.40	1.00	

Figure II-2-1: Données concernant la culture.

Evapotranspiration de référence ETo de Penman-Monteith						
Pays : ALGERIE		Station climatique : GHARDAIA		(ans)		
Altitude : 468 mètres		Coordonnées : 32.40 LN		3.80 LE		
Mois	Temp moy °C	Humidité %	Vent km/jour	Insol. heures	Radiation MJ/m ² ·jour	ETo-PenMon mm/jour
Janvier	11.7	60	423	7.7	4.1	2.66
Février	13.9	39	389	9.3	6.0	4.24
Mars	16.0	53	518	7.9	8.9	4.65
Avril	18.6	40	475	11.2	12.6	6.57
Novembre	15.3	67	389	6.4	4.8	2.68
Décembre	11.8	60	276	8.1	3.5	2.17
ANNEE	14.6	53	412	8.4	6.6	690

Tableau II-2-1: Evapotranspiration de référence, avec les données climatologiques de la saison 1993/94.

Evapotranspiration de la culture et Besoins d'Irrigation								
Fich. du climat:				Station climatique:GHARDAIA				
Culture : BLE D'HIVER				Date de plant.: 10 Novembre				
Mois	Déc.	Phase	Coeff Kc	ETcult mm/jour	ETcult mm/déc	Pluie effic. mm/déc	Besoins d'Irr. mm/jour	Besoins d'Irr. mm/déc
Nov	2	init	0.40	1.16	11.6	0.0	1.16	11.6
Nov	3	init	0.40	1.07	10.7	0.0	1.07	10.7
Déc	1	in/dé	0.44	1.02	10.2	0.0	1.02	10.2
Déc	2	déve	0.58	1.21	12.1	0.0	1.21	12.1
Déc	3	déve	0.76	1.74	17.4	0.0	1.74	17.4
Jan	1	déve	0.93	2.30	23.0	0.0	2.30	23.0
Jan	2	déve	1.11	2.89	28.9	0.0	2.89	28.9
Jan	3	mi	1.20	3.76	37.6	0.0	3.76	37.6
Fév	1	mi	1.20	4.52	45.2	0.0	4.52	45.2
Fév	2	mi	1.20	5.16	51.6	0.0	5.16	51.6
Fév	3	mi	1.20	5.32	53.2	0.0	5.32	53.2
Mar	1	mi	1.20	5.36	53.6	0.0	5.36	53.6
Mar	2	mi	1.20	5.52	55.2	0.0	5.52	55.2
Mar	3	mi/ar	1.18	6.19	61.9	0.0	6.19	61.9
Avr	1	arr	1.10	7.30	73.0	0.0	7.30	73.0
Avr	2	arr	1.00	7.60	76.0	0.0	7.60	76.0
Avr	3	arr	0.90	4.86	48.6	0.0	4.86	48.6
Mai	1	arr	0.80	1.92	19.2	0.0	1.92	19.2
TOTAL					689.0	0.0		689.0

Tableau II-2-2: Besoins en eau de la culture, avec les données climatologiques de la saison 1993/94.

Evapotranspiration de référence ETo de Penman-Monteith						
Pays : ALGERIE		Station climatique : GHARDAIA (ans)				
Altitude : 468 mètres		Coordonnées : 32.40 LN 3.80 LE				
Mois	Temp moy °C	Humidité %	Vent km/jour	Insol. heures	Radiation MJ/m ² ·jour	ETo-PenMon mm/jour
Janvier	10.8	54	344	7.6	3.9	2.60
Février	13.8	46	365	9.0	6.2	3.78
Mars	16.1	39	393	9.6	9.2	5.17
Avril	19.9	35	411	9.9	11.7	6.74
Novembre	15.4	54	288	6.5	4.5	2.97
Décembre	11.6	55	334	7.4	3.3	2.52
ANNEE	14.6	47	356	8.3	6.4	716

Tableau II-2-3: Evapotranspiration de référence, avec les données climatologiques de la décennie 77-86.

Evapotranspiration de la culture et Besoins d'Irrigation								
Fich. du climat:			Station climatique:GHARDAIA					
Culture : BLE D'HIVER			Date de plant.: 10 Novembre					
Mois	Déc.	Phase	Coeff Kc	ETcult mm/jour	ETcult mm/déc	Pluie effic. mm/déc	Besoins d'Irr. mm/jour	Besoins d'Irr. mm/déc
Nov	2	init	0.40	1.32	13.2	0.0	1.32	13.2
Nov	3	init	0.40	1.21	12.1	0.0	1.21	12.1
Déc	1	in/dé	0.44	1.19	11.9	0.0	1.19	11.9
Déc	2	déve	0.58	1.44	14.4	0.0	1.44	14.4
Déc	3	déve	0.76	1.91	19.1	0.0	1.91	19.1
Jan	1	déve	0.93	2.33	23.3	0.0	2.33	23.3
Jan	2	déve	1.11	2.78	27.8	0.0	2.78	27.8
Jan	3	mi	1.20	3.52	35.2	0.0	3.52	35.2
Fév	1	mi	1.20	4.08	40.8	0.0	4.08	40.8
Fév	2	mi	1.20	4.56	45.6	0.0	4.56	45.6
Fév	3	mi	1.20	5.12	51.2	0.0	5.12	51.2
Mar	1	mi	1.20	5.68	56.8	0.0	5.68	56.8
Mar	2	mi	1.20	6.24	62.4	0.0	6.24	62.4
Mar	3	mi/ar	1.18	6.70	67.0	0.0	6.70	67.0
Avr	1	arr	1.10	7.33	73.3	0.0	7.33	73.3
Avr	2	arr	1.00	7.40	74.0	0.0	7.40	74.0
Avr	3	arr	0.90	5.34	53.4	0.0	5.34	53.4
Mai	1	arr	0.80	3.28	32.8	0.0	3.28	32.8
TOTAL					714.4	0.0		714.4

Tableau II-2-4: Besoins en eau de la culture, avec les données climatologiques de la décennie 77-86.

PARTIE III: DEROULEMENT DE L'ESSAI.

Chapitre III-1: Matériel et méthode expérimentale.

Chapitre III-1: MATERIEL ET METHODE EXPERIMENTALE.

Notre expérimentation consiste en des prélèvements et mesures in-situ et en laboratoire.

Elle est résumée comme suit:

Partie I:

- Détermination du taux d'humidité initiale (avant irrigation).
- Détermination de la répartition de l'eau à la surface du sol pendant l'irrigation.
- Détermination de la répartition de l'eau infiltrée, après irrigation et ressuyage (24 heures après irrigation).

Ces trois procédés sont répétés dans le temps quatre (04) fois en différents stades végétatifs de la culture; afin d'étudier la performance des irrigations dans le temps et l'espace du pivot durant le cycle végétatif.

La pression et le débit à l'amont du pivot sont mesurés à chaque fois; afin de déterminer le niveau de stabilité de la pression durant chaque irrigation et entre les irrigations.

Partie II:

- Détermination des débits et pressions aux différentes buses. Cela pourrait nous aider à déduire certaines causes de la non-uniformité de distribution d'eau.

Partie III:

- Estimation des variations de rendement le long du rayon choisi pour la détermination de l'eau infiltrée.
-

Matériel utilisé:

Au niveau de la parcelle:

- Une tarière agronomique pour prélèvement des échantillons de sol.
- Des récipients identiques utilisés comme pluviomètres. Pour cela, nous avons choisi des bidons métalliques d'huile de table (5l). Ceux-ci présentent une surface réceptrice de 232.35 cm².
- Des éprouvettes de différentes contenances pour mesurer les volumes d'eau retenus dans les pluviomètres.
- Des sachets en plastiques de 500grs, pour emballage des échantillons de sol.
- Un débitmètre à ultrasons, pour la mesure du débit en tête du pivot.
- Un manomètre (étalonné au laboratoire d'hydraulique de l'école).
- Un bidon métallique gradué de contenance 10l.
- Un chronomètre, pour la mesure des débits aux buses.
- Des baguettes en bois formant un carré de 1m de côté, pour les prélèvements des échantillons à la récolte.

Au niveau du laboratoire:

- Une étuve électrique (105°C).
 - Une balance de précision.
-

Détermination du taux d'humidité du sol:

On utilise pour cela la méthode traditionnelle (de la double pesée). Des prélèvements à la tarière d'échantillons de sol sont réalisés sur sept (07) profils et à deux (02) horizons par profil (0-20 cm; 20-40 cm). Les sept profils sont choisis le long d'un rayon fixé sur le disque couvert par le pivot. Les six premiers correspondent aux milieux des travées, le septième est à l'extrémité de la porte-à-faux; c'est à dire de la rampe .

Ces échantillons, renfermés dans des sachets en plastiques, sont ramenés au laboratoire (*). Ils sont alors pesés avant et après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. La différence de masse que divise la masse initiale (avant séchage) nous donne l'humidité pondérale. Le passage à l'humidité volumique est obtenu par multiplication par la densité apparente du sol.

Le même procédé est appliqué:

- Avant irrigation pour avoir l'état d'humidité du sol.
- Après irrigation pour avoir la répartition de l'eau infiltrée.

(*): Laboratoire de l'Institut National de Protection des Végétaux; Lechbour-GHARDAIA.

Détermination de la répartition de l'eau à la surface du sol:

Pour cela, nous avons disposé des pluviomètres tout le long d'un rayon du disque couvert par le pivot. La disposition est aléatoire, cependant la position de chaque pluviomètre est notée. En outre, durant les différentes expériences, une disposition plus dense des pluviomètres est appliquée sous une certaine travée. Ceci a concerné les travées IV, V et VI; vu qu'elles arrosent les trois plus grandes portions du disque.

Après passage du pivot, les quantités d'eau retenues dans les bidons sont mesurées par les éprouvettes graduées et divisées par l'aire de la surface réceptrice pour avoir l'équivalent en hauteurs d'eau appliquées.

Par ailleurs, le calcul des aires correspondantes aux relevés est tenu en supposant que la surface représentée par chaque pluviomètre est une bande circulaire telle que montré sur la figure III-1-1.

On détermine donc ces aires comme suit:

$$a_i = R_i \cdot 2\pi \cdot \left[\frac{R_{i+1} - R_{i-1}}{2} \right]; \quad 1 < i < n$$

avec:

a_i : aire représentée par le $i^{\text{ème}}$ pluviomètre.

R_i : rayon définissant la position du $i^{\text{ème}}$ pluviomètre.

n : nombre total de pluviomètres.

Pour les relevés extrêmes, on a:

$$a_1 = R_1 \cdot 2\pi \cdot \left[\frac{R_1 + R_2}{2} - X \right]$$

avec:

$$a_n = R_n \cdot 2\pi \cdot \left[Y - \frac{R_n + R_{n-1}}{2} \right]$$

X : Rayon définissant le début de la surface cultivée, estimé à 3m.

Y : Rayon arrosé par toute la rampe.

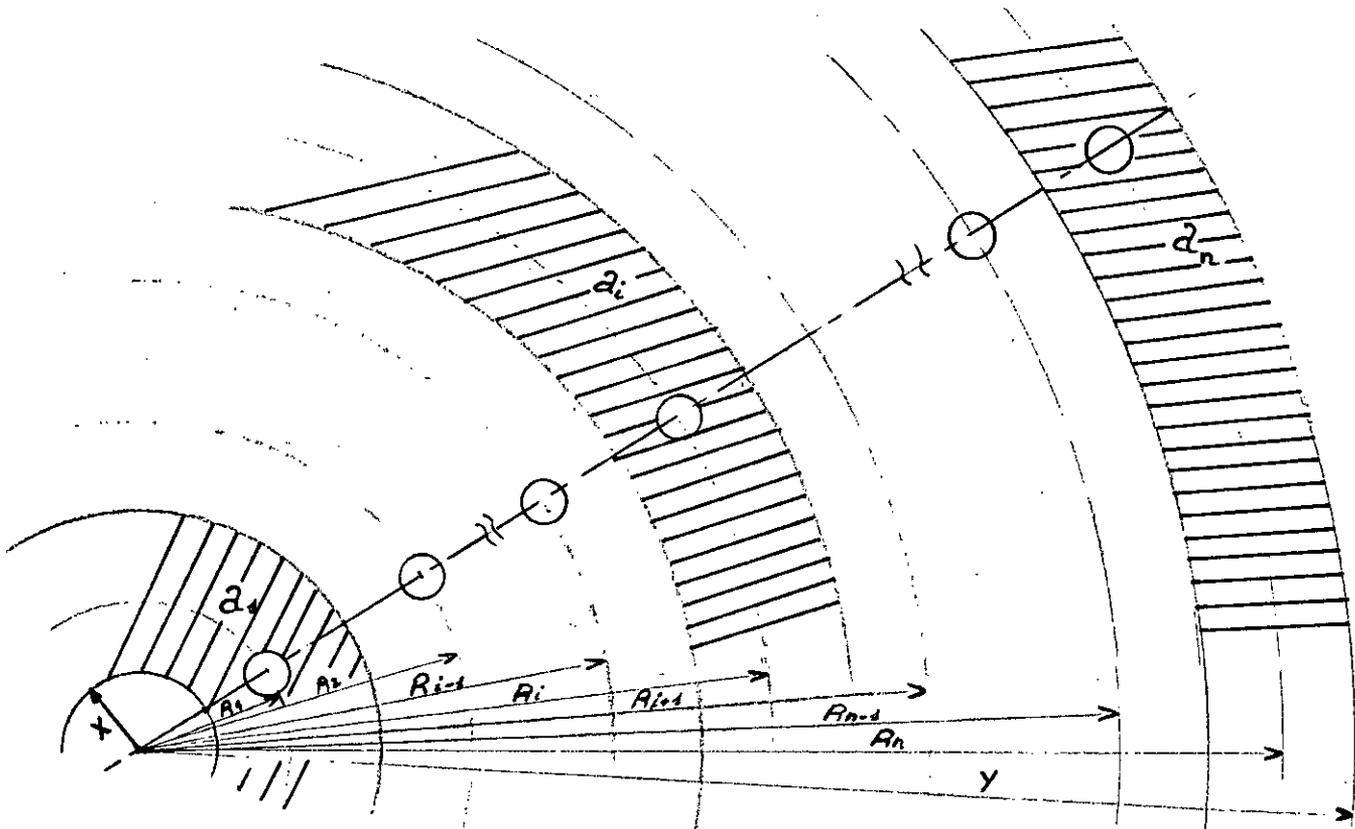


Fig.III-1-1: Calcul des aires représentées par les pluviomètres.

Détermination des pressions et débits aux différentes buses:

La pression totale dans la buse, c'est à dire la pression statique à l'aval de la prise dans la conduite principale (fig.III-1-2), est obtenue par lecture directe sur le manomètre. Celui-ci est relié à la buse à l' aide d'une rallonge flexible.

Le débit est obtenu par mesure du temps nécessaire pour le remplissage d'un récipient de volume connu, égal à 10l sauf pour les premières buses (prés du centre) où le débit est très faible et le volume de calcul est limité à 2 ou 3l selon les cas.

L'erreur de mesure de la pression est prise égale à l'erreur de lecture sur le cadran du manomètre; c'est à dire environ 0.05 bar.

L'erreur de mesure du débit est obtenue par le calcul :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta T}{T};$$

et on estime:

$$\Delta V = 0.2l; \quad \Delta T = 0.5s;$$

Estimation des variations de rendements:

Pour cela, un carré en baguettes de bois de 1m *1m est posé sur la culture lors de la récolte. Les épis à l'intérieur du carré sont fauchés et battus. Les grains obtenus sont pesés et l'équivalent en nombre de quintaux par hectare est calculé. L'essai est répété sept (07) fois aux endroits choisis pour la détermination de l'eau infiltrée.

PARTIE IV: RESULTATS ET TRAITEMENTS.

Chapitre IV-1: Etude de la distribution de l'eau en surface.

Chapitre IV-2: Etude de la distribution de l'eau infiltrée.

Chapitre IV-3: Etude hydraulique de la rampe.

Chapitre IV-4: Evaluation des variations de rendements.

Chapitre IV-1: ETUDE DE LA DISTRIBUTION DE L'EAU EN SURFACE.

Les résultats obtenus sont présentés dans les figures IV-1-1 à IV-1-4. Par ailleurs, un tableau des valeurs est donné en annexe.

On remarque de fortes fluctuations autour de la valeur moyenne, notamment près du centre du pivot où l'effet est accentué et l'apport global est très réduit par rapport à la moyenne. Ceci est clairement indiqué par les relevés du 13/04/94 et 14/04/94, pour lesquels les pluviomètres étaient placés aux milieux de deux buses avoisinantes. Ce qui signifie que le recouvrement des jets est très insuffisant.

Analyse statistique :

Pour les quatre expériences, les mesures nous donnent la distribution de l'eau en fonction de la distance au centre du pivot. Il s'agit alors d'établir :

- La pondération des valeurs par les surfaces qu'elles représentent.
- Le classement des résultats par ordre décroissant.
- La correspondance: Hauteur d'eau-Fraction de surface cumulée ayant reçue au moins cette lame d'eau, afin de représenter le profil de distribution de l'eau en surface.
- Le calcul des paramètres de distribution et de performance; à savoir :
 - Moyenne pondérée x_p pour estimer la dose déversée, afin de calculer l'efficacité (chapitre IV-2).
 - Moyenne arithmétique, \bar{x} .
 - Ecart-type, σ_{n-1} .
 - Coefficient de variation, C_v .

-Coefficient d'uniformité de Christiansen :

$$U_{cc} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (|X_i - \bar{X}|)}{n \bar{X}}$$

-Coefficient d'uniformité de Wilcox et Swailes [6] :

$$C_{ws} = 1 - \frac{\sigma_{n-1}}{\bar{X}}$$

-Efficacité du modèle (Criddle et al.(1965)dans [6]) :

$$E_m = \frac{x^*}{\bar{X}}; \text{ avec :}$$

x^* : moyenne du quart des observations les plus faibles.

Résultats :

L'analyse statistique est résumée dans le tableau ci-dessous:

Les figures IV-1-5 à 8 présentent les profils de distribution de l'eau en surface.

Paramètres	Expériences			
	14/01/94	23/02/94	13/04/94	14/04/94
Paramètres standards :				
x_n [mm]	4.7	5.4	4.8	5.3
x [mm]	4.8	5.5	4.3	5.0
σ_{n-1}	1.8	2.1	1.7	1.7
σ_n	1.8	2.1	1.7	1.7
C_v	0.39	0.39	0.38	0.33
Min [mm]	0.8	0.6	0.6	0.8
Max [mm]	10.5	16.4	7.4	8.2
Paramètres de performance :				
U_{cc}	0.71	0.77	0.69	0.73
C_{ws}	0.61	0.61	0.61	0.66
E_m	0.56	0.63	0.49	0.56

Tableau IV-1-1: Analyse de la distribution de l'eau en surface.

Normes de satisfaction d'un système d'irrigation d'après Hart, 1979 et Christiansen, 1942 dans [6] :

Un système d'irrigation par aspersion est jugé satisfaisant si :

$$\begin{aligned} U_{cc} &\geq 0,80 & ; \\ E_m &\geq 0,75 & ; \\ C_v &\leq 0,25 & . \end{aligned}$$

Conclusion :

Pour les quatre expériences, ces normes sont loin d'être respectées, bien que les expériences soient faites dans des conditions où la présence d'un vent important n'a pas été remarquée, sans faire pour cela des mesures appropriées (ne disposant pas d'un anémomètre). Cela veut juste dire que l'action du vent était sans grande importance lors de la prise des mesures, sans pour autant la considérer inexistante.

A cet effet, le système d'irrigation est jugé très insatisfaisant, surtout s'il est utilisé pour la fertigation.

Fig.IV-1-1: RELEVES PLUVIOMETRIQUES D'ASPERSION (14/01/94).

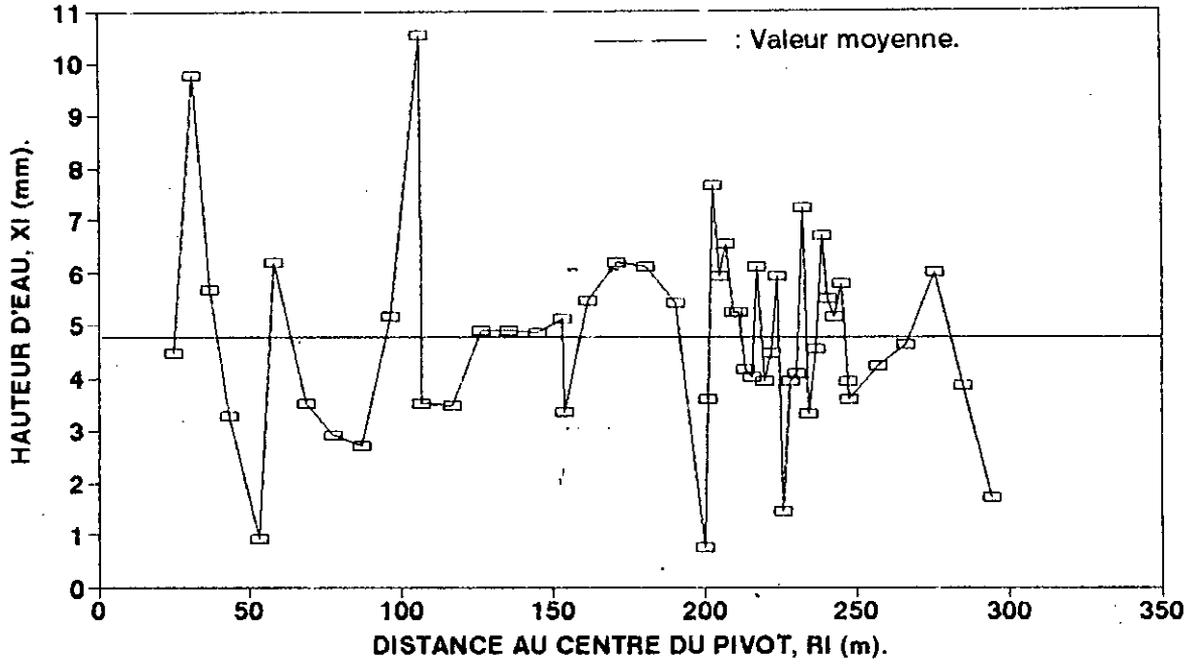


Fig.IV-1-2: RELEVES PLUVIOMETRIQUES D'ASPERSION (23/02/94).

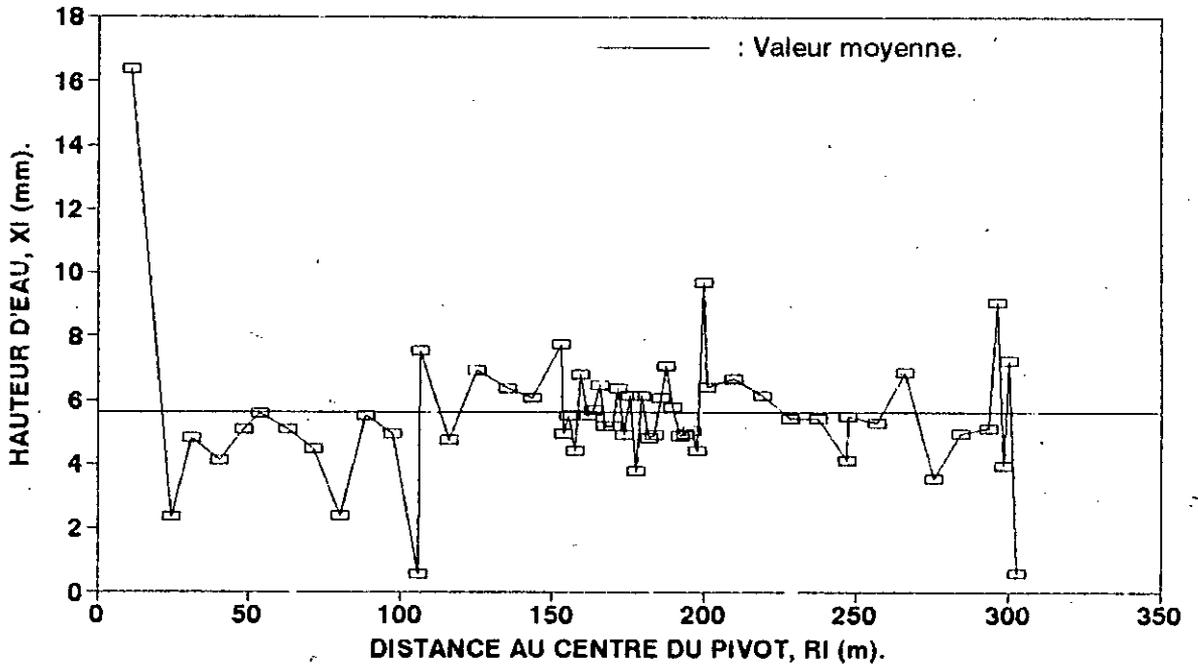


Fig.IV-1-3: RELEVES PLUVIOMETRIQUES D'ASPERSION (13/04 et 14/04 1994).

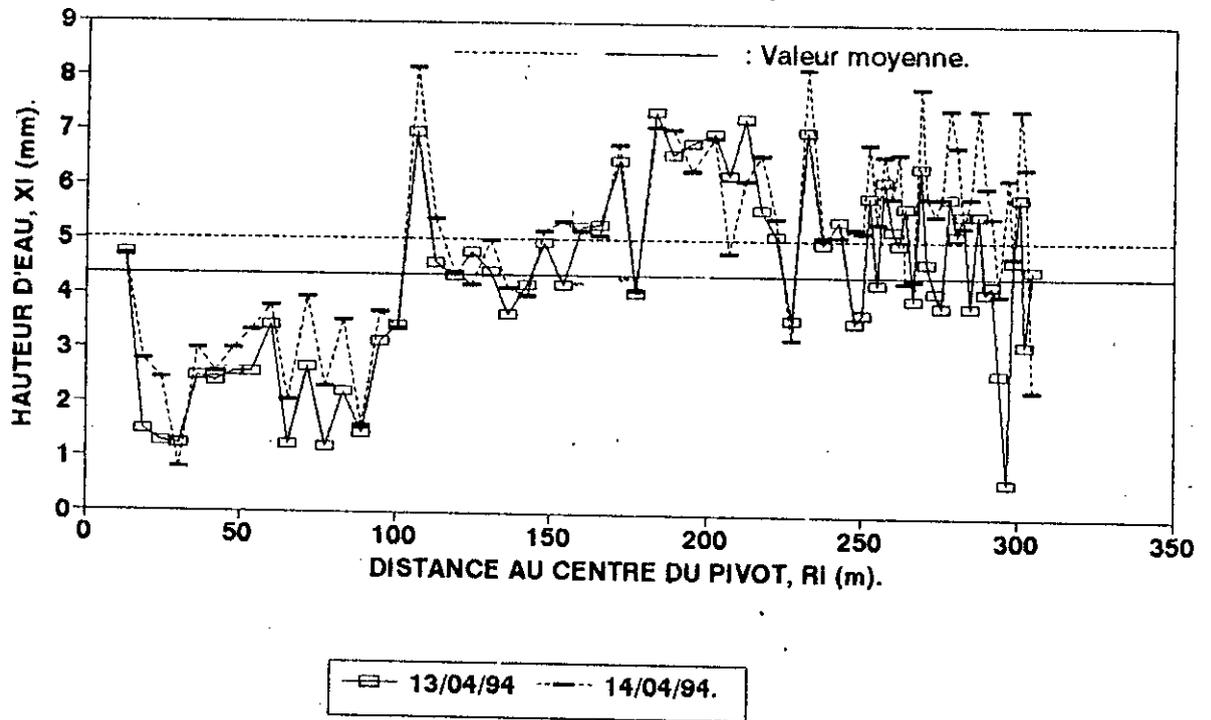


Fig.IV-1-4: RELEVES PLUVIOMETRIQUES D'ASPERSION (13/04+14/04, cumulés).

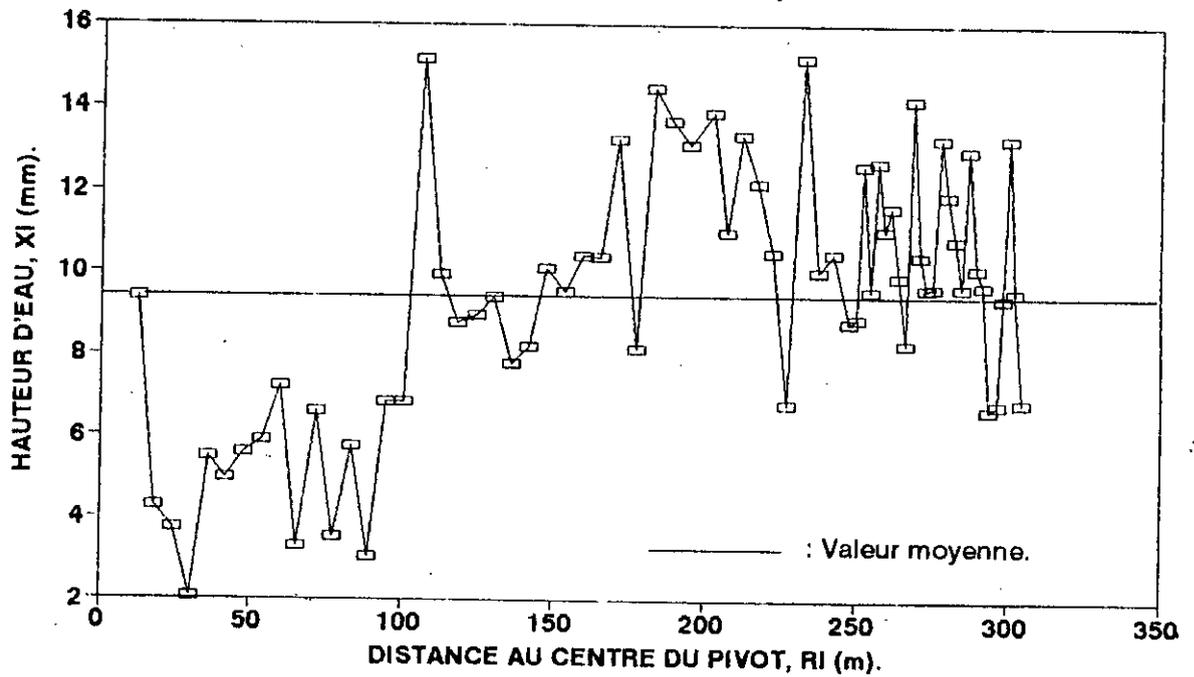


Fig.IV-1-5: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU EN SURFACE (14/01/94)

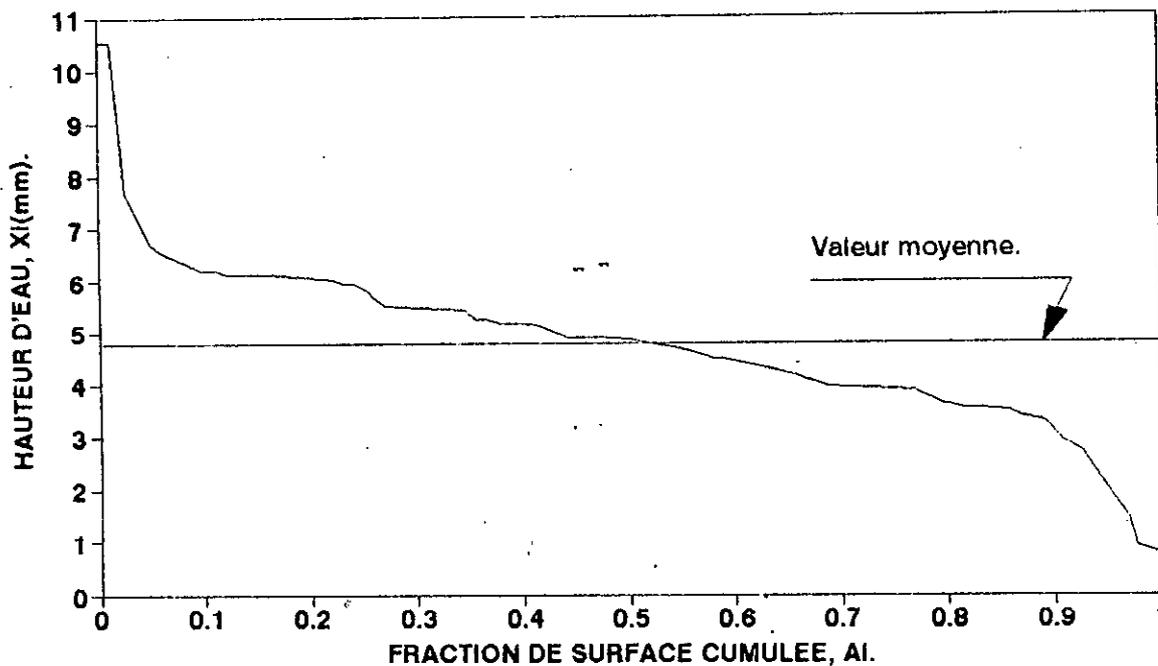


Fig.IV-1-6: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU EN SURFACE (23/02/94).

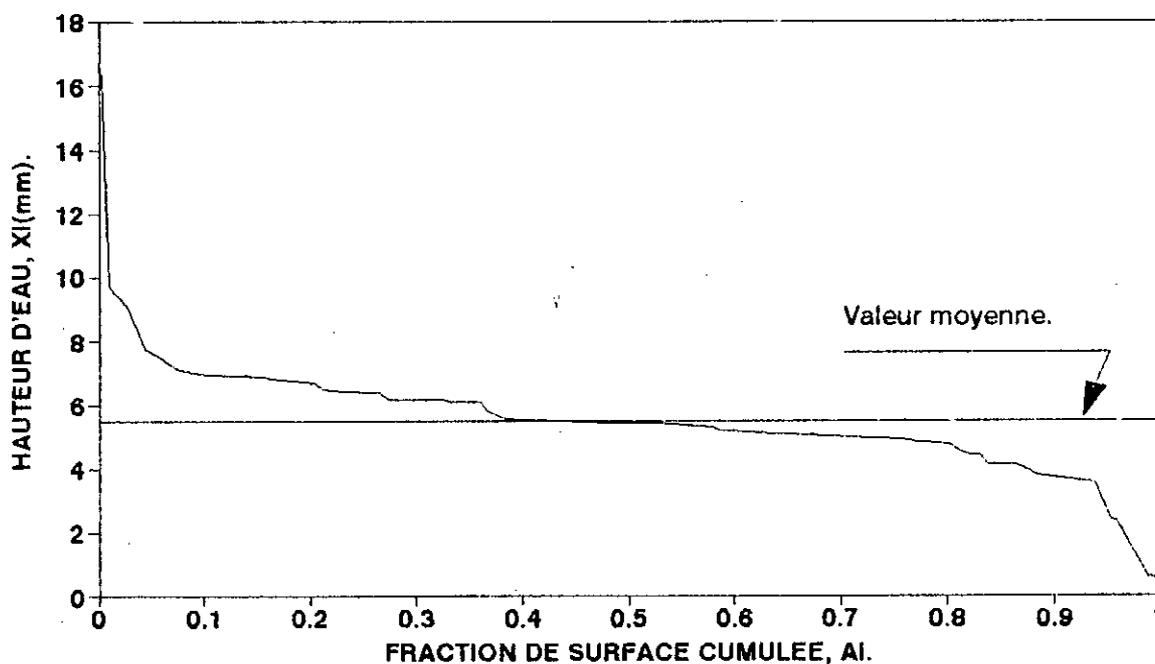


Fig.IV-1-7: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU EN SURFACE (13/04/94).

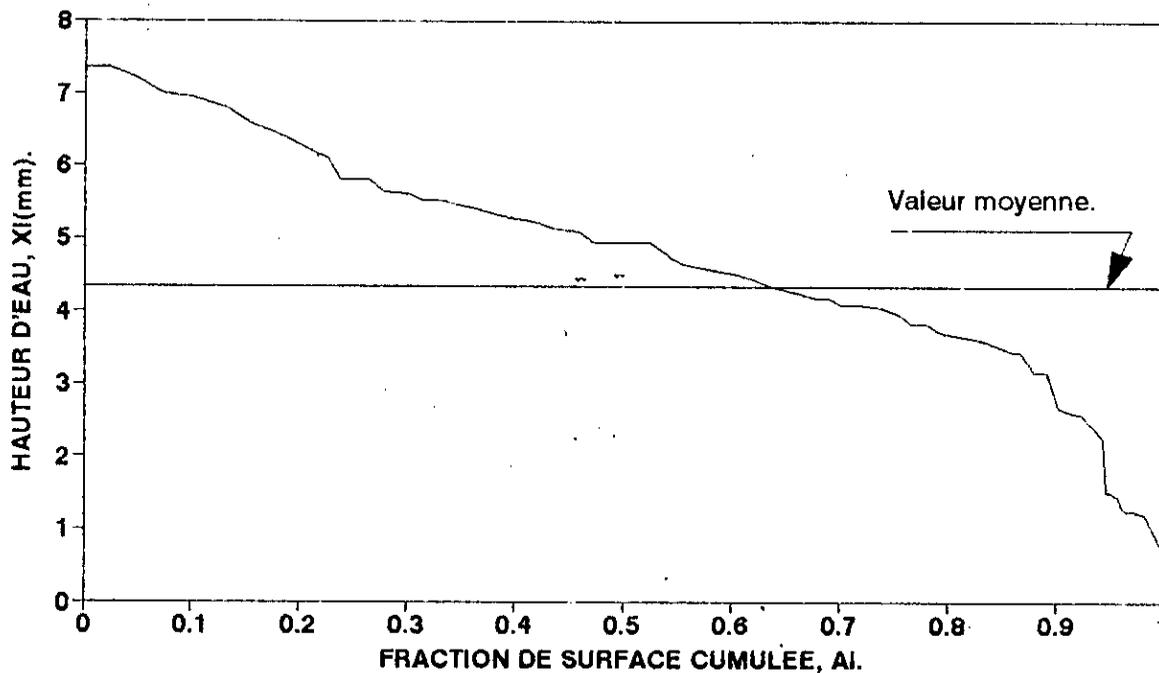
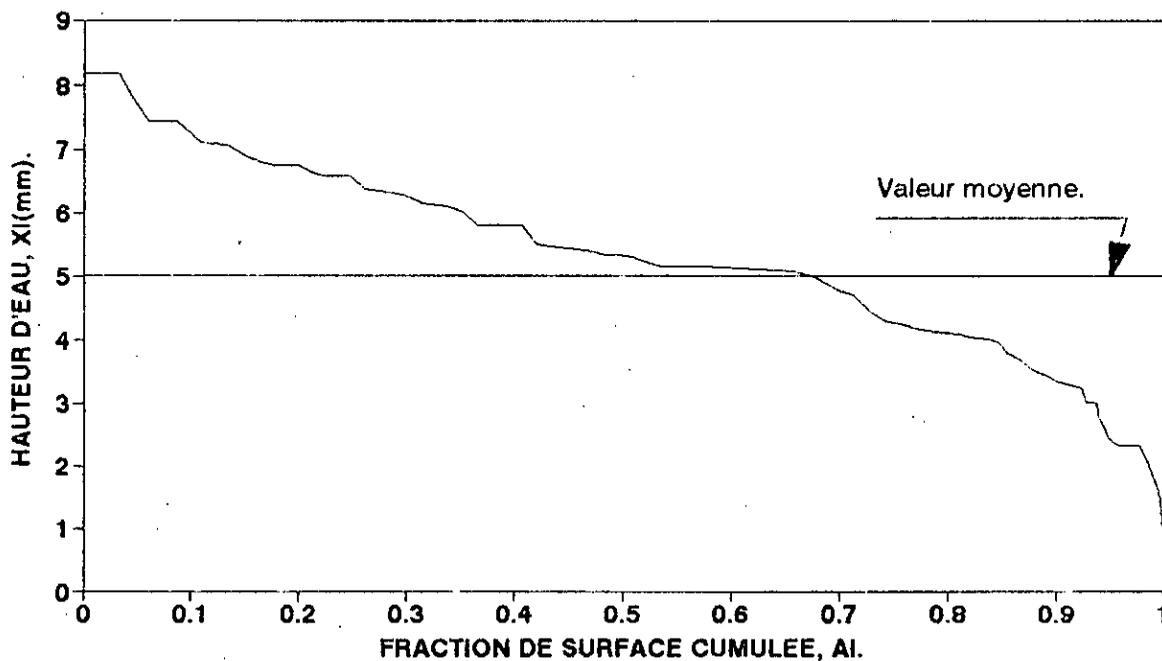


Fig.IV-1-8: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU EN SURFACE (14/04/94).



Chapitre IV-2: ETUDE DE LA DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE.

Les résultats obtenus sont présentés dans les figures IV-2-1 à 4. Par ailleurs, un tableau des valeurs est donné en annexe.

Analyse et traitements :

Il s'agit d'établir pour les quatre séries de mesures :

Partie A : Détermination des paramètres de performances :

- Classement par ordre décroissant des hauteurs d'eau infiltrées avant et après irrigation.
 - Correspondance: hauteur d'eau infiltrée-fraction de la surface cumulée ayant au moins cette hauteur d'eau.
 - Ajustement des résultats avec :
 - *En abscisses: la fraction de surface cumulée A_i .
 - *En ordonnées: la hauteur d'eau infiltrée Y_i (mm).
 - Représentation graphique des résultats avec :
 - *Nuage de points expérimentaux.
 - *Courbe d'ajustement.
 - Détermination des valeurs moyennes pondérées pour les relevés avant et après irrigation.
 - Détermination de la dose requise .On adopte la dose définie par Hart et al.(1979) et qui est la valeur de la réserve facilement utilisable (R.F.U).
 - Calcul du volume total infiltré (dans la zone prospectée par les racines). Pour cela , on intègre la courbe d'ajustement sur l'intervalle compris entre l'abscisse du premier point et la valeur unité. Le résultat obtenu est ajouté au produit de l'abscisse du premier point par son ordonnée (fig.IV-2-6).
 - Calcul des volumes en déficits et en excès par rapport à la moyenne et à la dose requise , par calcul intégral (fig.IV-2-7:8).
-

-Détermination de la dose fournie par la machine. Celle-ci est sensiblement la même pour toutes les irrigations. Le détail du calcul est donné dans l'illustration.

-Détermination de la dose reçue à la surface du sol: C'est la valeur moyenne des relevés de l'ensemble des pluviomètres. Elle représente la dose apportée par la machine, diminuée des pertes autres que par percolation; c'est à dire l'évaporation(le ruissellement étant négligé, vu le sol sableux).

-Calcul des différentes efficiences et paramètres de distribution définis au préalable dans la partie bibliographique.

Partie B : Mise en évidence du stress hydrique et de l'excédent d'eau :

-Détermination des points de flétrissement permanent et temporaire (point de danger).

-Calcul des fractions de surface en dessous des deux points de flétrissement, avant et après irrigation.

-Calcul des fractions de surface en dessus de la capacité de rétention.

A titre d'illustration, tous les détails de calculs sont expliqués pour l'étude de la première série de mesures. Pour le reste, seulement les résultats sont présentés sous forme de tableaux.

Illustration-Etude de l'expérience I :

Exceptionnellement pour cette expérience, la profondeur étudiée, celle des racines, est égale à 25cm.

Partie A :

-Tableau IV-2-1: Résultats des mesures :

Profil	Surface [m ²]	Hauteur AVIR [mm]	Hauteur APIR [mm]
1	9072	13.4	20.3
2	26340	22.5	21.9
3	38052	17.5	23.8
4	52092	17.9	22.4
5	65568	14.2	31.7
6	79608	25.3	29.4
7	21948	10.6	21.7

-Classement par ordre décroissant et correspondance avec la fraction de surface cumulée :

Tableau IV-2-2-a: Hauteurs d'eau avant irrigation.

Hauteur, Y _i [mm]	Surface, s _i [m ²]	Surface Cumulée, S _i	Fraction de surface cumulée, A _i =S _i /S _t
25.3	79608	79608	0,272
22.5	26340	105948	0,362
17.9	52092	158040	0,539
17.5	38052	196092	0,670
14.2	65568	261660	0,894
13.4	9072	270732	0,925
10.6	21948	292680	1,000

Tableau IV-2-2-b: Hauteurs d'eau après irrigation.

Hauteur, y_i [mm]	Surface, s_i [m ²]	Surface cumulée, S_i [m ²]	Fraction de surface cumulée, A_i
31.7	65568	65568	0.224
29.4	79608	145176	0.496
23.8	38052	183228	0.626
22.4	52092	235320	0.804
21.9	26340	261660	0.894
21.7	21948	283608	0.969
20.3	9072	292680	1.000

-Ajustement des résultats par des lois théoriques:

Pour cela, nous avons utilisé le logiciel CURVEFIT, dont une description succincte est donnée en annexe. Il a donné les résultats suivants:

-Avant irrigation: $Y(A) = a + b.A + c/A$;

avec: $a = 22.6899$, $b = -12.4401$, $c = 1.5842$

-Après irrigation: $Y(A) = a + b/A + c/A^2$;

avec: $a = 9.4554$, $b = 12.8530$, $c = -1.7604$

-Détermination des valeurs moyennes pondérées. Chaque hauteur est pondérée par la surface qu'elle représente:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

Ce qui a donné les résultats suivants :

	\bar{Y}_{avir}	\bar{Y}_{anir}
[mm]	18.8	26.4
[% / C_T]	41.7	58.7

-Détermination de la dose requise: Elle est définie, dans le cas de la méthode appliquée, par la réserve facilement utilisable (R.F.U):

$$Y_r = RFU = \alpha \cdot RU;$$

avec: $RU = h \cdot (H_{cr} - H_{pf})$; h : profondeur des racines en [mm].

H_{cr} : humidité à la capacité de rétention (%).

H_{pf} : humidité au point de flétrissement permanent (%), $H_{pf} = H_{cr}/2$.

Application numérique :

$$RU = 2,5 \cdot (18 - 18/2) = 22,5 \text{ mm}$$

$$Y_r = RFU = 2/3 \cdot 22,5 = 15 \text{ mm}$$

-Calcul du volume total infiltré :

Le volume infiltré est représenté par la zone hachurée de la figure IV-2-6. Il est donc égal à :

$$Y_r = 0,224 \times 31,7 + \int_{0,224}^1 \left[a + \frac{b}{A} + \frac{c}{A^2} \right] \cdot dA$$

$$Y_r = 0,224 \times 16,3 + \left[a \cdot A + b \cdot \ln(A) - \frac{c}{A} \right]_{0,224}^1$$

avec : $a = 9.4554$, $b = 12.8530$, $c = -1.7604$

Application numérique : $Y_r = 27.6 \text{ mm}$.

-Calcul des volumes en déficits et en excès par rapport à la moyenne infiltrée

et à la dose requise :

a/-Déficit par rapport à la moyenne infiltrée (fig.IV-2-7):

On calcul d'abord le point A_0 d'intersection de la courbe théorique ajustée avec la droite horizontale d'ordonnée Y_{apir} . Ce calcul est établi par approximations successives sur un calculateur programmé d'origine. Ensuite, on calcule l'aire hachurée sur la figure IV-2-7 par l'intégrale :

$$Y_c = \int_{A_0}^1 [\bar{Y} - Y(A)] \cdot dA$$

$$Y_c = [(\bar{Y} - a) \cdot A - b \cdot \ln(A) - \frac{c}{A}]_{A_0}^1 ; A_0 = 0,58$$

Application numérique : $Y_c = 1,4 \text{ mm}$.

b/-Excès par rapport à la moyenne infiltrée (fig.IV-2-7):

$$Y_p = (Y_{\max} - \bar{Y}) \cdot 0,224 + \int_{0,224}^{A_0} [Y(A) - \bar{Y}] \cdot dA$$

$$Y_p = (Y_{\max} - \bar{Y}) \cdot 0,224 + [(a - \bar{Y}) \cdot A + b \cdot \ln(A) - \frac{c}{A}] \cdot 0,224$$

Application numérique: $Y_{\max} = 31.7$ mm; $A_0 = 0.58$; d'où: $Y_f = 2.6$ mm.

c/-Déficit par rapport à la dose requise (fig.IV-2-8):

On remarque que la valeur de la dose requise est inférieure à la hauteur minimale infiltrée.

Aucun déficit n'est donc à signaler.

d/-Excès par rapport à la dose requise (fig.IV-2-8):

$$Y_E = (Y_{\max} - Y_R) \cdot 0,224 + \int_{0,224}^1 [(a - Y_R) + \frac{b}{A} + \frac{c}{A^2}] \cdot dA$$

$$Y_E = (Y_{\max} - Y_R) \cdot 0,224 + [(a - Y_R) \cdot A + b \cdot \ln(A) - \frac{c}{A}] \cdot 0,224$$

Application numérique: $Y_{\max} = 31.7$ mm; $Y_r = 13.7$ mm; d'où: $Y_e = 13.9$ mm.

-Calcul de la dose fournie par la machine :

La mesure du débit en tête de la rampe, par débitmètre à ultrasons, indique une valeur de 26 l/s.

Par ailleurs, la vitesse de rotation de la machine est égale à 60% de sa valeur maximale qui ferait parcourir la rampe les 360° en 15,17 heures (15h10min). Ce qui permet d'avoir le volume dépensé pour un tour complet: $V = 26 \times 15,17 / 0,60 \times 3600 = 2.366.522$ l. Ce volume, ramené à la surface irriguée, nous donne la lame d'eau déversée :

$$Y_D = \frac{V}{S} = \frac{2.366.522}{\pi \cdot (309,4)^2} = 7,9 \text{ mm.}$$

Par ailleurs, le débit en tête de rampe ainsi que sa vitesse de rotation n'ont pas changé durant toute la période d'essai.

-Calcul de la dose reçue à la surface du sol :

Elle est donnée par la valeur moyenne des quantités d'eau reçues dans les pluviomètres.

Par ailleurs, le ruissellement étant négligé sur un sol sableux avec une pente pratiquement nulle, cette valeur devrait représenter la quantité d'eau délivrée par la machine et diminuée des pertes par évaporation. Ce qui permet de calculer l'efficacité de délivrance définie par Hart et al.(1979).

Cependant, il est à noter que les résultats obtenus ne paraissent pas cohérents avec les considérations prises malgré toute leur légitimité.

En effet, la moyenne de l'eau reçue par les pluviomètres est de 4.7 mm, alors que la dose déversée par la machine est de 7.9 mm. La différence, supposée perdue par évaporation, représente 41% de la dose déversée. Ce résultat est sensiblement le même pour les quatre expériences, ce qui paraît exagéré. Cependant, lors de l'étude de la distribution de l'eau en surface (Chapitre:IV-1), on a constaté que le recouvrement des jets était très faible, du moins près du centre. Il y aurait donc une quantité considérable d'eau qui serait tombée entre deux bidons alors que ces derniers n'en reçoivent pas beaucoup. Ceci est sûrement dû à une faible pression de fonctionnement, (Chapitre:IV-3).

-Calcul des différentes efficacités et paramètres de distribution. Pour cela, on distingue :

a)-Paramètres définis par Hart et al.(1979) :

*Efficacité de stockage:

$$E_s = \frac{Y_R - Y_B}{Y_R}$$

En considérant la dose requise définie par Hart et al.(1979), aucun déficit ne serait à signaler; $Y_B=0$ d'où : $E_s=1$.

*Efficacité de percolation :

$$E_p = \frac{Y_R - Y_B}{Y_T} ; E_p = \frac{15 - 0}{27,6} = 0,54$$

*Efficacité de délivrance :

$$E_d = \frac{D - W}{D} ; E_d = \frac{4,7}{7,9} = 0,59$$

*Efficacité de distribution :

$$U_d = \frac{T - C}{T} ; U_d = \frac{27,6 - 1,4}{27,6} = 0,95$$

b)-Paramètres de distribution :

Ils sont appliqués aux quantités d'eau apportée par l'irrigation considérée; soit

$$Y_i = Y_{\text{apir}} - Y_{\text{avir}}$$

-Coefficient d'uniformité de Christiansen:

Il est défini par

$$U_{cc} = 1 - \frac{S}{\bar{y}} ; \text{ avec : } S = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}|}{n} ; n=7$$

S : écart moyen ; \bar{y} : moyenne arithmétique.

-Ecart type et coefficient de variation :

$$\sigma_{s-1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} ; C_v = \frac{\sigma}{\bar{y}}$$

Les résultats obtenus sont donnés ci-après :

Profil	1	2	3	4	5	6	7
Yi=Yapir-Yavir	8.5	2.4	9.4	8.1	21.4	8.3	18.8

Tableau IV-2-4: Quantités d'eau apportées par l'irrigation.

$$S= 5.2, \quad U_{cc}= 0.53, \quad \sigma= 6.7, \quad C_v= 0.61$$

Partie B :

-Détermination du point de flétrissement :

La valeur de celui-ci est prise égale à la moitié de celle de la capacité de rétention; $Y_{pf} = 1/2.Y_{cr}$
 d'où : $Y_{pf} = 22,5$ mm.

-Point de flétrissement temporaire (ou point de danger):

Défini par : $Y_{dg} = 2/3.Y_{cr}$ d'où : $Y_{dg} = 30$ mm.

-Fraction de surface en dessous du point de flétrissement :

Pour cela, on détermine, par approximations successives, l'abscisse du point d'intersection de la courbe théorique ajustée avec la droite horizontale d'ordonnée le point de flétrissement.

Le complément à l'unité de la valeur de cet abscisse constitue la fraction recherchée (fig.IV-2-9).

Le même procédé est appliqué pour le point de flétrissement temporaire.

Les résultats obtenus sont résumés ci-après :

*Fraction de surface en dessous de Y_{pf} après irrigation : 0,18

*Fraction de surface en dessous de Y_{dg} après irrigation : 0,58

*Fraction de surface en dessous de Y_{pf} avant irrigation : 0,64

*Fraction de surface en dessous de Y_{dg} avant irrigation : 0,83

Par ailleurs, la fraction de surface en dessus de la capacité de rétention après irrigation est prise égale à l'abscisse de l'intersection de la courbe d'ajustement avec la droite horizontale d'ordonnée la valeur du point de rétention. Cependant, dans cette expérience, le point de rétention étant supérieur à la valeur maximale observée, la fraction considérée est donc nulle.

Analyse et traitement des résultats-Expériences 2,3 et 4 :

Il est important de noter qu'à partir de la deuxième quinzaine de Mars, l'irrigation était programmée de sorte que la rampe fonctionne pendant 48^h (2 tours) et s'arrête pour la même durée. Durant notre expérimentation, les séries de mesures 3 et 4 correspondaient avec ce programme. Pour l'expérience 3, les prélèvements étaient après le premier tour, puis après le second. A cet effet, et pour la distinction, le premier prélèvement est noté APIR1, et le second, APIR2. Pour l'expérience 4, les prélèvements étaient avant irrigation (AVIR) et après le premier tour (APIR1).

L'analyse des résultats est similaire à celle décrite pour l'expérience 1. L'ensemble est résumé dans les tableaux IV-2-5 à 7. Les profils de distribution de l'eau infiltrée sont présentés en annexe.

Remarque:

Pour l'expérience 3, les relevés aux pluviomètres n'ont pas été effectués. Ne disposant donc pas de la dose (d-w), on ne peut calculer l'efficacité de délivrance pour cette date.

Partie A :

	Expr. 1	Expr. 2	Expr. 3	Expr. 4
Profondeur des racines [cm]	25	40	40	40
R.F.U [mm]	15	24	24	24
Moyenne pondérée; Y_{aair} [mm]	26.4	43.1	APIR 2 90.3	APIR 1 70.5
Déficit / R.F.U ; Y_b [mm]	0	0	0	0
Déficit / Y_{aair} ; Y_c [mm]	1.4	2.2	3.6	2.0
Volume délivré; Y_d [mm]	7.9	7.9	7.9	7.9
Volume infiltré; Y_{d-w} [mm]	4.7	5.4		5.3
Volume infiltré; Y_t [mm]	27.6	44.4	53.4	72.2
$E_s = \frac{Y_x - Y_e}{Y_x}$	1	1	1	1
$E_p = \frac{Y_2 - Y_3}{Y_T}$	0.54	0.54	0.26	0.33
$E_d = \frac{D - W}{D}$	0.59	0.68		0.67
$U_d = \frac{T - C}{T}$	0.95	0.95	0.96	0.97

Tableau IV-2-1: Evaluation de l'irrigation par la méthode de Hart et al.(1979).

	Expr. 1	Expr. 2	Expr. 3	Expr. 4
			APIR2	
S	5.2	3.8	3.3	4.2
U_{cc}	0.53	0.66	0.62	0.65
σ	6.70	4.83	5.45	6.34
C_v	0.61	0.42	0.62	0.52

Tableau IV-2-6: Paramètres de distribution et d'uniformité.

Partie B :

	Expr. 1	Expr. 2	Expr. 3	Expr. 4
Point de flétrissement permanent, $P_{f_{perm}}$ [mm]	22.5	36	36	36
Point de danger, $P_{f_{term}}$ [mm]	30	48	48	48
Point de rétention, C_r [mm]	45	72	72	72
Fraction de surface $< P_{f_{term}}$; APIR	0.58	0.61	APIR2 0	0
Fraction de surface $< P_{f_{perm}}$; APIR	0.18	0.13	APIR2 0	0
Fraction de surface $< P_{f_{term}}$; AVIR	0.83	1	APIR1 0	0.07
Fraction de surface $< P_{f_{perm}}$; AVIR	0.64	1	APIR1 0	0
Fraction de surface $> C_r$; APIR	0	0	0.94	0.64

Tableau IV-2-6: Etude du stress hydrique et de l'excès d'eau.

Conclusion :

Les paramètres de Hart et al. (1979) indiquent, pour l'ensemble des expériences :

- Un excellent résultat vis-à-vis de la satisfaction des besoins en eau ($E_s = 1$).
- De très importantes pertes en eau :

**Efficienc e de délivrance* de l'ordre de 0,60; c'est à dire que 40% de l'eau apportée est considérée ne pas atteindre le sol. Ceci est expliqué, dans l'étude de l'expérience 1, par l'existence de zones très défavorisées en apports d'eau. Ceci est dû à un mauvais recouvrement des jets vu la faible pression de fonctionnement.

**Efficienc e de percolation* à la limite au début des irrigations, mais très faible en fin de la période d'essai.

Cela revient donc à dire qu'en moyenne, pour les irrigations du mois d'Avril, seulement 18% ($E_d = 0,6$; $E_p = 0,3$; $E_p \cdot E_d = 0,18$) environ de l'eau apportée par la machine est exploitée par la culture. De plus, $E_s = 1$, cette quantité d'eau satisfait amplement les besoins de celle-ci (selon la méthode indiquée).

Par ailleurs, le tableau IV-2-7 indique, pour les deux premières expériences, un stress hydrique considérable, même après irrigation. Par conséquent, les apports d'eau sont insuffisants et l'efficienc e de stockage définie par Hart et al. (1979), $E_s = 1$, perd toute sa signification. Ceci est probablement dû au choix de la réserve facilement utilisable (R.F.U) comme dose requise; vu que, avant irrigation, le sol était en dessous du point de danger.

Contrairement au début, la période de Mars/Avril s'est montrée trop généreuse en apports d'eau; avec deux tours de rampe tout les deux jours. Dès le premier tour, le sol atteint en moyenne la saturation (pour l'expérience 4, 64 % de la surface est au-dessus de la capacité de rétention, 83 % dépasse les 89 % de cette valeur alors que toute la surface est en-dessus des 75 %). On en déduit donc que le second tour est presque supplémentaire. Par ailleurs, la figure IV-2-4 montre que la zone défavorisée est au centre du pivot. Ce manque est dû à un mauvais apport de la machine dans cet endroit (fig. IV-1-1 à 4). Ce qui mène à dire que si l'apport de la machine était plus uniforme, le second tour aurait été totalement en excès. Enfin, ceci confirme les efficienc es de percolation indiquées par la méthode de

Hart et al.(1979); ce qui n'est pas le cas pour les deux premières expériences.

En outre, la méthode indique une excellente uniformité de distribution d'eau dans la zone racinaire ($U_d > 0,9$), après irrigation. Cependant, en se référant aux seules quantités d'eau apportées par l'irrigation considérée, les coefficients de distribution (tableau IV-2-6) montrent une très mauvaise répartition.

Fig.IV-2-1: ETAT D'HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES IRRIGATION (Expérience1)

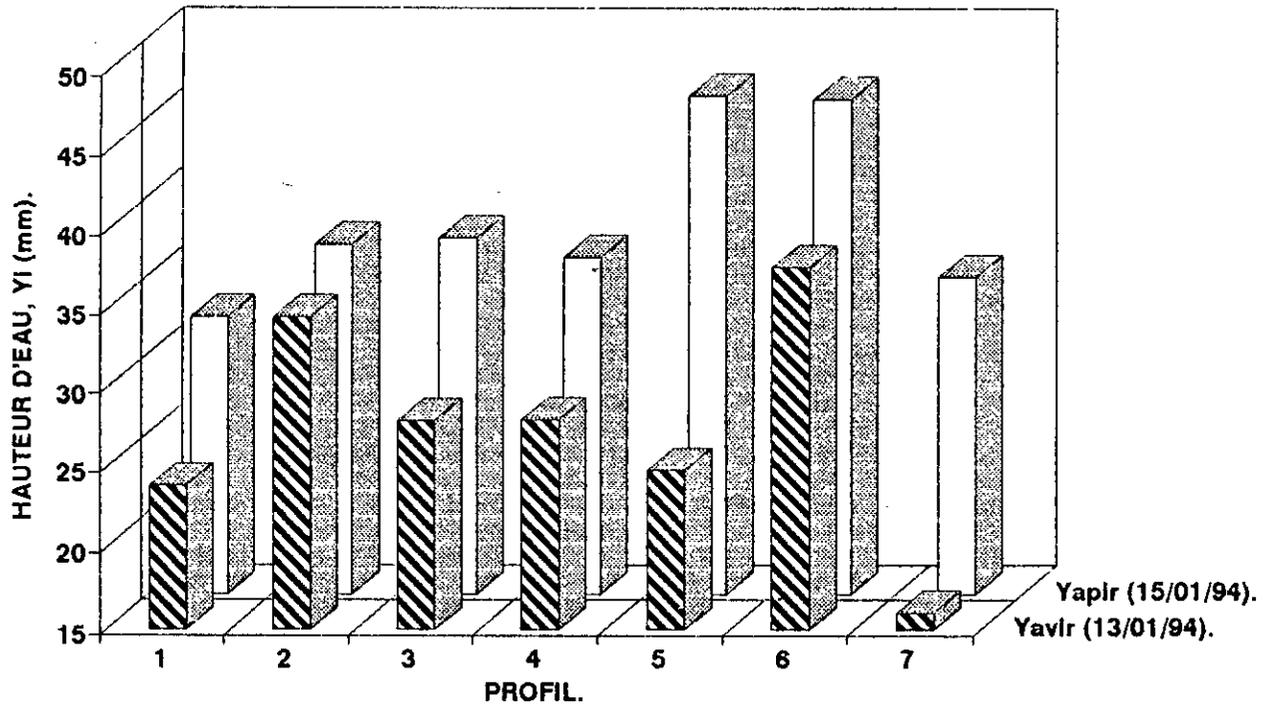


Fig.IV-2-2: ETAT D'HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES IRRIGATION (Expérience2)

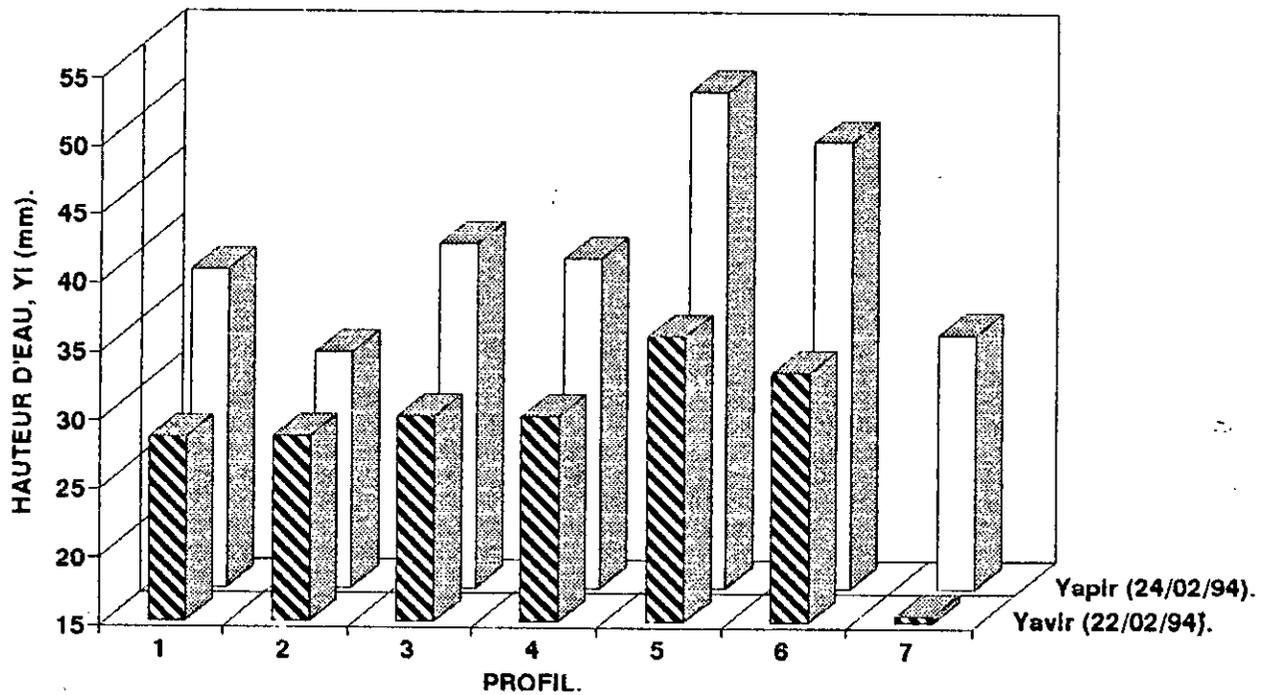


Fig.IV-2-3: ETAT D'HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES LE SECOND TOUR DU PIVOT

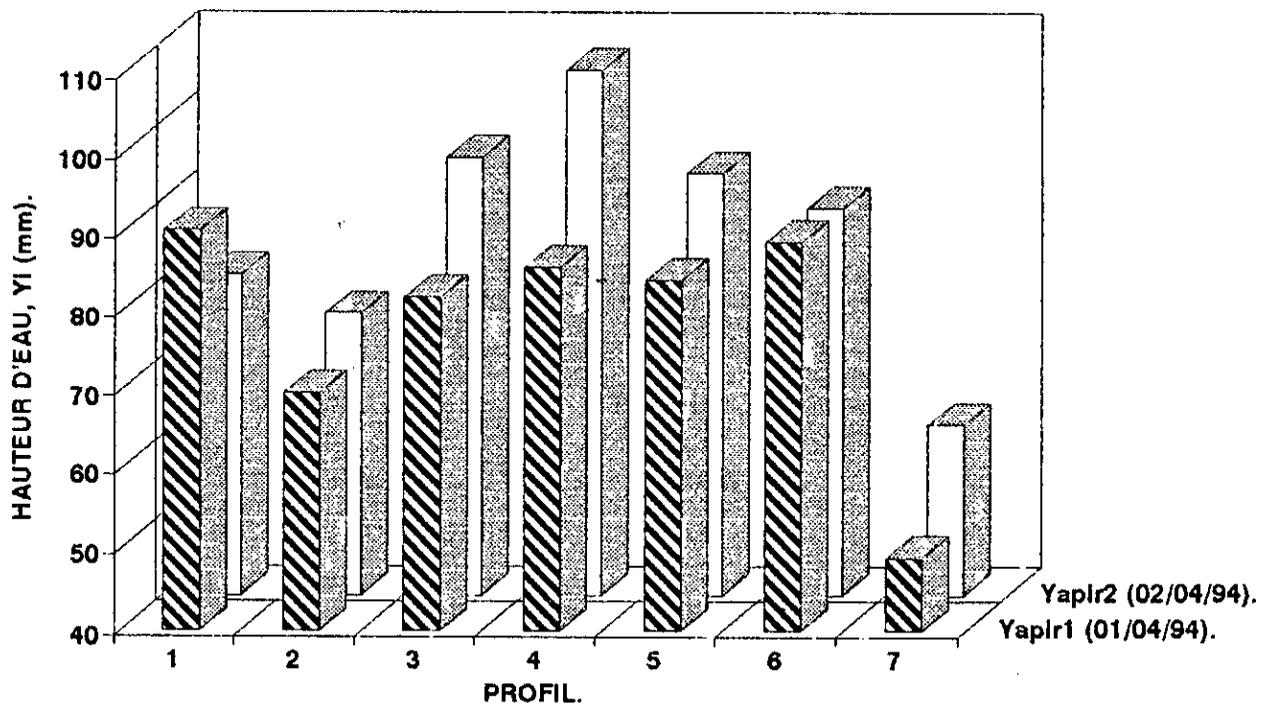


Fig.IV-2-4: ETAT D'HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES LE PREMIER TOUR DU PIVOT

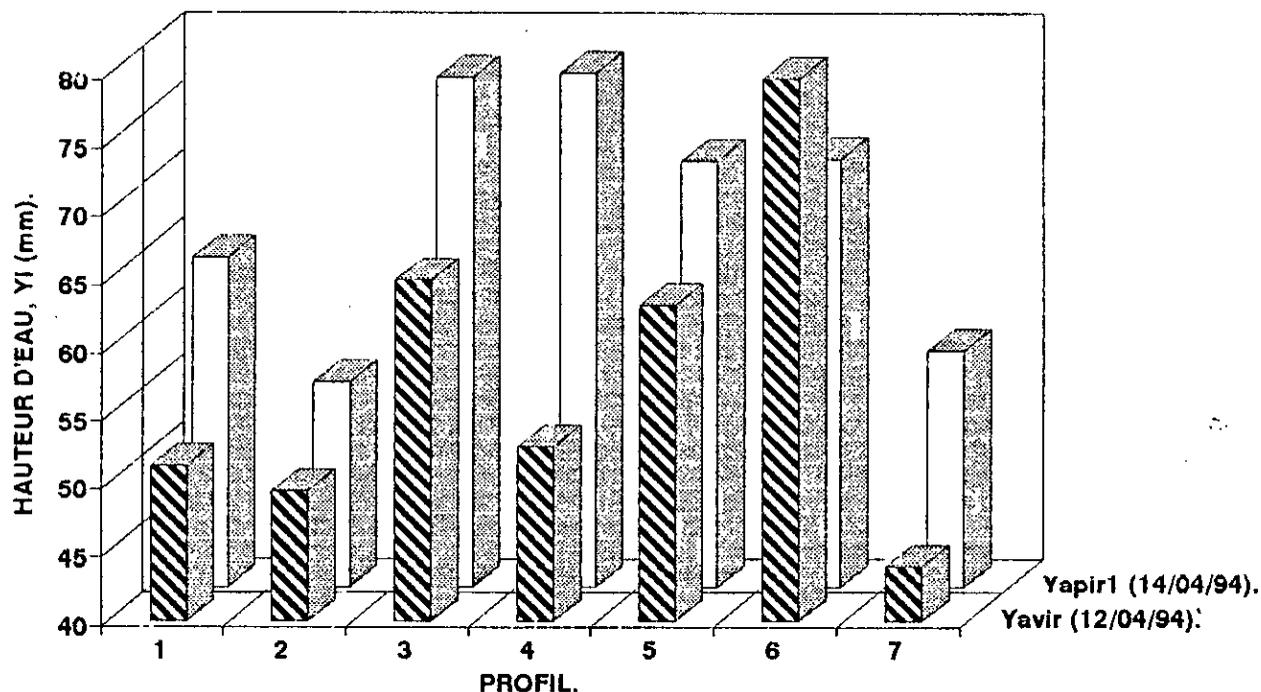


Fig.IV-2-6: CALCUL DU VOLUME INFILTRE.

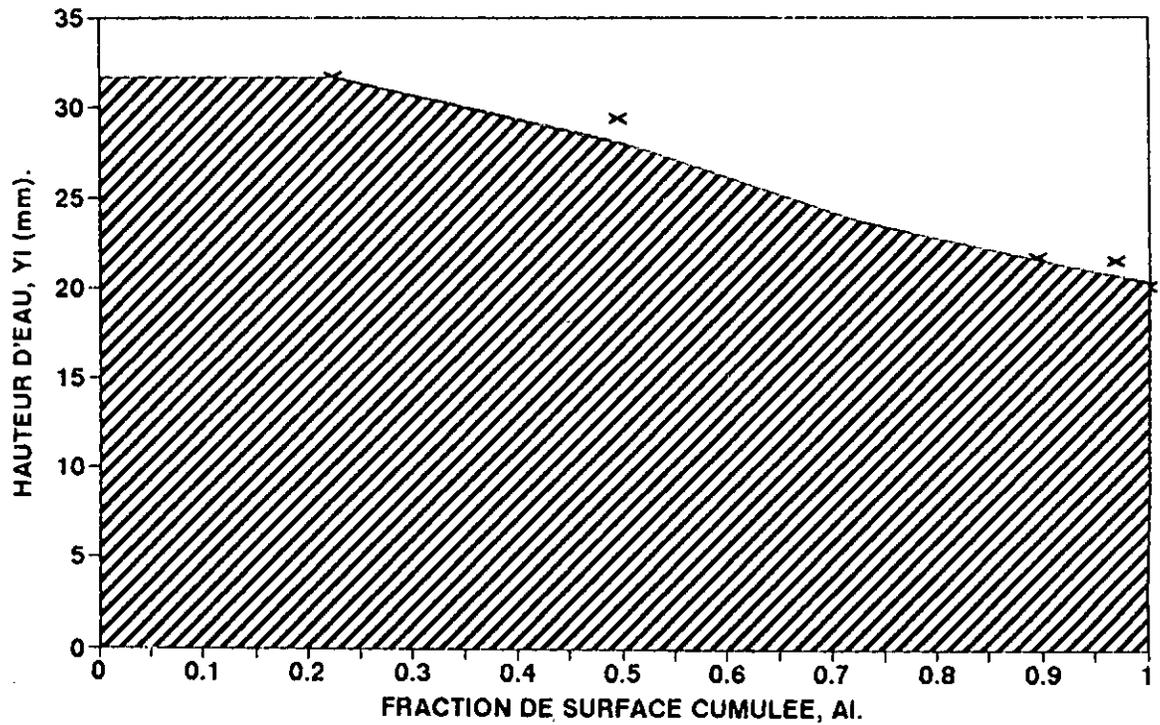


Fig.IV-2-7: CALCUL D'UN VOLUME EN DEFICIT PAR RAPPORT A UNE DOSE DONNEE.

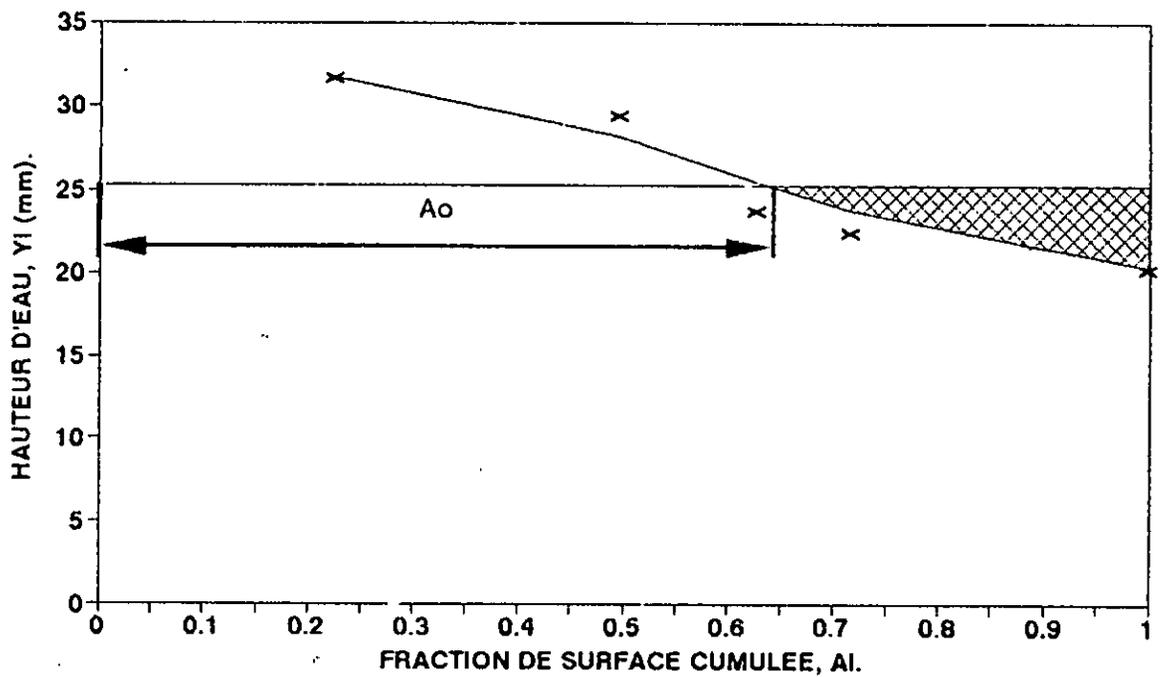


Fig.IV-2-8: CALCUL D'UN VOLUME EN EXCES PAR RAPPORT A UNE DOSE DONNEE.

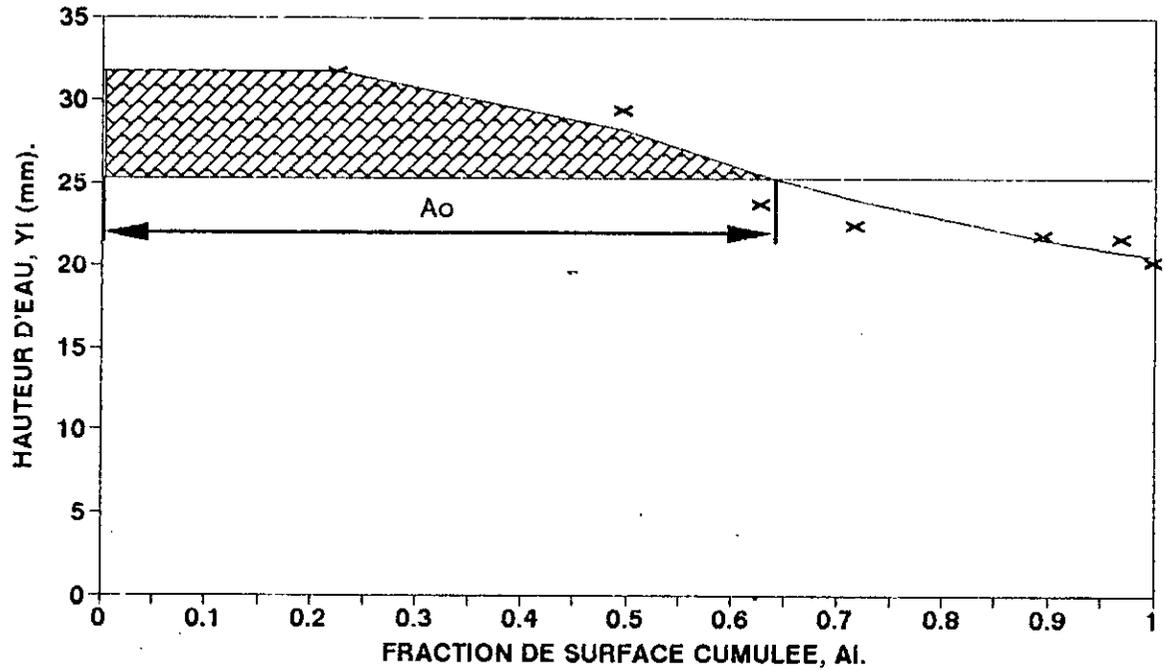
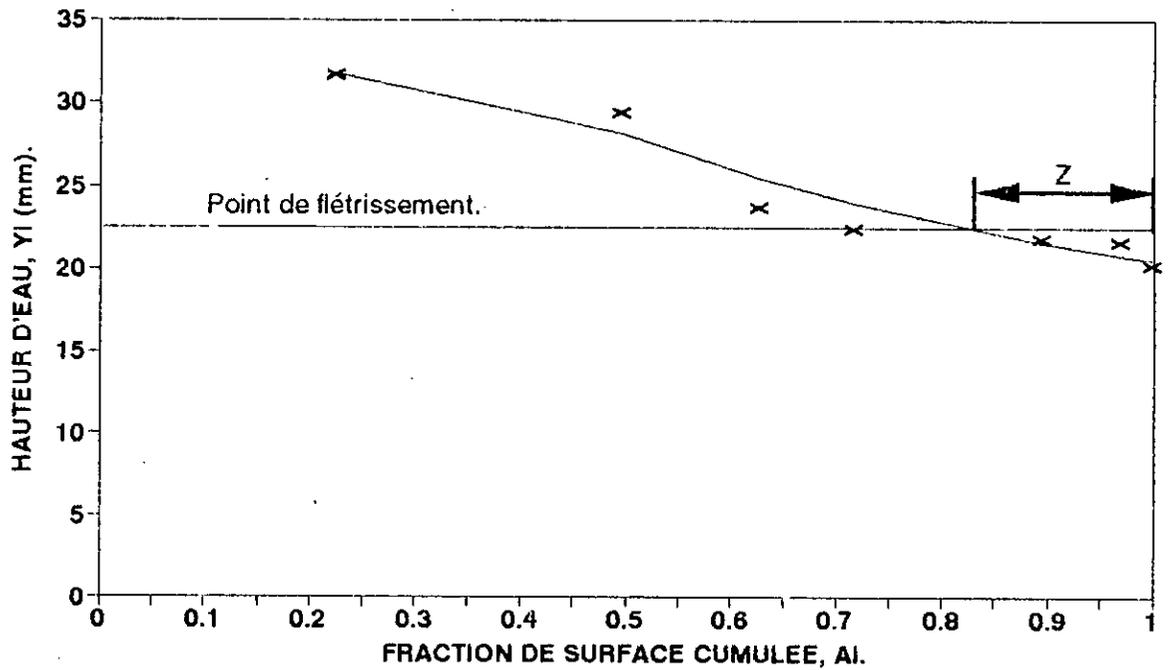


Fig.IV-2-9: FRACTION DE SURFACE, Z, EN DESSOUS DU POINT DE FLETRISSEMENT.



Chapitre IV-3: ETUDE HYDRAULIQUE DE LA RAMPE.

Dans le but de situer les causes de la mauvaise répartition de l'eau en surface, nous avons procédé à l'étude des caractéristiques hydrauliques de la rampe pour son fonctionnement habituel.

Par ailleurs, une étude théorique est établie afin de déterminer la répartition nécessaire des débits aux différentes buses et de la comparer avec la distribution observée.

A) Distribution théorique des débits :*Principe:*

Le calcul est basé sur la nécessité d'apporter une lame d'eau uniforme à la totalité de la surface couverte par la rampe. Par ailleurs, nous avons considéré l'ensemble des travées comme étant un seul élément rigide pivotant autour du centre.

Définitions:

- Q : Débit en tête de la rampe de longueur R.
- S : Surface couverte par la rampe; $S = \pi \cdot R^2$.
- r_1 : Portion de la rampe entre le centre et la première buse, de longueur ΔR_1 .
- r_i : Portion de la rampe entre les buses b_{i-1} et b_i , de longueur ΔR_i (les ΔR_i sont de même longueur ΔR , $i > 1$).
- b_i : $i^{\text{ème}}$ buse à partir du centre.
- q_i : Débit à travers la buse b_i .
- h : Lame d'eau apportée par unité de temps, $h = Q/S$.

Nous avons donc pour rampe de n buses :

$$R = \sum_{i=1}^n \Delta R_i = \Delta R_1 + (n-1) \cdot \Delta R_i$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

Développement théorique :

$$h = Q/S = \text{constante};$$

$$\text{d'où: } dh = (\partial h / \partial Q) . dQ + (\partial h / \partial S) . dS = 0;$$

$$dh = 1/S . dQ - Q/S^2 . dS = 0;$$

$$\text{d'où: } dQ/Q = dS/S;$$

$$\text{or: } S = \pi . R^2 \Rightarrow dS = 2 . \pi . R . dR$$

$$\text{alors: } dQ/Q = 2 . dR/R ;$$

Par intégration : $\ln Q = 2 . \ln R + C$; C: constante

$$\text{d'où : } \underline{Q = K . R^2}$$

$$\text{ainsi que : } \underline{dQ = 2 . K . R . dR}$$

En conclusion, une variation dR de la longueur de rampe engendrera une variation de la surface irriguée, $dS = 2 . \pi . R . dR$, ainsi que du débit requis, $dQ = 2 . K . R . dR$.

Application:

Soit une rampe portant k buses; donc k éléments r_i . Le débit en tête ainsi que sa longueur sont donnés par :

$$Q_k = \sum q_i ; R_k = \sum \Delta R_i = \Delta R_1 + (k-1) . \Delta R$$

Si on lui ajoute un élément r_{k+1} de longueur ΔR , donc une buse b_{k+1} avec un débit q_{k+1} , l'augmentation ΔR du rayon arrosé engendrera

un accroissement en surface couverte ainsi qu'en débit requis:

$$\Delta S = 2 . \pi . R . \Delta R; \quad \Delta Q = q_{k+1} = 2 . K . R . \Delta R.$$

Ainsi, en faisant varier k de 1 à n , on établira la distribution des débits aux buses par la relation :

$$q_k = 2 . K . R_k . \Delta R;$$

La valeur de K est déterminée expérimentalement: Pour un débit total observé égal à la somme des valeurs mesurées aux buses, on aurait :

$$K = Q_{\text{obs}} / R^2 = 28 / (309.4)^2 = \underline{2.92 \cdot 10^{-4}}$$

ΔR étant la distance séparant deux buses avoisinantes, elle est égale

à 2.95 m, d'où : $q_k = 1.73 \cdot 10^{-3} \cdot R_k$; les résultats sont présentés dans un tableau en annexe .

B) Etalonnage des buses :

Nous rappelons pour cela que, sous une pression de 1,8 bar, les débits sont mesurés à travers une série de buses neuves de toutes les dimensions utilisées. La buse forme un ajutage conique, convergent et sortant; son débit est donc donné par la relation [15]:

$$Q = \mu \cdot \Omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad ; \quad \text{avec: } \mu : \text{coefficient de débit de la buse}$$

$$\Omega : \text{section de la buse}$$

$$H = \frac{P}{\rho \cdot g} : \text{charge d'alimentation}$$

Connaissant H et Q, on peut déduire le produit $\mu \cdot \Omega$ pour chaque buse:

$$\mu \cdot \Omega = \sqrt{2 \cdot \frac{P}{\rho} \times Q}$$

Application numérique:

$$\mu \cdot \Omega = 0.0527 \cdot Q; \quad Q[\text{m}^3/\text{s}], \Omega [\text{m}^2].$$

Les résultats sont présentés dans le tableau IV-3-1.

N° buse	Débit. 10^{-3} [m ³ /s]	$\mu \cdot \Omega$ (10^{-5})
5	0,061	0,321
6	0,089	0,469
7	0,120	0,632
8	0,159	0,838
9	0,200	1,05
10	0,250	1,32
11	0,312	1,64
12	0,385	2,03
13	0,454	2,39
14	0,500	2,64
15	0,588	3,10
16	0,667	3,52
17	0,714	3,76
18	0,769	4,05
19	0,833	4,39

Tableau IV-3-1: Caractéristiques hydrauliques des buses.

C) Analyse des débits mesurés :

Les résultats obtenus sont représentés dans la figure IV-3-1. Par ailleurs, les valeurs sont données en annexe (tableau IV-3-2).

La distribution suit une croissance linéaire dont la droite de régression est donnée par :

$$y = a.x + b; \text{ avec: } a = 1.82 \cdot 10^{-3}$$

$$b = -0.01$$

*Nombre d'observation : 104.

*Nombre de degrés de liberté : 102.

*Coefficient de corrélation : $r^2 = 0.90$.

En outre, la comparaison avec la répartition calculée au préalable montre une forte correspondance (fig. IV-3-1). Ce qui permet de valider l'hypothèse émise pour le calcul théorique. Cependant, il faut noter l'obtention de quelques points aberrants, très souvent en défaut, qui seraient dus à des buses bouchées ou alors de dimensions mal choisies.

D) Analyse des pressions mesurées :

Les valeurs obtenues sont données dans un tableau en annexe.

On remarque que la décroissance logique et obligatoire des valeurs obtenues (pertes de charge) n'est pas vérifiée. Les fluctuations de pression à l'amont du pivot étant faibles, on ne peut donc expliquer cela que par des mesures erronées. En outre, disposant de l'étalonnage des buses, on constate que le débit observé dans un grand nombre de cas correspond à une pression supérieure à celle mesurée. La figure IV-3-2 présente :

-la distribution des pressions observées.

-La distribution des pressions devant donner les débits observés. Celle-ci est calculée par la relation déduite de l'équation:

$$P = \left(\frac{Q}{\mu \cdot r} \right)^2 \times \frac{\rho}{2}$$

Ceci indique la présence de bulles d'air dans les rallonges (entre les buses et la conduite principale), notamment au niveau des crosses.

Par ailleurs, les valeurs élevées de pression obtenues à l'extrémité de la rampe paraissent logique. En effet, l'installation du manomètre au niveau de la buse indique la charge totale à l'aval de celle-ci et la charge statique au niveau de la prise dans la conduite principale. Or à l'extrémité de celle-ci, l'écoulement horizontal est arrêté et la pression à l'aval de la prise correspond à la charge totale.

C) Conclusion :

Mise à part la pression de fonctionnement très faible par rapport à celle requise pour le fonctionnement normal de la machine, la présence des bulles d'air est très nuisible. L'analyse du phénomène paraît nécessaire et demande une étude approfondie. Cependant, dans ce contexte, il y a lieu de citer quelques constatations :

a- Durant toute la période de fonctionnement de la machine, des éclatements de jets sont remarqués; comme s'il y avait dégagement de particules gazeuses.

b- Lors de la fermeture de la vanne d'alimentation en tête du pivot, il y a aspiration de l'air par les buses. Ceci étant dû à une dépression dans la conduite principale.

c- L'eau utilisée, provenant directement du forage est, de nature, très chaude.

Fig.IV-3-1: ANALYSE DES DEBITS AUX BUSES.

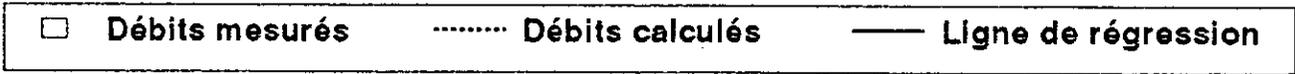
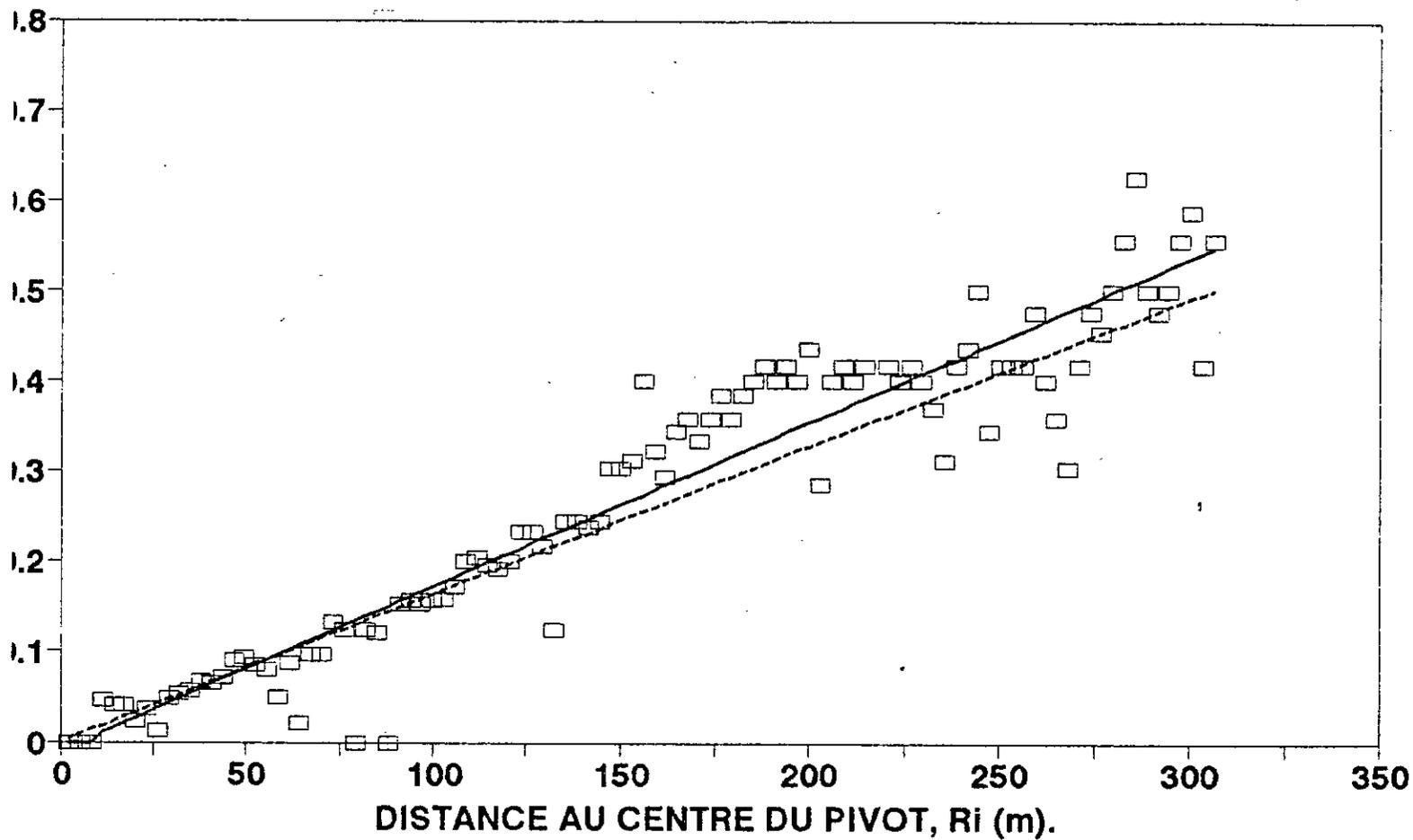
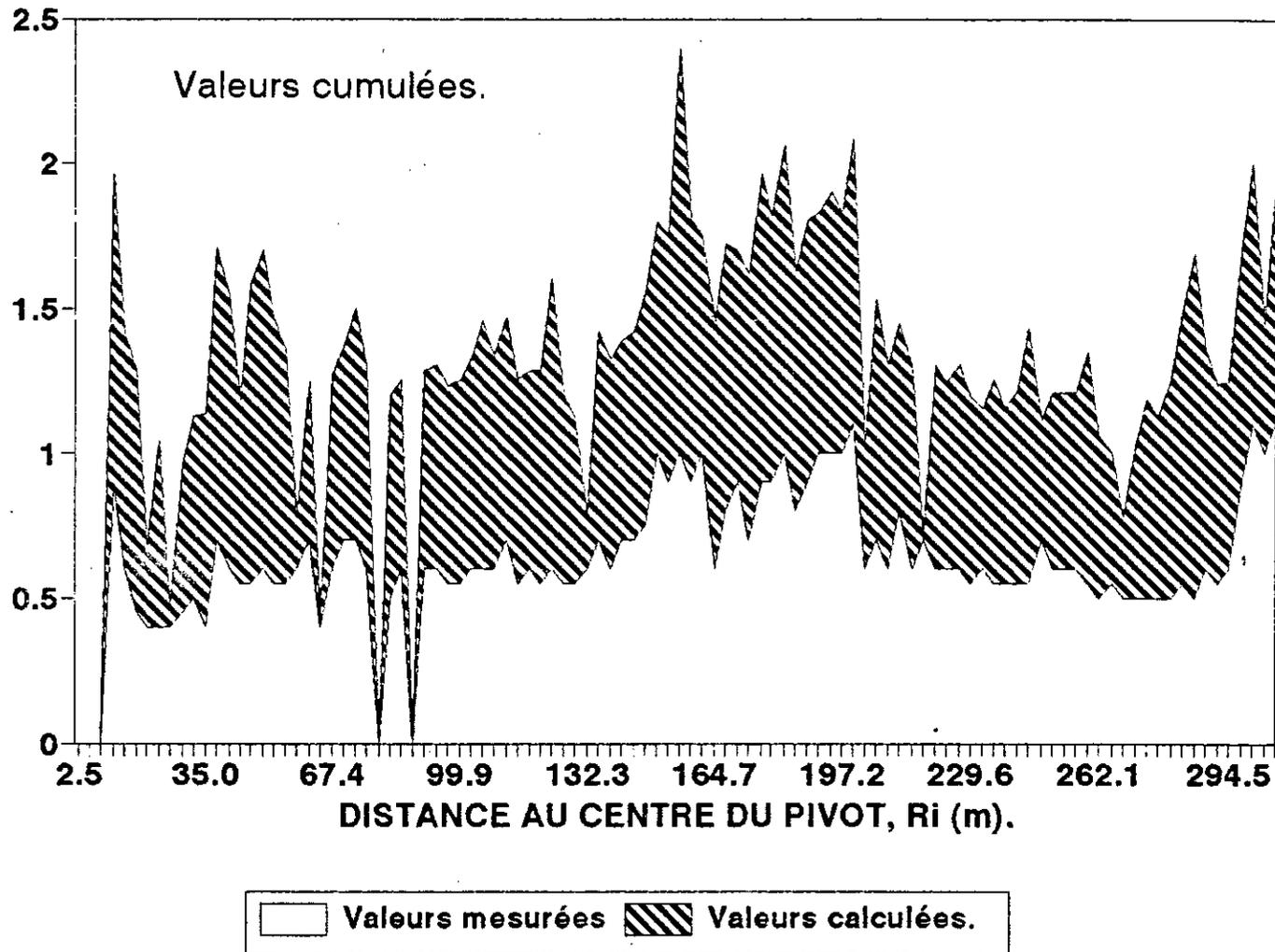


Fig.IV-3-2: ANALYSE DES PRESSIONS
AUX BUSES.



Chapitre IV-4: EVALUATION DES VARIATIONS DE RENDEMENTS.

Les résultats obtenus sont présentés dans la figure IV-4-1. Les valeurs sont données ci-dessous:

Profil	1	2	3	4	5	6	7
Poids des grains	9.5	20.0	28.0	34.0	22.5	30.0	18.0

L'effet d'échaudage est remarqué sous les travées I , II et sous la porte-à-faux (profil 7).

La figure IV-4-2 montre que ce sont les profils les plus défavorisés en humidité. Ceci est expliqué par un apport insuffisant de l'eau en surface (figures IV-1-1 à 4). On montre alors l'effet de la non-uniformité de distribution de l'eau sur le rendement de la culture.

Fig.IV-4-1: EVALUATION DES RENDEMENTS.

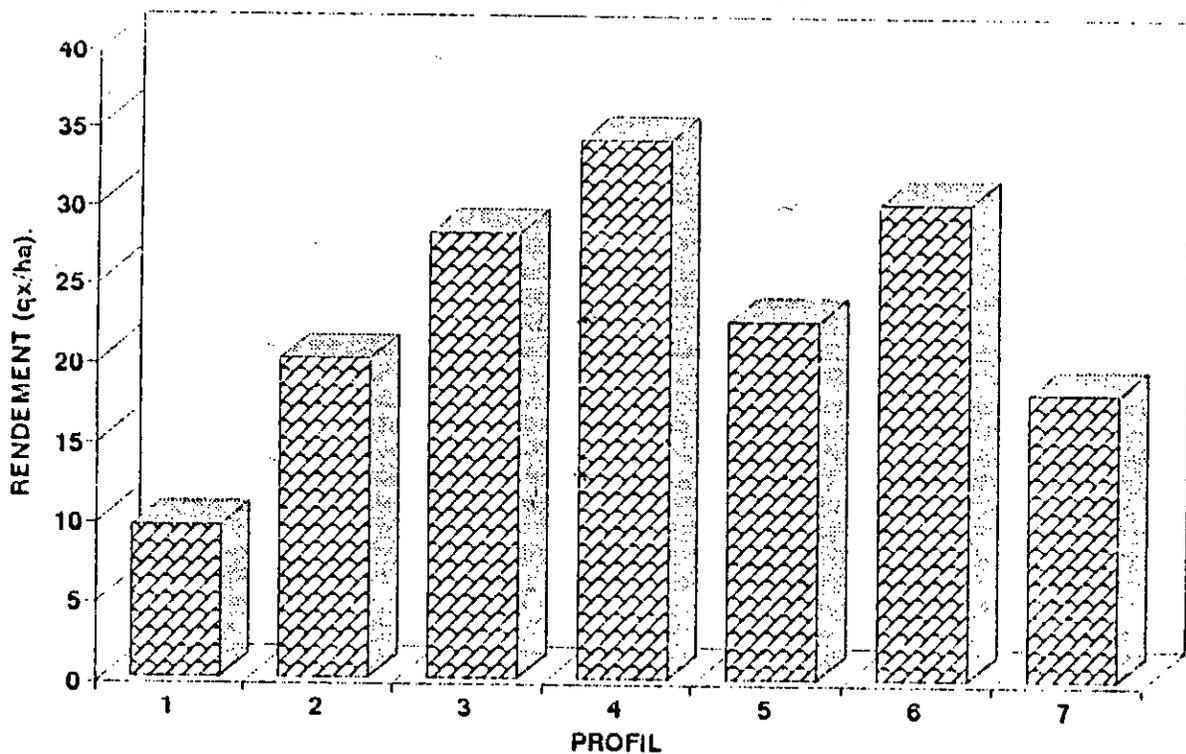
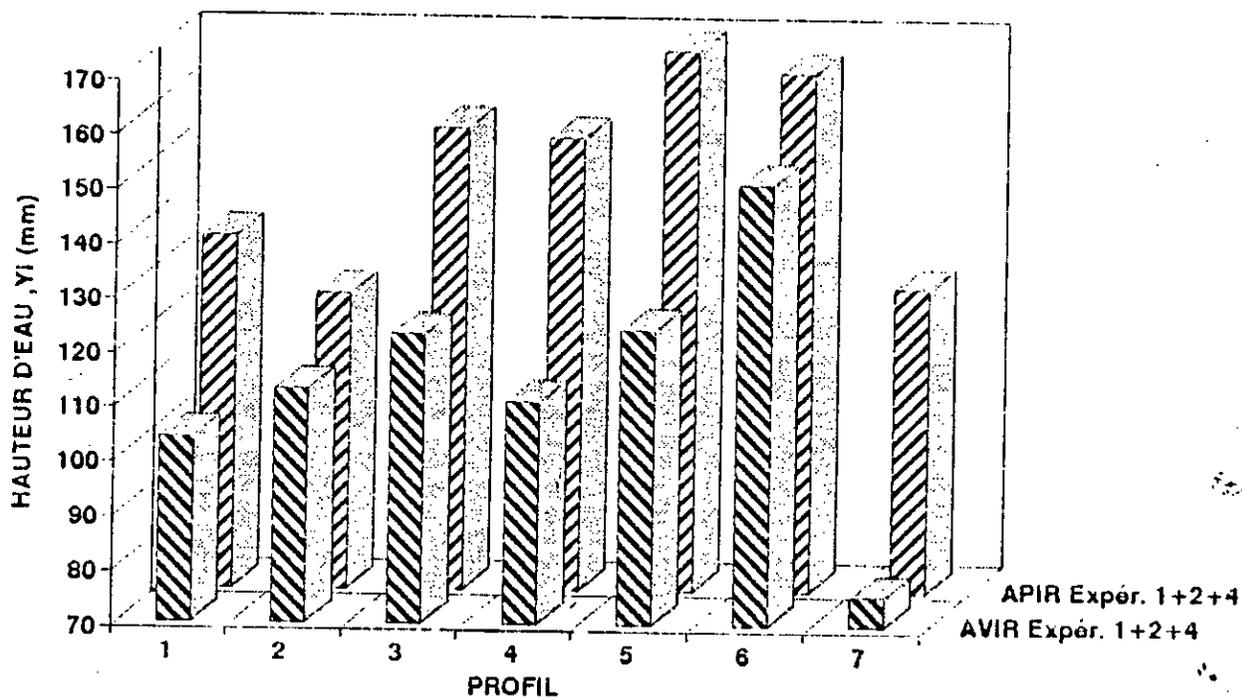


Fig.IV-4-2: VALEURS CUMULEES D'HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES IRRIGATION



PARTIE V: CONCLUSION GENERALE ET PROPOSITIONS.

CONCLUSION GENERALE.

L'analyse établie indique des résultats très insatisfaisants et semble expliquer le rendement obtenu, jugé faible en culture irriguée dans le sud algérien.

Dans le chapitre IV-4, on montre une bonne corrélation entre les variations de l'état d'humidité du sol et le rendement à la récolte. Par ailleurs, les figures IV-1-1 à 4 indiquent pour les profils moins humides un faible apport d'eau en surface. Ce qui ramène le problème à la nonuniformité de distribution de l'eau par la machine. L'étude hydraulique de celle-ci a permis de mettre en évidence certaines causes du problème paraissant les plus essentielles et d'en donner des suggestions:

-Analyser la charge de l'eau en particules solides (sables) et, s'il y a lieu, installer des filtres (coût?), afin d'éviter un nettoyage régulier des buses.

-Etudier le phénomène d'apparition des bulles d'air et y remédier, si nécessaire, par l'installation de ventouses et/ou des points de purge manuelle en des endroits appropriés.

-La pression de service étant inférieure à celle requise pour le fonctionnement correct de la rampe, deux solutions seraient à considérer:

a- Apporter la pression nécessaire en tête de rampe, donc revoir le fonctionnement ou alors la conception du réseau d'alimentation.

b- Revoir la conception de la machine: Diminuer l'espacement et les dimensions des buses, afin qu'elles puissent fonctionner sous une pression plus faible. Ceci permet d'exploiter la pression de la nappe artésienne et d'éviter ainsi le recours aux installations de pompes.

Conduite ou pilotage des irrigations:

L'organisation dans le temps des irrigations suit mal l'évolution des besoins en eau de la plante. Ceci est montré au chapitre IV-2 par un stress hydrique considérable en début de campagne, affectant, ainsi le rendement à la récolte, et un excès d'eau important en fin de saison.

Celui-ci présente des effets très néfastes:

-Pertes considérables en eau d'irrigation.

-Pertes d'engrais solubles par lessivage.

-Accroissement important de la salinité du sol (surtout quand le drainage fait défaut).

-Risque d'asphyxie de la plante (si le sol était de nature lourde).

-Utilisation non rationnelle de la ressource d'eau et du réseau. En effet, le second tour de chaque pivot pouvait approvisionner un pivot supplémentaire, ce qui aurait pu doubler le nombre de rampes desservies par un seul forage.

A cet effet, un pilotage indicatif est effectué avec le logiciel CROPWAT, en utilisant les données météorologiques de la saison considérée et de la décennie 1977-86. On suggère alors que ce dernier soit testé pour la prochaine saison (tout en vérifiant que les différences de données météorologiques ne soient pas importantes). Notons, à l'occasion, l'existence de micro-stations météorologiques dans de nombreuses communes de la région et qu'il faut donc exploiter à cet effet.

PARTIE VI: ANNEXES.

Annexes I: Pilotage des irrigations avec CROPWAT.

Annexes II: Résultats des mesures.

Annexes III: Ajustements des résultats.

ANNEXE I-1: Pilotage correspondant aux données climatiques de la saison Nov 93/Avr 94, et au fichier culture blehir 1 (page 21).

CROPWAT :

PILOTAGE DES IRRIGATIONS							BLE D'HIVER		10 Novembre			
Station Clim.	: GHARDAIA						Fichier climatique	:				
Culture	: BLE D'HIVER						Date de plantation	: 10 Novembre				
Sol	: Sol léger						Eau utilisable	: 60 mm/m.				
							Humidité init. du sol:	60 mm/m.				
Options sélectionnées de l'irrigation:												
Fréquences: Irrigation lorsque la RFU est épuisée à 100%												
Arrosages : Arrosage jusqu'à la capacité au champ												
Efficience de l'application au niveau du champ: 90 %												
No. Irr.	Int. jours	Date	Phase	Déplét %	TX %	ETa %	Apport net mm	Déficit mm	Per-tes mm	Apport brut mm	Débit l/s.ha	
1	12	22 Nov	A	83	100	100	13.7	0.0	0.0	15.3	0.15	
2	14	6 Déc	B	80	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.13	
3	13	19 Déc	B	75	100	100	15.0	0.0	0.0	16.7	0.15	
4	9	28 Déc	B	71	100	100	15.1	0.0	0.0	16.8	0.22	
5	7	5 Jan	B	68	100	100	15.0	0.0	0.0	16.7	0.28	
6	6	11 Jan	B	63	100	100	14.4	0.0	0.0	16.0	0.31	
7	5	16 Jan	B	62	100	100	14.4	0.0	0.0	16.0	0.37	
8	5	21 Jan	C	64	100	100	15.3	0.0	0.0	17.0	0.39	
9	4	25 Jan	C	63	100	100	15.0	0.0	0.0	16.7	0.48	
10	4	29 Jan	C	63	100	100	15.0	0.0	0.0	16.7	0.48	
11	3	2 Fév	C	53	100	100	12.8	0.0	0.0	14.2	0.55	
12	3	5 Fév	C	57	100	100	13.6	0.0	0.0	15.1	0.58	
13	3	8 Fév	C	57	100	100	13.6	0.0	0.0	15.1	0.58	
14	3	11 Fév	C	59	100	100	14.2	0.0	0.0	15.8	0.61	
15	3	14 Fév	C	65	100	100	15.5	0.0	0.0	17.2	0.66	
16	3	17 Fév	C	65	100	100	15.5	0.0	0.0	17.2	0.66	
17	3	20 Fév	C	65	100	100	15.5	0.0	0.0	17.2	0.66	
18	3	23 Fév	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.7	0.68	
19	3	26 Fév	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.7	0.68	
20	3	29 Fév	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.7	0.68	
21	3	2 Mar	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69	
22	3	5 Mar	C	67	100	100	16.1	0.0	0.0	17.9	0.69	
23	3	8 Mar	C	67	100	100	16.1	0.0	0.0	17.9	0.69	
24	3	11 Mar	C	68	100	100	16.2	0.0	0.0	18.0	0.70	
25	3	14 Mar	C	69	100	100	16.6	0.0	0.0	18.4	0.71	
26	3	17 Mar	C	69	100	100	16.6	0.0	0.0	18.4	0.71	
27	3	20 Mar	C	69	100	100	16.6	0.0	0.0	18.4	0.71	
28	3	23 Mar	C	77	100	100	18.6	0.0	0.0	20.6	0.80	
29	3	26 Mar	D	77	100	100	18.6	0.0	0.0	20.6	0.80	
30	3	29 Mar	D	77	100	100	18.6	0.0	0.0	20.6	0.80	
31	2	1 Avr	D	56	100	100	13.5	0.0	0.0	15.0	0.87	
32	2	3 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	
33	2	5 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	
34	2	7 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	
35	2	9 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	

36	2	11	Avr	D	62	100	100	14.9	0.0	0.0	16.6	0.96
37	2	13	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
38	2	15	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
39	2	17	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
40	2	19	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
41	3	22	Avr	D	72	100	100	17.3	0.0	0.0	19.2	0.74
42	3	25	Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.62
43	3	28	Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.62
44	4	2	Mai	D	57	100	100	13.6	0.0	0.0	15.1	0.44
45	7	9	Mai	D	56	100	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.25
END	2	11	Mai	D	8	100	100					
Irrigation totale brute					763.4 mm			Précipitation totale			0.0 mm	
Irrigation totale nette					687.0 mm			Pluie efficace			0.0 mm	
Pertes totales d'irrigation					0.0 mm			Pertes totales de pluie			0.0 mm	
Déficit d'humidité à la récolte											1.9 mm	
Irr. nette tot. + rétention de l'eau du sol											689.0 mm	
Util. réelle de l'eau par cult.					689.0 mm			Besoins réels d'irr.			689.0 mm	
Util. potent. de l'eau par cult.					689.0 mm							
Efficience Prog. d'Irr.					100.0 %			Efficience Pluie			100.0 %	
Déficience Prog. d'Irr.					0.0 %							
Pas de réductions des rendements dues au manque d'eau												

ANNEXE I-2: Pilotage correspondant aux données climatiques de la saison Nov 93/Avr 94, et au fichier culture blehir 2 (page 21).

CROPWAT :

PILOTAGE DES IRRIGATIONS							BLE D'HIVER		10 Novembre			
Station Clim.	: GHARDAIA						Fichier climatique	:				
Culture	: BLE D'HIVER						Date de plantation	: 10 Novembre				
Sol	: Sol léger						Eau utilisable	: 60 mm/m.				
							Humidité init. du sol:	60 mm/m.				
Options sélectionnées de l'irrigation:												
Fréquences: Irrigation lorsque la RFU est épuisée à 100%												
Arrosages : Arrosage jusqu'à la capacité au champ												
Efficience de l'application au niveau du champ: 90 %												
No. Irr.	Int. jours	Date	Phase	Déplét %	TX %	ETa %	Apport net mm	Déficit mm	Per-tes mm	Apport brut mm	Débit l/s.ha	
1	18	28 Nov	A	84	100	100	20.1	0.0	0.0	22.4	0.14	
2	17	15 Déc	B	77	100	100	18.4	0.0	0.0	20.5	0.14	
3	11	26 Déc	B	69	100	100	16.5	0.0	0.0	18.3	0.19	
4	8	4 Jan	B	67	100	100	16.2	0.0	0.0	18.0	0.26	
5	7	11 Jan	B	70	100	100	16.7	0.0	0.0	18.6	0.31	
6	5	16 Jan	B	60	100	100	14.4	0.0	0.0	16.0	0.37	
7	5	21 Jan	C	64	100	100	15.3	0.0	0.0	17.0	0.39	
8	4	25 Jan	C	63	100	100	15.0	0.0	0.0	16.7	0.48	
9	4	29 Jan	C	63	100	100	15.0	0.0	0.0	16.7	0.48	
10	3	2 Fév	C	53	100	100	12.8	0.0	0.0	14.2	0.55	
11	3	5 Fév	C	57	100	100	13.6	0.0	0.0	15.1	0.58	
12	3	8 Fév	C	57	100	100	13.6	0.0	0.0	15.1	0.58	
13	3	11 Fév	C	59	100	100	14.2	0.0	0.0	15.8	0.61	
14	3	14 Fév	C	65	100	100	15.5	0.0	0.0	17.2	0.66	
15	3	17 Fév	C	65	100	100	15.5	0.0	0.0	17.2	0.66	
16	3	20 Fév	C	65	100	100	15.5	0.0	0.0	17.2	0.66	
17	3	23 Fév	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.7	0.68	
18	3	26 Fév	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.7	0.68	
19	3	29 Fév	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.7	0.68	
20	3	2 Mar	C	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69	
21	3	5 Mar	C	67	100	100	16.1	0.0	0.0	17.9	0.69	
22	3	8 Mar	C	67	100	100	16.1	0.0	0.0	17.9	0.69	
23	3	11 Mar	C	68	100	100	16.2	0.0	0.0	18.0	0.70	
24	3	14 Mar	C	69	100	100	16.6	0.0	0.0	18.4	0.71	
25	3	17 Mar	C	69	100	100	16.6	0.0	0.0	18.4	0.71	
26	3	20 Mar	C	69	100	100	16.6	0.0	0.0	18.4	0.71	
27	3	23 Mar	C	77	100	100	18.6	0.0	0.0	20.6	0.80	
28	3	26 Mar	D	77	100	100	18.6	0.0	0.0	20.6	0.80	
29	3	29 Mar	D	77	100	100	18.6	0.0	0.0	20.6	0.80	
30	2	1 Avr	D	56	100	100	13.5	0.0	0.0	15.0	0.87	
31	-2	3 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	
32	2	5 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	
33	2	7 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	
34	2	9 Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.94	
35	2	11 Avr	D	62	100	100	14.9	0.0	0.0	16.6	0.96	

36	2	13	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
37	2	15	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
38	2	17	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
39	2	19	Avr	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.98
40	3	22	Avr	D	72	100	100	17.3	0.0	0.0	19.2	0.74
41	3	25	Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.62
42	3	28	Avr	D	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.2	0.62
43	4	2	Mai	D	57	100	100	13.6	0.0	0.0	15.1	0.44
44	7	9	Mai	D	56	100	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.25
END	2	11	Mai	D	8	100	100					
Irrigation totale brute					763.4 mm		Précipitation totale				0.0 mm	
Irrigation totale nette					687.0 mm		Pluie efficace				0.0 mm	
Pertes totales d'irrigation					0.0 mm		Pertes totales de pluie				0.0 mm	
Déficit d'humidité à la récolte											1.9 mm	
Irr. nette tot. + rétention de l'eau du sol					689.0 mm							
Util. réelle de l'eau par cult.					689.0 mm		Besoins réels d'irr.				689.0 mm	
Util. potent. de l'eau par cult.					689.0 mm							
Efficience Prog. d'Irr.					100.0 %		Efficience Pluie				100.0 %	
Déficience Prog. d'Irr.					0.0 %							
Pas de réductions des rendements dues au manque d'eau												

ANNEXE I-3: Pilotage correspondant aux données climatiques de la décennie 1977-86, et au fichier culture blehir 1 (page 21).

CROPWAT :

PILOTAGE DES IRRIGATIONS							BLE D'HIVER		10 Novembre		
Station Clim.	: GHARDAIA			Fichier climatique			:				
Culture	: BLE D'HIVER			Date de plantation			: 10 Novembre				
Sol	: Sol léger			Eau utilisable			: 60 mm/m.				
			Humidité init. du sol:			60 mm/m.					
Options sélectionnées de l'irrigation:											
Fréquences: Irrigation lorsque la RFU est épuisée à 100%											
Arrosages : Arrosage jusqu'à la capacité au champ											
Efficience de l'application au niveau du champ: 90 %											
No. Irr.	Int. jours	Date	Phase	Déplét TX %	ETA %	Apport net mm	Déficit mm	Per-tes mm	Apport brut mm	Débit l/s.ha	
1	10	20 Nov	A	81	100	13.2	0.0	0.0	14.7	0.17	
2	12	2 Déc	A	81	100	14.5	0.0	0.0	16.1	0.16	
3	12	14 Déc	B	79	100	15.3	0.0	0.0	17.0	0.16	
4	9	23 Déc	B	70	100	14.4	0.0	0.0	16.0	0.21	
5	8	1 Jan	B	73	100	15.7	0.0	0.0	17.5	0.25	
6	6	7 Jan	B	63	100	14.0	0.0	0.0	15.6	0.30	
7	6	13 Jan	B	66	100	15.3	0.0	0.0	17.0	0.33	
8	5	18 Jan	B	58	100	13.9	0.0	0.0	15.4	0.36	
9	4	22 Jan	C	52	100	12.6	0.0	0.0	14.0	0.40	
10	4	26 Jan	C	59	100	14.1	0.0	0.0	15.6	0.45	
11	4	1 Fév	C	59	100	14.1	0.0	0.0	15.6	0.45	
12	4	4 Fév	C	68	100	16.3	0.0	0.0	18.1	0.52	
13	4	8 Fév	C	68	100	16.3	0.0	0.0	18.1	0.52	
14	3	11 Fév	C	53	100	12.7	0.0	0.0	14.1	0.55	
15	3	14 Fév	C	57	100	13.7	0.0	0.0	15.2	0.59	
16	3	17 Fév	C	57	100	13.7	0.0	0.0	15.2	0.59	
17	3	20 Fév	C	57	100	13.7	0.0	0.0	15.2	0.59	
18	3	23 Fév	C	64	100	15.4	0.0	0.0	17.1	0.66	
19	3	26 Fév	C	64	100	15.4	0.0	0.0	17.1	0.66	
20	3	29 Fév	C	64	100	15.4	0.0	0.0	17.1	0.66	
21	3	2 Mar	C	69	100	16.5	0.0	0.0	18.3	0.71	
22	3	5 Mar	C	71	100	17.0	0.0	0.0	18.9	0.73	
23	3	8 Mar	C	71	100	17.0	0.0	0.0	18.9	0.73	
24	3	11 Mar	C	73	100	17.6	0.0	0.0	19.6	0.75	
25	2	13 Mar	C	52	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
26	2	15 Mar	C	52	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
27	2	17 Mar	C	52	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
28	2	19 Mar	C	52	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
29	2	21 Mar	C	54	100	12.9	0.0	0.0	14.4	0.83	
30	2	23 Mar	C	56	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
31	2	25 Mar	C	56	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
32	2	27 Mar	D	56	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
33	2	29 Mar	D	56	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
34	2	1 Avr	D	58	100	14.0	0.0	0.0	15.6	0.90	

35	2	3	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94
36	2	5	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94
37	2	7	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94
38	2	9	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94
39	2	11	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.4	0.95
40	2	13	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95
41	2	15	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95
42	2	17	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95
43	2	19	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95
44	2	21	Avr	D	53	100	100	12.7	0.0	0.0	14.2	0.82
45	3	24	Avr	D	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69
46	3	27	Avr	D	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69
47	3	1	Mai	D	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69
48	4	4	Mai	D	55	100	100	13.1	0.0	0.0	14.6	0.42
49	4	8	Mai	D	55	100	100	13.1	0.0	0.0	14.6	0.42
END	3	11	Mai	D	27	100	100					

Irrigation totale brute	786.5 mm	Précipitation totale	0.0 mm
Irrigation totale nette	707.8 mm	Pluie efficace	0.0 mm
Pertes totales d'irrigation	0.0 mm	Pertes totales de pluie	0.0 mm

Déficit d'humidité à la récolte 6.6 mm
Irr. nette tot. + rétention de l'eau du sol 714.4 mm

Util. réelle de l'eau par cult. 714.4 mm Besoins réels d'irr. 714.4 mm
Util. potent. de l'eau par cult. 714.4 mm

Efficience Prog. d'Irr. 100.0 % Efficience Pluie 100.0 %
Déficiency Prog. d'Irr. 0.0 %

Pas de réductions des rendements dues au manque d'eau

ANNEXE I-4: Pilotage correspondant aux données climatiques de la décennie 1977-86, et au fichier culture blehir 2 (page 21).

CROPWAT :-

PILOTAGE DES IRRIGATIONS							BLE D'HIVER		10 Novembre			
Station Clim.		: GHARDAIA			Fichier climatique		:					
Culture		: BLE D'HIVER			Date de plantation		: 10 Novembre					
Sol		: Sol léger			Eau utilisable		: 60 mm/m.					
					Humidité init. du sol:		60 mm/m.					
Options sélectionnées de l'irrigation:												
Fréquences: Irrigation lorsque la RFU est épuisée à 100%												
Arrosages : Arrosage jusqu'à la capacité au champ												
Efficience de l'application au niveau du champ: 90 %												
No. Irr.	Int. jours	Date	Phase	Déplét %	TX %	ETA %	Apport net mm	Déficit mm	Per-tes mm	Apport brut mm	Débit l/s.ha	
1	15	25 Nov	A	80	100	100	19.3	0.0	0.0	21.4	0.17	
2	16	11 Déc	B	81	100	100	19.4	0.0	0.0	21.5	0.16	
3	11	22 Déc	B	70	100	100	16.8	0.0	0.0	18.7	0.20	
4	9	1 Jan	B	74	100	100	17.6	0.0	0.0	19.6	0.25	
5	7	8 Jan	B	68	100	100	16.3	0.0	0.0	18.1	0.30	
6	6	14 Jan	B	66	100	100	15.8	0.0	0.0	17.5	0.34	
7	5	19 Jan	B	58	100	100	13.9	0.0	0.0	15.4	0.36	
8	4	23 Jan	C	56	100	100	13.3	0.0	0.0	14.8	0.43	
9	4	27 Jan	C	59	100	100	14.1	0.0	0.0	15.6	0.45	
10	4	1 Fév	C	61	100	100	14.6	0.0	0.0	16.3	0.47	
11	4	5 Fév	C	68	100	100	16.3	0.0	0.0	18.1	0.52	
12	4	9 Fév	C	68	100	100	16.3	0.0	0.0	18.1	0.52	
13	3	12 Fév	C	55	100	100	13.2	0.0	0.0	14.7	0.57	
14	3	15 Fév	C	57	100	100	13.7	0.0	0.0	15.2	0.59	
15	3	18 Fév	C	57	100	100	13.7	0.0	0.0	15.2	0.59	
16	3	21 Fév	C	59	100	100	14.2	0.0	0.0	15.8	0.61	
17	3	24 Fév	C	64	100	100	15.4	0.0	0.0	17.1	0.66	
18	3	27 Fév	C	64	100	100	15.4	0.0	0.0	17.1	0.66	
19	3	1 Mar	C	64	100	100	15.4	0.0	0.0	17.1	0.66	
20	3	3 Mar	C	71	100	100	17.0	0.0	0.0	18.9	0.73	
21	3	6 Mar	C	71	100	100	17.0	0.0	0.0	18.9	0.73	
22	3	9 Mar	C	71	100	100	17.0	0.0	0.0	18.9	0.73	
23	3	12 Mar	C	76	100	100	18.2	0.0	0.0	20.2	0.78	
24	2	14 Mar	C	52	100	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
25	2	16 Mar	C	52	100	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
26	2	18 Mar	C	52	100	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
27	2	20 Mar	C	52	100	100	12.5	0.0	0.0	13.9	0.80	
28	2	22 Mar	C	56	100	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
29	2	24 Mar	C	56	100	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
30	2	26 Mar	D	56	100	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
31	2	28 Mar	D	56	100	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
32	2	1 Avr	D	56	100	100	13.4	0.0	0.0	14.9	0.86	
33	2	2 Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94	
34	2	4 Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94	

35	2	6	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94	
36	2	8	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94	
37	2	10	Avr	D	61	100	100	14.7	0.0	0.0	16.3	0.94	
38	2	12	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95	
39	2	14	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95	
40	2	16	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95	
41	2	18	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95	
42	2	20	Avr	D	62	100	100	14.8	0.0	0.0	16.4	0.95	
43	3	23	Avr	D	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69	
44	3	26	Avr	D	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69	
45	3	29	Avr	D	67	100	100	16.0	0.0	0.0	17.8	0.69	
46	4	3	Mai	D	63	100	100	15.2	0.0	0.0	16.9	0.49	
47	4	7	Mai	D	55	100	100	13.1	0.0	0.0	14.6	0.42	
END	4	11	Mai	D	41	100	100						
Irrigation totale brute					782.8 mm			Précipitation totale			0.0 mm		
Irrigation totale nette					704.5 mm			Pluie efficace			0.0 mm		
Pertes totales d'irrigation					0.0 mm			Pertes totales de pluie			0.0 mm		
Déficit d'humidité à la récolte								9.8 mm					
Irr. nette tot. + rétention de l'eau du sol					714.4 mm								
Util. réelle de l'eau par cult.					714.4 mm			Besoins réels d'irr.			714.4 mm		
Util. potent. de l'eau par cult.					714.4 mm								
Efficience Prog. d'Irr.					100.0 %			Efficience Pluie			100.0 %		
Déficiency Prog. d'Irr.					0.0 %								
Pas de réductions des rendements dues au manque d'eau													

Tableau IV-1-2: Distribution de l'eau le long du rayon arrosé par la rampe-Résultats des mesures.

i	(14/01/94)			(23/02/94)			(13/04/94)			(14/04/94)	
	Ri [m]	Xi [mm]	hi	Ri [m]	Xi [mm]	hi	Ri [m]	Xi [mm]	hi	Xi [mm]	hi
1	25.3	4.5	0.94	11.2	16.4	2.97	12.8	4.7	1.10	4.7	0.94
2	31.3	9.8	2.05	24.5	2.4	0.43	18.6	1.5	0.35	2.8	0.56
3	37.3	5.7	1.19	31.4	4.8	0.88	24.5	1.3	0.30	2.5	0.49
4	43.3	3.3	0.69	40.8	4.1	0.75	30.4	1.2	0.29	0.8	0.16
5	53.3	0.9	0.20	48.7	5.1	0.92	36.2	2.5	0.58	3.0	0.60
6	58.1	6.2	1.30	54.0	5.6	1.01	42.1	2.4	0.56	2.6	0.52
7	68.8	3.5	0.74	62.7	5.1	0.92	47.9	2.6	0.60	3.0	0.60
8	77.4	2.9	0.61	71.3	4.5	0.81	54.0	2.6	0.60	3.4	0.67
9	87.0	2.7	0.57	80.0	2.4	0.44	59.8	3.4	0.80	3.8	0.76
10	96.7	5.2	1.08	88.7	5.5	1.00	65.7	1.2	0.29	2.1	0.41
11	106.2	10.5	2.21	97.4	4.9	0.90	71.5	2.7	0.62	4.0	0.79
12	106.9	3.5	0.74	106.0	0.6	0.10	77.4	1.2	0.28	2.3	0.46
13	117.1	3.5	0.73	106.9	7.5	1.37	83.2	2.2	0.52	3.5	0.71
14	126.4	4.9	1.03	116.1	4.7	0.86	89.1	1.5	0.34	1.6	0.32
15	135.6	4.9	1.03	125.3	6.9	1.26	95.0	3.1	0.73	3.7	0.74
16	144.9	4.9	1.02	135.5	6.4	1.16	100.8	3.4	0.80	3.4	0.68
17	153.1	5.1	1.07	143.7	6.1	1.10	106.8	7.0	1.62	8.2	1.64
18	153.8	3.4	0.70	152.9	7.7	1.41	112.7	4.6	1.06	5.4	1.08
19	161.4	5.5	1.15	153.8	4.9	0.90	118.6	4.3	1.01	4.4	0.89
20	171.1	6.2	1.30	155.8	5.5	1.00	124.4	4.8	1.11	4.2	0.83
21	180.7	6.1	1.28	157.8	4.4	0.80	130.3	4.4	1.03	5.0	1.00
22	190.4	5.4	1.14	159.8	6.8	1.24	136.1	3.7	0.85	4.1	0.83
23	200.1	0.8	0.16	161.8	5.5	1.00	142.0	4.2	0.97	4.0	0.80
24	200.8	3.6	0.76	163.8	5.7	1.03	147.8	4.9	1.15	5.2	1.03
25	202.9	7.7	1.61	165.8	6.5	1.17	153.9	4.2	0.97	5.3	1.07
26	205.0	5.9	1.25	167.8	5.2	0.94	159.7	5.3	1.22	5.2	1.03
27	207.1	6.5	1.37	169.8	5.2	0.94	165.6	5.3	1.23	5.1	1.02
28	209.2	5.3	1.10	171.8	6.4	1.16	171.4	6.5	1.50	6.8	1.35
29	211.3	5.3	1.10	173.9	4.9	0.89	177.3	4.0	0.94	4.1	0.82
30	213.4	4.2	0.88	175.9	6.1	1.11	183.1	7.4	1.71	7.1	1.42
31	215.5	4.0	0.85	177.9	3.8	0.69	189.0	6.6	1.53	7.1	1.41
32	217.6	6.1	1.28	179.9	6.1	1.11	194.9	6.8	1.58	6.3	1.26
33	219.7	4.0	0.83	181.9	4.8	0.88	202.2	7.0	1.62	6.9	1.38
34	221.8	4.5	0.94	183.9	4.9	0.89	207.2	6.2	1.44	4.8	0.96
35	223.9	5.9	1.25	185.9	6.1	1.10	212.2	7.2	1.68	6.1	1.22
36	226.0	1.5	0.31	187.9	7.1	1.28	217.3	5.6	1.30	6.6	1.32

Tableau IV-1-2 (suite).

i	(14/01/94)			(23/02/94)			(13/04/94)			(14/04/94)	
	Ri [m]	Xi [mm]	hi	Ri [m]	Xi [mm]	hi	Ri [m]	Xi [mm]	hi	Xi [mm]	hi
37	228.1	4.0	0.83	189.9	5.8	1.05	222.3	5.1	1.18	5.4	1.08
38	230.2	4.1	0.86	191.9	4.9	0.88	227.3	3.6	0.83	3.2	0.65
39	232.3	7.2	1.52	193.9	4.9	0.90	232.3	7.0	1.63	8.2	1.64
40	234.4	3.3	0.69	195.9	5.0	0.92	237.3	4.9	1.15	5.1	1.02
41	236.5	4.6	0.96	197.9	4.4	0.80	242.4	5.4	1.25	5.1	1.02
42	238.6	6.7	1.41	199.9	9.7	1.76	247.6	3.5	0.82	5.3	1.05
43	240.7	5.5	1.15	200.8	6.4	1.17	249.9	3.7	0.86	5.2	1.03
44	242.8	5.2	1.08	210.1	6.7	1.21	252.2	5.8	1.35	6.8	1.36
45	244.9	5.8	1.22	219.3	6.1	1.11	254.5	4.2	0.98	5.3	1.07
46	247.0	4.0	0.83	228.5	5.4	0.98	256.8	6.1	1.42	6.6	1.32
47	247.8	3.6	0.76	237.8	5.4	0.98	259.2	5.2	1.21	5.8	1.16
48	257.1	4.2	0.88	247.0	4.1	0.75	261.5	4.9	1.15	6.6	1.33
49	266.3	4.6	0.97	247.8	5.5	0.99	263.8	5.6	1.31	4.3	0.85
50	275.6	6.0	1.26	257.0	5.3	0.95	266.1	4.0	0.92	4.3	0.86
51	284.8	3.9	0.81	266.2	6.9	1.25	268.4	6.4	1.48	7.8	1.57
52	294.1	1.7	0.36	275.5	3.5	0.64	270.7	4.6	1.07	5.8	1.16
53				284.7	4.9	0.90	273.0	4.1	0.95	5.5	1.10
54				293.9	5.1	0.93	275.4	3.8	0.89	5.8	1.16
55				296.5	9.0	1.64	277.7	5.8	1.35	7.4	1.49
56				298.5	4.0	0.72	280.0	5.1	1.19	6.8	1.35
57				300.5	7.2	1.31	282.3	5.5	1.28	5.3	1.06
58				302.5	0.6	0.11	284.6	3.8	0.89	5.8	1.16
59							286.9	5.5	1.28	7.4	1.49
60							289.3	4.1	0.95	6.0	1.21
61							291.6	4.2	0.98	5.5	1.09
62							293.9	2.6	0.61	4.0	0.81
63							296.4	0.6	0.15	6.2	1.23
64							298.4	4.6	1.08	4.7	0.95
65							300.4	5.8	1.35	7.4	1.49
66							302.4	3.1	0.73	6.4	1.27
67							304.4	4.5	1.05	2.3	0.46

Tableau IV-1-3: Relevés pluviométriques d'aspersion, classés par ordre décroissant, et fraction de surface cumulée correspondante.

(14/01/94)			(23/02/94)			(13/04/94)			(14/04/94)		
Xi	hi	Ai									
[mm]			[mm]			[mm]			[mm]		
10.5		0.000	16.4		0.000	7.4		0.000	8.2		0.000
10.5	2.21	0.012	16.4	2.95	0.003	7.4	1.70	0.023	8.2	1.63	0.007
9.8	2.05	0.016	9.7	1.75	0.009	7.2	1.67	0.046	8.2	1.63	0.032
7.7	1.61	0.026	9.0	1.63	0.028	7.0	1.62	0.071	7.8	1.56	0.046
7.2	1.52	0.037	7.7	1.40	0.044	7.0	1.61	0.089	7.4	1.48	0.059
6.7	1.41	0.049	7.5	1.36	0.055	7.0	1.61	0.096	7.4	1.48	0.074
6.5	1.37	0.059	7.2	1.31	0.068	6.8	1.57	0.131	7.4	1.48	0.087
6.2	1.30	0.098	7.1	1.27	0.076	6.6	1.52	0.155	7.1	1.41	0.110
6.2	1.30	0.111	6.9	1.25	0.103	6.5	1.49	0.177	7.1	1.41	0.133
6.1	1.28	0.121	6.9	1.24	0.155	6.4	1.47	0.190	6.9	1.37	0.151
6.1	1.28	0.162	6.8	1.23	0.162	6.2	1.43	0.212	6.8	1.35	0.164
6.0	1.26	0.221	6.7	1.20	0.204	6.1	1.41	0.225	6.8	1.35	0.178
5.9	1.25	0.231	6.5	1.17	0.211	5.8	1.34	0.238	6.8	1.35	0.199
5.9	1.25	0.242	6.4	1.16	0.232	5.8	1.34	0.251	6.6	1.32	0.212
5.8	1.22	0.254	6.4	1.15	0.259	5.8	1.34	0.264	6.6	1.31	0.225
5.7	1.19	0.259	6.4	1.15	0.266	5.6	1.30	0.277	6.6	1.31	0.248
5.5	1.15	0.271	6.1	1.10	0.274	5.6	1.29	0.301	6.4	1.27	0.261
5.5	1.15	0.303	6.1	1.10	0.317	5.5	1.27	0.315	6.3	1.25	0.297
5.4	1.14	0.346	6.1	1.10	0.325	5.5	1.27	0.329	6.2	1.23	0.314
5.3	1.10	0.356	6.1	1.10	0.333	5.4	1.24	0.368	6.1	1.22	0.337
5.3	1.10	0.367	6.1	1.10	0.360	5.3	1.22	0.389	6.0	1.20	0.351
5.2	1.08	0.378	5.8	1.04	0.368	5.3	1.21	0.409	5.8	1.16	0.365
5.2	1.08	0.400	5.7	1.03	0.375	5.2	1.20	0.422	5.8	1.16	0.379
5.1	1.07	0.415	5.6	1.00	0.380	5.1	1.18	0.436	5.8	1.16	0.393
4.9	1.03	0.442	5.5	0.99	0.397	5.1	1.17	0.460	5.8	1.16	0.406
4.9	1.03	0.471	5.5	0.99	0.404	4.9	1.14	0.473	5.5	1.10	0.419
4.9	1.02	0.501	5.5	0.99	0.410	4.9	1.14	0.500	5.5	1.09	0.434
4.6	0.97	0.558	5.5	0.99	0.436	4.9	1.14	0.525	5.4	1.08	0.458
4.6	0.96	0.569	5.4	0.97	0.482	4.8	1.10	0.541	5.4	1.07	0.472
4.5	0.94	0.580	5.4	0.97	0.529	4.7	1.09	0.543	5.3	1.06	0.484
4.5	0.94	0.589	5.3	0.95	0.580	4.6	1.07	0.556	5.3	1.06	0.495
4.2	0.88	0.644	5.2	0.93	0.587	4.6	1.06	0.570	5.3	1.05	0.509
4.2	0.88	0.655	5.2	0.93	0.594	4.6	1.05	0.584	5.3	1.05	0.515
4.1	0.86	0.666	5.1	0.92	0.625	4.5	1.04	0.603	5.2	1.03	0.535
4.0	0.85	0.677	5.1	0.92	0.635	4.4	1.02	0.619	5.2	1.03	0.548
4.0	0.83	0.687	5.1	0.92	0.646	4.3	1.00	0.634	5.2	1.03	0.575

Tableau IV-1-3 (suite):

(14/01/94)			(23/02/94)			(13/04/94)			(14/04/94)		
Xi	hi	Ai									
[mm]			[mm]			[mm]			[mm]		
3.9	0.81	0.768	4.9	0.89	0.729	4.2	0.96	0.679	5.1	1.01	0.660
3.6	0.76	0.796	4.9	0.89	0.733	4.2	0.96	0.690	5.0	0.99	0.676
3.6	0.76	0.802	4.9	0.89	0.741	4.1	0.94	0.703	4.8	0.95	0.699
3.5	0.74	0.815	4.9	0.89	0.749	4.1	0.94	0.718	4.7	0.94	0.711
3.5	0.74	0.831	4.9	0.89	0.757	4.0	0.93	0.740	4.7	0.93	0.714
3.5	0.73	0.857	4.9	0.88	0.765	4.0	0.91	0.753	4.4	0.88	0.729
3.4	0.70	0.871	4.8	0.87	0.771	3.8	0.88	0.767	4.3	0.86	0.742
3.3	0.69	0.883	4.8	0.87	0.779	3.8	0.88	0.781	4.3	0.85	0.755
3.3	0.69	0.891	4.7	0.85	0.801	3.7	0.85	0.793	4.2	0.83	0.771
2.9	0.61	0.907	4.5	0.81	0.815	3.7	0.84	0.811	4.1	0.82	0.788
2.7	0.57	0.927	4.4	0.79	0.823	3.6	0.82	0.835	4.1	0.81	0.810
1.7	0.36	0.960	4.4	0.79	0.830	3.5	0.81	0.841	4.0	0.81	0.820
1.5	0.31	0.971	4.1	0.75	0.838	3.4	0.79	0.860	4.0	0.80	0.838
0.9	0.20	0.977	4.1	0.75	0.863	3.4	0.79	0.867	4.0	0.79	0.847
0.8	0.16	1.000	4.0	0.71	0.876	3.1	0.72	0.879	3.8	0.75	0.854
			3.8	0.68	0.884	3.1	0.72	0.892	3.7	0.74	0.866
			3.5	0.64	0.938	2.7	0.61	0.901	3.5	0.70	0.877
			2.4	0.44	0.953	2.6	0.60	0.911	3.4	0.68	0.895
			2.4	0.43	0.958	2.6	0.60	0.920	3.4	0.67	0.899
			0.6	0.11	0.990	2.6	0.60	0.924	3.2	0.64	0.924
			0.6	0.10	1.000	2.5	0.58	0.928	3.0	0.60	0.928
						2.4	0.56	0.933	3.0	0.60	0.937
						2.2	0.52	0.944	2.8	0.56	0.939
						1.5	0.35	0.946	2.6	0.51	0.945
						1.5	0.34	0.957	2.5	0.49	0.948
						1.3	0.30	0.961	2.3	0.46	0.957
						1.2	0.29	0.964	2.3	0.46	0.977
						1.2	0.29	0.973	2.1	0.41	0.985
						1.2	0.28	0.982	1.6	0.32	0.996
						0.6	0.15	1.000	0.8	0.16	1.000

Tableau IV-2-1: Etat d'humidité du sol avant et après irrigation-Résultats des mesures.

Profil	si [ha]	(14/01/94)		(23/02/94)		(01/04/94)		(14/04/94)	
		Yavir [mm]	Yapir [mm]	Yavir [mm]	Yapir [mm]	Yapir1 [mm]	Yapir2 [mm]	Yavir [mm]	Yapir1 [mm]
1	0.91	23.9	32.4	28.5	38.1	90.4	80.4	51.4	64.2
2	2.63	34.6	36.9	28.5	32.2	69.7	75.5	49.5	55.0
3	3.81	27.9	37.4	30.0	40.0	81.9	95.3	65.0	77.3
4	5.21	28.1	36.2	30.0	39.0	85.8	106.3	52.7	77.6
5	6.56	24.9	46.3	35.9	51.3	84.0	93.3	63.2	71.2
6	7.96	37.7	46.1	33.3	47.6	89.1	89.1	79.7	71.4
7	2.19	16.1	34.9	15.4	33.5	49.1	61.4	43.9	57.4

Tableau IV-2-2: Profils de distribution de l'eau infiltrée.

	Yi [mm]	A V		I R		Yi [mm]	A P		I R	
		si [ha]	Si [ha]	Ai	si [ha]		Si [ha]	Ai		
Expérience1	25.3	7.96	7.96	0.272		31.7	6.56	6.56	0.224	
	22.5	2.63	10.59	0.362		29.4	7.96	14.52	0.496	
	17.9	5.21	15.80	0.540		23.8	3.81	18.32	0.626	
	17.5	3.81	19.61	0.670		22.4	2.63	20.96	0.716	
	14.2	6.56	26.17	0.894		21.9	5.21	26.17	0.894	
	13.4	0.91	27.07	0.925		21.7	2.19	28.36	0.969	
	10.6	2.19	29.27	1.000		20.3	0.91	29.27	1.000	
Expérience2										
	35.9	6.56	6.56	0.224		51.3	6.56	6.56	0.224	
	33.3	7.96	14.52	0.496		47.6	7.96	14.52	0.496	
	30.0	5.21	19.73	0.674		40.0	3.81	18.32	0.626	
	30.0	3.81	23.53	0.804		39.0	5.21	23.53	0.804	
	28.5	2.63	26.17	0.894		38.1	0.91	24.44	0.835	
	28.5	0.91	27.07	0.925		33.5	2.19	26.63	0.910	
15.4	2.19	29.27	1.000		32.2	2.63	29.27	1.000		
Expérience3										
	90.4	0.91	0.91	0.031		106.3	5.21	5.21	0.178	
	89.1	7.96	8.87	0.303		95.3	3.81	9.01	0.308	
	85.8	5.21	14.08	0.481		93.3	6.56	15.57	0.532	
	84.0	6.56	20.63	0.705		89.1	7.96	23.53	0.804	
	81.9	3.81	24.44	0.835		80.4	0.91	24.44	0.835	
	69.7	2.63	27.07	0.925		75.5	2.63	27.07	0.925	
49.1	2.19	29.27	1.000		61.4	2.19	29.27	1.000		
Expérience4										
	79.7	7.96	7.96	0.272		77.6	5.21	5.21	0.178	
	65.0	3.81	11.77	0.402		77.3	3.81	9.01	0.308	
	63.2	6.56	18.32	0.626		71.4	7.96	16.98	0.580	
	52.7	5.21	23.53	0.804		71.2	6.56	23.53	0.804	
	51.4	0.91	24.44	0.835		64.2	0.91	24.44	0.835	
	49.5	2.63	27.07	0.925		57.4	2.19	26.63	0.910	
43.9	2.19	29.27	1.000		55.0	2.63	29.27	1.000		

Fig.IV-2-10: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, AVIR, EXPERIENCE 1.

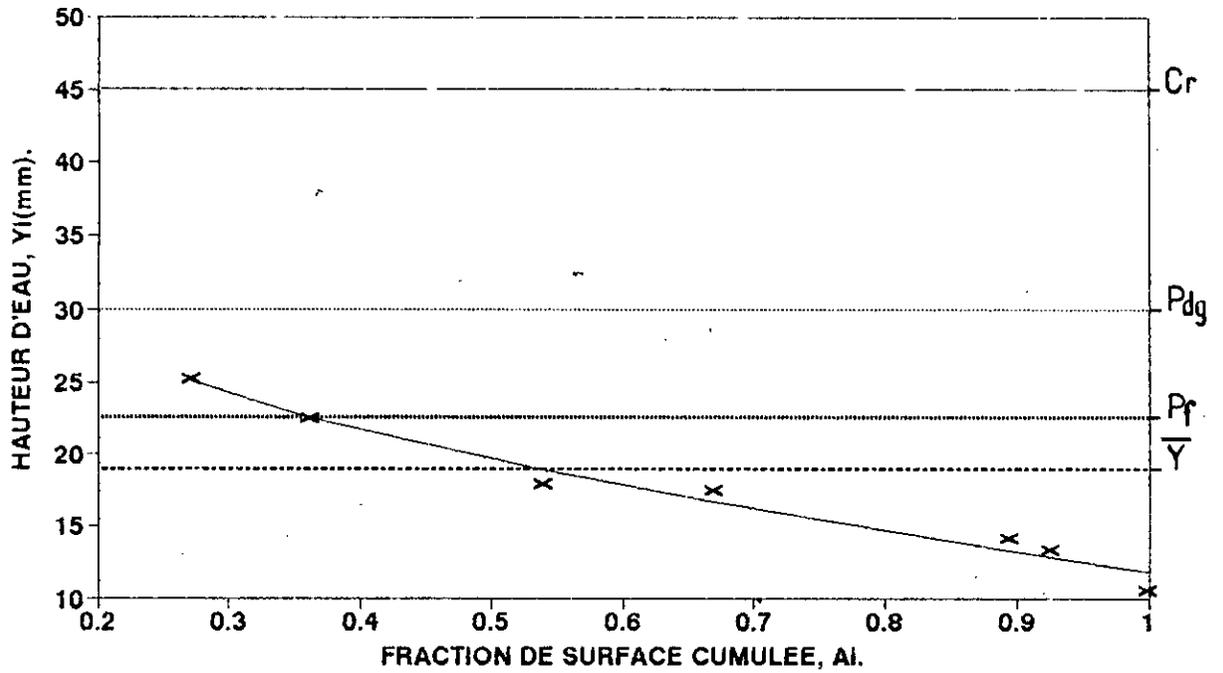


Fig.IV-2-11: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, APIR, EXPERIENCE 1.

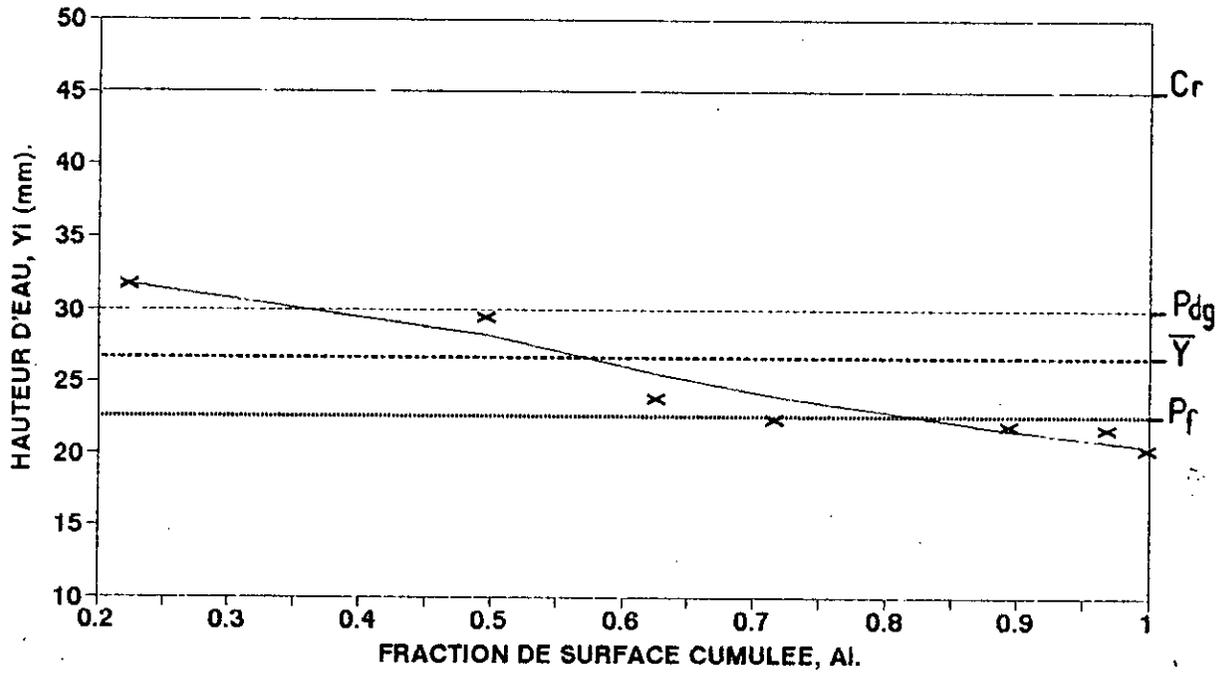


Fig.IV-2-12: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, AVIR, EXPERIENCE 2.

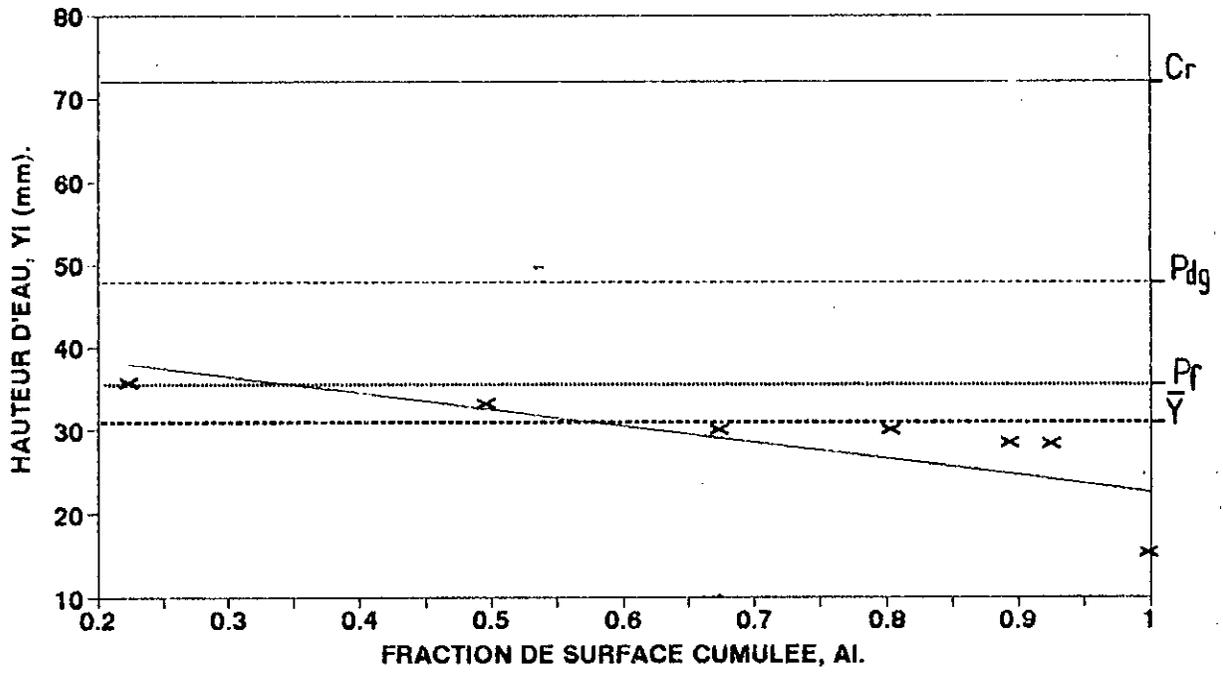


Fig.IV-2-13: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, APIR, EXPERIENCE 2.

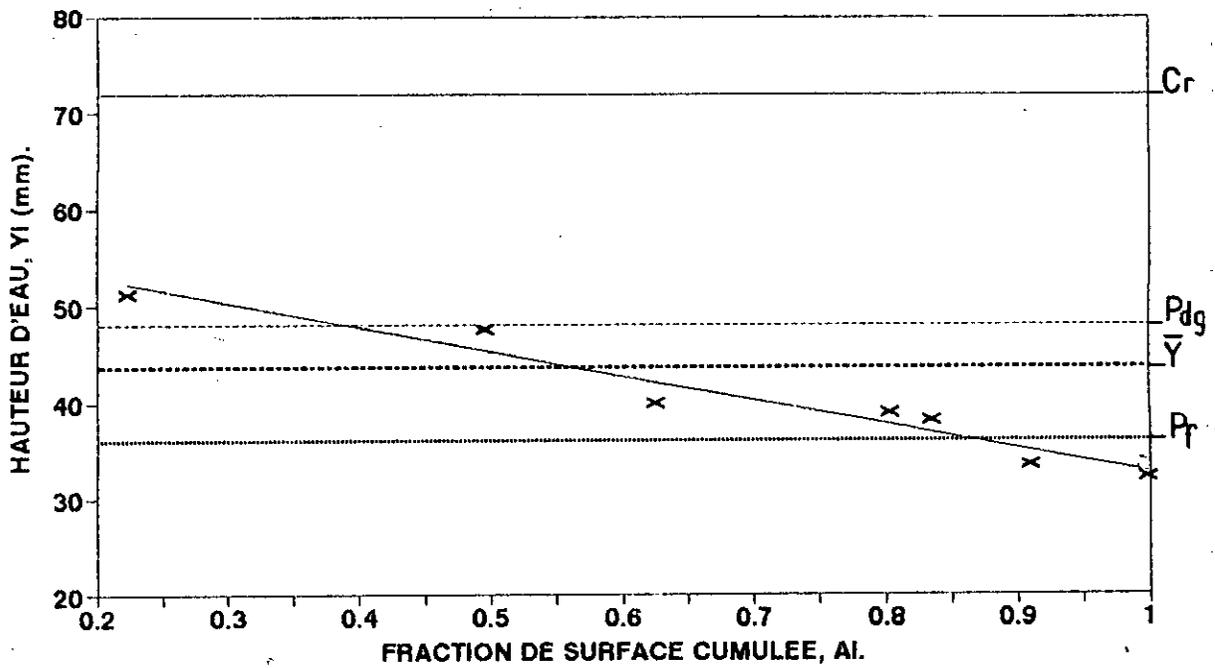


Fig.IV-2-14: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, APIR1, EXPERIENCE 3.

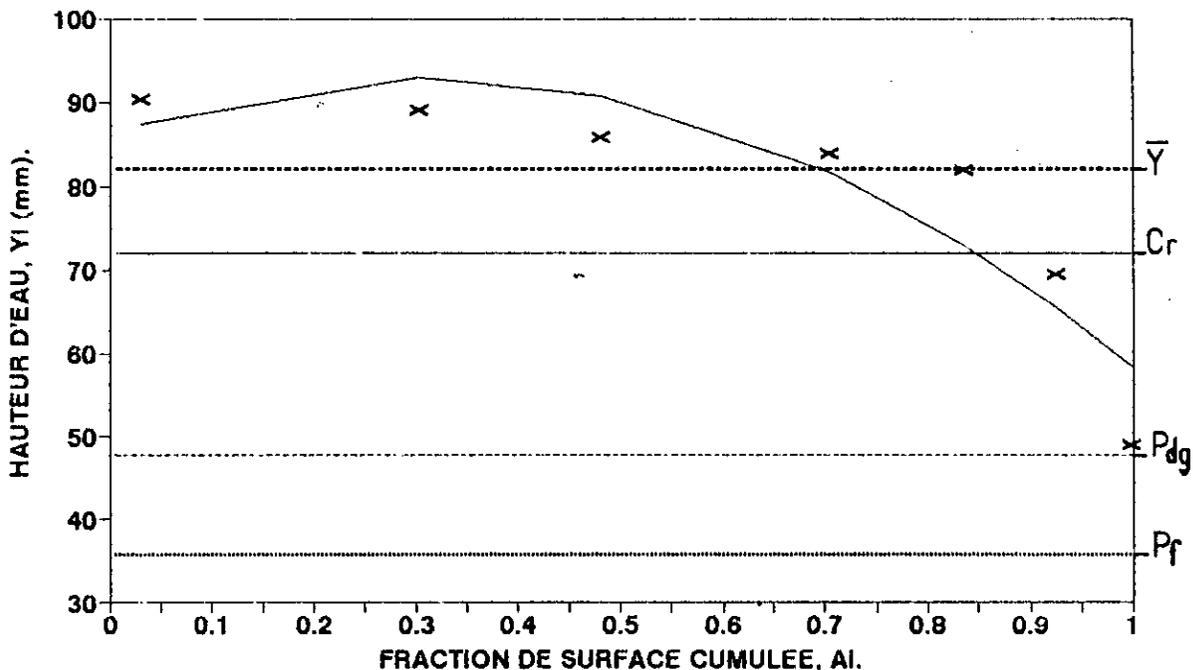


Fig.IV-2-15: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, APIR2, EXPERIENCE 3.

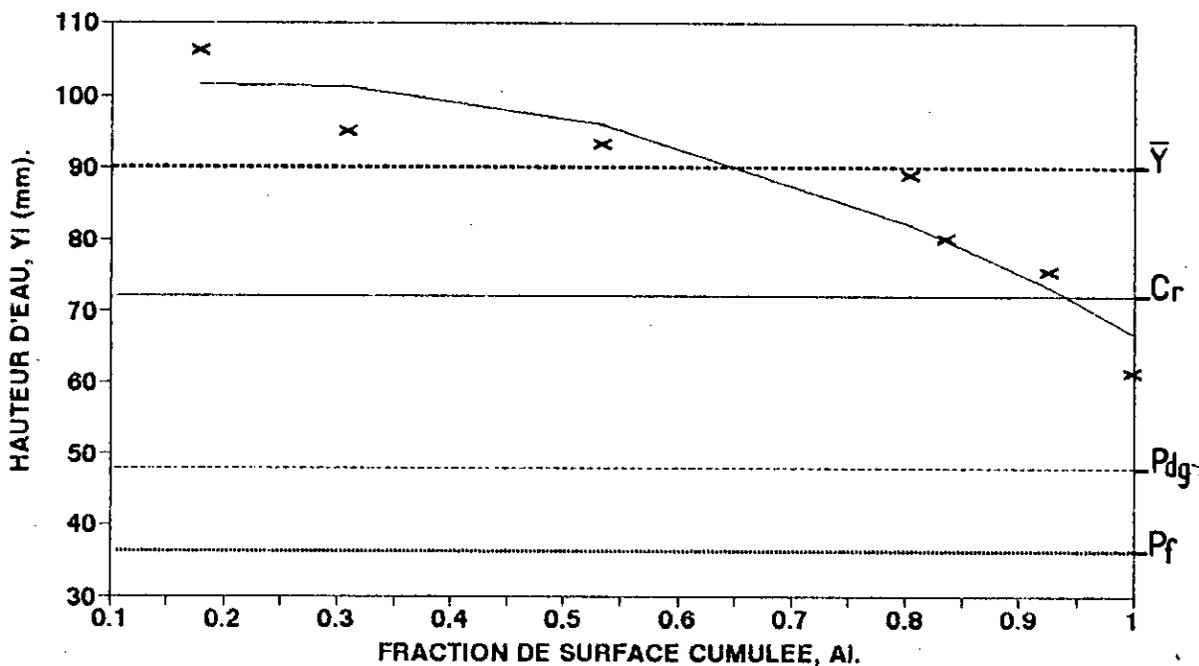


Fig.IV-2-16: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, AVIR, EXPERIENCE 4.

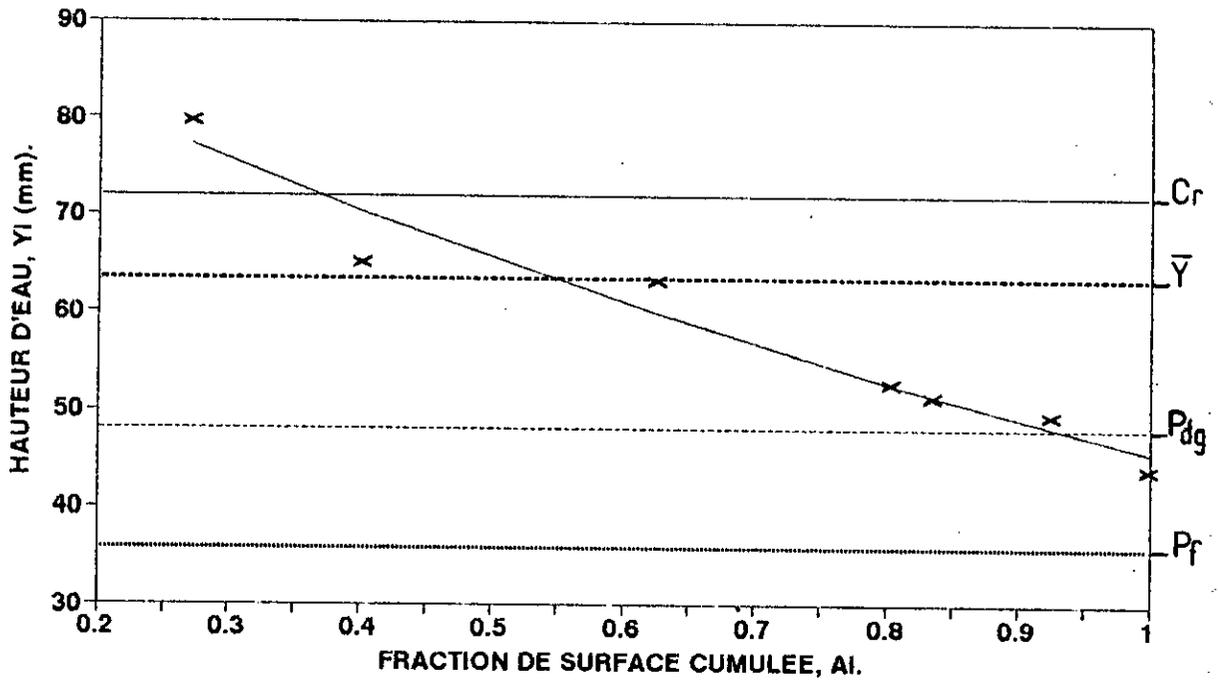


Fig.IV-2-17: PROFIL DE DISTRIBUTION DE L'EAU INFILTREE, APIR1, EXPERIENCE 4.

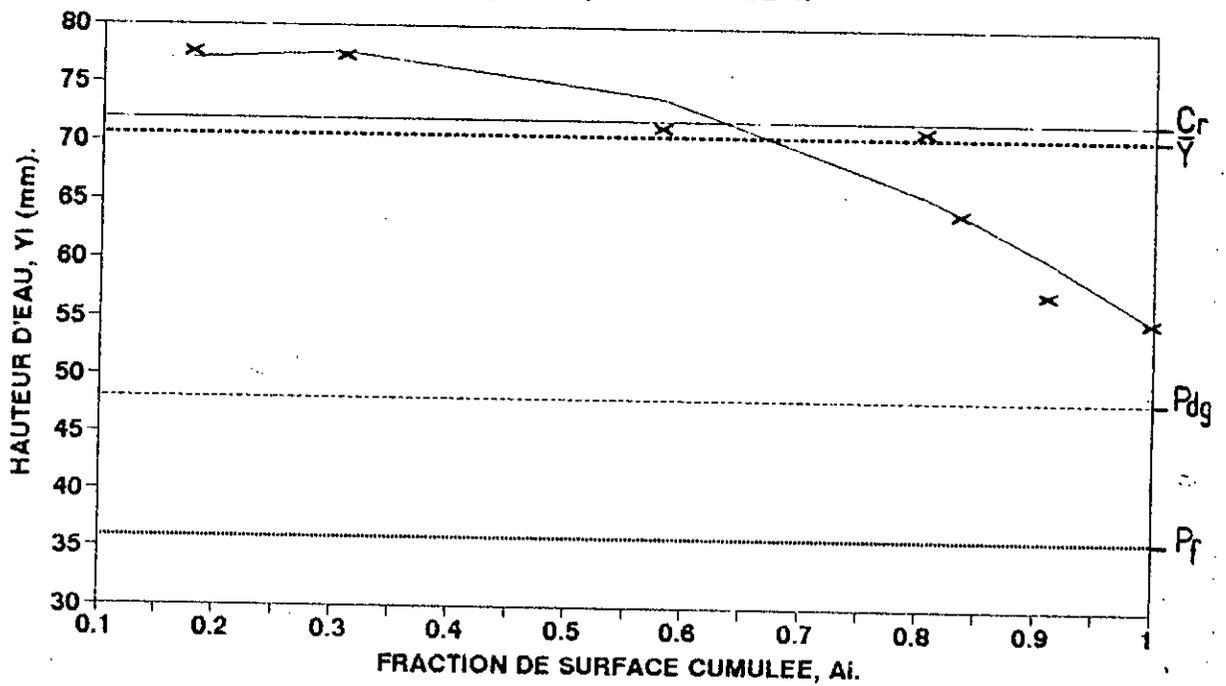


Tableau IV-3-2: Distribution des débits et pressions aux buses.

Buse	Ri [m]	N°série	Qi [l/s]	Qmes [l/s]	Erreur [l/s]	CoeffHydr	Pi [bar]	Pmes [bar]
1	2.5	Néant	0.004	0	ERR		ERR	0.00
2	5.5	Néant	0.009	0	ERR		ERR	0.00
3	8.4	Néant	0.014	0	ERR		ERR	0.00
4	11.4	5	0.019	0.047	0.003	3.21E-06	1.06	0.90
5	14.3	5	0.023	0.041	0.003	3.21E-06	0.82	0.60
6	17.3	5	0.028	0.042	0.003	3.21E-06	0.84	0.45
7	20.2	5	0.033	0.024	0.002	3.21E-06	0.27	0.40
8	23.2	5	0.038	0.036	0.004	3.21E-06	0.64	0.40
9	26.1	5	0.043	0.012	0.001	3.21E-06	0.07	0.40
10	29.1	6	0.048	0.048	0.005	4.69E-06	0.52	0.45
11	32.0	6	0.052	0.053	0.004	4.69E-06	0.63	0.50
12	35.0	6	0.057	0.057	0.007	4.69E-06	0.74	0.40
13	37.9	6	0.062	0.067	0.008	4.69E-06	1.01	0.70
14	40.9	6	0.067	0.065	0.007	4.69E-06	0.95	0.60
15	43.8	7	0.072	0.071	0.008	6.32E-06	0.64	0.55
16	46.8	7	0.077	0.091	0.011	6.32E-06	1.03	0.55
17	49.7	7	0.081	0.094	0.008	6.32E-06	1.10	0.60
18	52.7	7	0.086	0.086	0.007	6.32E-06	0.92	0.55
19	55.6	7	0.091	0.081	0.002	6.32E-06	0.81	0.55
20	58.6	8	0.096	0.050	0.001	8.38E-06	0.18	0.60
21	61.5	8	0.101	0.088	0.002	8.38E-06	0.55	0.70
22	64.5	8	0.106	0.021	0.000	8.38E-06	0.03	0.40
23	67.4	8	0.110	0.097	0.002	8.38E-06	0.67	0.60
24	70.4	8	0.115	0.097	0.002	8.38E-06	0.67	0.70
25	73.3	9	0.120	0.133	0.004	1.05E-05	0.80	0.70
26	76.3	9	0.125	0.125	0.003	1.05E-05	0.70	0.60
27	79.2	9	0.130	0.000	ERR	1.05E-05	0.00	0.00
28	82.2	9	0.135	0.125	0.003	1.05E-05	0.70	0.50
29	85.1	9	0.139	0.120	0.003	1.05E-05	0.65	0.60
30	88.1	9	0.144	0.000	ERR	1.05E-05	0.00	0.00
31	91.0	10	0.149	0.154	0.004	1.32E-05	0.68	0.60
32	94.0	10	0.154	0.156	0.004	1.32E-05	0.70	0.60
33	96.9	10	0.159	0.154	0.004	1.32E-05	0.68	0.55
34	99.9	10	0.164	0.156	0.004	1.32E-05	0.70	0.55
35	102.8	10	0.168	0.159	0.004	1.32E-05	0.73	0.60
36	105.8	10	0.173	0.172	0.005	1.32E-05	0.86	0.60

Buse	Ri [m]	N°série	Qi [l/s]	Qmes [l/s]	Erreur [l/s]	CoeffHydr	Pi [bar]	Pmes [bar]
37	108.7	11	0.178	0.200	0.006	1.64E-05	0.74	0.60
38	111.7	11	0.183	0.204	0.006	1.64E-05	0.77	0.70
39	114.6	11	0.188	0.196	0.006	1.64E-05	0.71	0.55
40	117.6	11	0.193	0.192	0.006	1.64E-05	0.68	0.60
41	120.5	11	0.197	0.200	0.006	1.64E-05	0.74	0.55
42	123.5	11	0.202	0.233	0.007	1.64E-05	1.00	0.60
43	126.4	12	0.207	0.233	0.007	2.03E-05	0.66	0.55
44	129.4	12	0.212	0.217	0.007	2.03E-05	0.57	0.55
45	132.3	12	0.217	0.125	0.003	2.03E-05	0.19	0.60
46	135.3	12	0.222	0.244	0.008	2.03E-05	0.72	0.70
47	138.2	12	0.226	0.244	0.008	2.03E-05	0.72	0.60
48	141.2	12	0.231	0.238	0.008	2.03E-05	0.69	0.70
49	144.1	12	0.236	0.244	0.008	2.03E-05	0.72	0.70
50	147.1	13	0.241	0.303	0.011	2.39E-05	0.80	0.75
51	150.0	13	0.246	0.303	0.011	2.39E-05	0.80	1.00
52	153.0	13	0.251	0.313	0.011	2.39E-05	0.85	0.90
53	155.9	13	0.255	0.400	0.016	2.39E-05	1.40	1.00
54	158.8	13	0.260	0.323	0.012	2.39E-05	0.91	0.90
55	161.8	13	0.265	0.294	0.010	2.39E-05	0.76	1.00
56	164.7	14	0.270	0.345	0.013	2.64E-05	0.86	0.60
57	167.7	14	0.275	0.357	0.014	2.64E-05	0.92	0.80
58	170.6	14	0.280	0.333	0.012	2.64E-05	0.80	0.90
59	173.6	14	0.284	0.357	0.014	2.64E-05	0.92	0.70
60	176.5	14	0.289	0.385	0.015	2.64E-05	1.07	0.90
61	179.5	14	0.294	0.357	0.014	2.64E-05	0.92	0.90
62	182.4	14	0.299	0.385	0.015	2.64E-05	1.07	1.00
63	185.4	15	0.304	0.400	0.016	3.1E-05	0.83	0.80
64	188.3	15	0.309	0.417	0.017	3.1E-05	0.90	0.90
65	191.3	15	0.313	0.400	0.016	3.1E-05	0.83	1.00
66	194.2	15	0.318	0.417	0.017	3.1E-05	0.90	1.00
67	197.2	15	0.323	0.400	0.016	3.1E-05	0.83	1.00
68	200.1	15	0.328	0.435	0.018	3.1E-05	0.98	1.10
69	203.1	15	0.333	0.286	0.010	3.1E-05	0.43	0.60
70	206.0	15	0.338	0.400	0.016	3.1E-05	0.83	0.70
71	209.0	16	0.342	0.417	0.017	3.52E-05	0.70	0.60
72	211.9	16	0.347	0.400	0.016	3.52E-05	0.65	0.80
73	214.9	16	0.352	0.417	0.017	3.52E-05	0.70	0.60
74	217.8	16	0.357	ERR	ERR	3.52E-05	ERR	0.70

Buse	Ri [m]	N°série	Qi [l/s]	Qmes [l/s]	Erreur [l/s]	CoeffHydr	Pi [bar]	Pmes [bar]
75	220.8	16	0.362	0.417	0.017	3.52E-05	0.70	0.60
76	223.7	16	0.367	0.400	0.016	3.52E-05	0.65	0.60
77	226.7	16	0.371	0.417	0.017	3.52E-05	0.70	0.60
78	229.6	16	0.376	0.400	0.016	3.52E-05	0.65	0.55
79	232.6	16	0.381	0.370	0.014	3.52E-05	0.56	0.60
80	235.5	14	0.386	0.313	0.011	2.64E-05	0.70	0.55
81	238.5	17	0.391	0.417	0.017	3.76E-05	0.61	0.55
82	241.4	17	0.396	0.435	0.018	3.76E-05	0.67	0.55
83	244.4	17	0.400	0.500	0.023	3.76E-05	0.88	0.55
84	247.3	17	0.405	0.345	0.013	3.76E-05	0.42	0.70
85	250.3	17	0.410	0.417	0.017	3.76E-05	0.61	0.60
86	253.2	17	0.415	0.417	0.017	3.76E-05	0.61	0.60
87	256.2	17	0.420	0.417	0.017	3.76E-05	0.61	0.60
88	259.1	17	0.425	0.476	0.021	3.76E-05	0.80	0.55
89	262.1	17	0.429	0.400	0.016	3.76E-05	0.57	0.50
90	265.0	17	0.434	0.357	0.014	3.76E-05	0.45	0.55
91	268.0	18	0.439	0.303	0.011	4.05E-05	0.28	0.50
92	270.9	18	0.444	0.417	0.017	4.05E-05	0.53	0.50
93	273.9	18	0.449	0.476	0.021	4.05E-05	0.69	0.50
94	276.8	18	0.454	0.455	0.019	4.05E-05	0.63	0.50
95	279.8	18	0.458	0.500	0.023	4.05E-05	0.76	0.50
96	282.7	18	0.463	0.556	0.027	4.05E-05	0.94	0.55
97	285.7	18	0.468	0.625	0.032	4.05E-05	1.19	0.50
98	288.6	18	0.473	0.500	0.023	4.05E-05	0.76	0.60
99	291.6	18	0.478	0.476	0.021	4.05E-05	0.69	0.55
100	294.5	19	0.483	0.500	0.023	4.39E-05	0.65	0.60
101	297.5	19	0.487	0.556	0.027	4.39E-05	0.80	0.90
102	300.4	19	0.492	0.588	0.029	4.39E-05	0.90	1.10
103	303.4	19	0.497	0.417	0.017	4.39E-05	0.45	1.00
104	306.3	19	0.502	0.556	0.027	4.39E-05	0.80	1.10

- Ri: Distance au centre du pivot.
N°série: Référence de la buse.
Qi: Débit obtenu par le calcul théorique présenté.
Qobs: Débit mesuré à la buse.
Pi: Pression nécessaire pour avoir le débit mesuré, sans considérer les pertes de charges dans la rallonge.

Présentation du logiciel CURVEFIT: C'est un programme permettant l'ajustement d'un nombre de points donnés (<255) par une courbe théorique. Ceci à partir d'un ensemble de 25 équations mémorisées. Il détermine alors l'équation la plus représentative ainsi que le rapport de corrélation correspondant. Le menu du logiciel ainsi que la liste des équations sont données ci-après:

EQUATIONS FITTED USING THIS PROGRAM			
1. $Y=A+B*X$	STR. LINE	2. $Y=B*X$	LINE THRU ORG.
3. $Y=1/(A+B*X)$	REC. STR LINE	4. $Y=A+B*X+C/X$	LIN AND RECIP.
5. $Y=A+B/X$	HYPERBOLA	6. $Y=X/(A*X+B)$	RECIP HYPERBOLA
7. $Y=A+B/X+C/X*X$	2ND ORD HYP	8. $Y=A+B*X+C*X*X$	PARABOLA
9. $Y=A*X+B*X*X$	PAR AT ORIGIN	10. $Y=A*X^B$	POWER
11. $Y=A*B^X$	MOD. POWER	12. $Y=B^(1/X)$	ROOT
13. $Y=A*X^(B*X)$	SUPER GEOMET.	14. $Y=A*X^(B/X)$	MOD GEOMETRIC
15. $Y=A*e^(B*X)$	EXPONENTIAL	16. $Y=A*e^(B/X)$	MOD EXPONENTIAL
17. $Y=A+B*ln(X)$	LOGARITHMIC	18. $Y=1/(A+B*ln(X))$	RECIP LOG
19. $Y=A*B^X*X^C$	HOERL FUNCTION	20. $Y=A*B^(1/X)*X^C$	MOD HOERL
21. $Y=A*e^(((X-B)^2)/C)$	NORMAL	22. $Y=A*e^(((ln(X)-B)^2)/C)$	LOG NORMAL
23. $Y=A*X^B*(1-X)^C$	BETA	24. $Y=A*(X/B)^C*e^(X/B)$	GAMMA
25. $Y=1/(A*(X+B)^2+C)$	CAUCHY		
<p>NOTES: A. Values of X and Y may be positive, negative, or zero B. Only 255 values of X and Y can be used.</p>			
<p>Press <RETURN> to continue program execution</p>			

CURVEFIT	Version 2.10N March 1, 1987	by Thomas S. Cox	SHAREWARE
Unregistered Copy		MASTER MENU	
SELECT	CHOICES	BRIEF DESCRIPTION OF CHOICES	
• \$	ENTER	New Data (X and Y values)	
• \$	LOAD	A Previously Stored Data File	
• \$	ADD	Data to Values of X and Y Currently in Memory	
• \$	DELETE	or CHANGE Values of X and Y Currently in Memory	
• \$	LIST	X and Y Values Currently in Memory	
• \$	CALCULATE	Equation Coefficients (A, B, C, and R ²)	
• \$	PREDICT	Value of Y, given Value of X	
• \$	SHOW	LIST of EQUATIONS Fitted Using this Program	
• \$	REVIEW	Equation Coefficients (A, B, C, R ²)	
• \$	DISPLAY	List of SUMS and SUMS of SQUARES	
• \$	STORE	X and Y Data Points to a DISK FILE	
• \$	EXIT	Leave Program and EXIT to DOS	
• \$	BEST FIT	Sorted by R ² (Coefficients MUST have been calculated)	
• \$	MONITOR	Select COLOR or MONOCHROME (Default is COLOR + HERC)	
<p>USE <UP> OR <DOWN> KEYS TO MAKE SELECTION, PRESS <ENTER>. <ESC> to EXIT</p>			

Les résultats obtenus dans notre étude (chapitre IV-2) sont donnés ci-après:

Expérience I:

-Avant irrigation:	$Y(A) = a + b.A + c/A;$	$R^2 = 0.9739,$
avec:	$a = 22.6899,$ $b = -12.4401,$	$c = 1.5842.$
-Après irrigation:	$Y(A) = a + b/A + c/A^2;$	$R^2 = 0.9535,$
avec:	$a = 9.4554,$ $b = 12.8530,$	$c = -1.7604.$

Expérience II:

-Avant irrigation:	$Y(A) = a + b.A + c.A^2;$	$R^2 = 0.6482,$
avec:	$a = 42.4178,$ $b = -19.7765,$	$c = 0.0221.$
-Après irrigation:	$Y(A) = a + b.A;$	$R^2 = 0.9459,$
avec:	$a = 57.8014,$ $b = -25.1409,$	$c = 0$

Expérience III:

-Avant irrigation:	$Y(A) = a + b.A + c.A^2;$	$R^2 = 0.8149,$
avec:	$a = 86.1105,$ $b = 44.5381,$	$c = -72.1956.$
-Après irrigation:	$Y(A) = a + b.A + c.A^2;$	$R^2 = 0.8866,$
avec:	$a = 98.8164,$ $b = 25.6057,$	$c = -57.6156.$

Expérience IV:

-Avant irrigation:	$Y(A) = a.e^{b.A};$	$R^2 = 0.9493,$
avec:	$a = 93.9117,$ $b = -0.7213,$	$c = 0$
-Après irrigation:	$Y(A) = a + b.A + c.A^2;$	$R^2 = 0.9082,$
avec:	$a = 73.8389,$ $b = 26.0719,$	$c = -44.8590.$

BIBLIOGRAPHIE:

- [1] Collectif -Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations.
(Ministère de la coopération française).
- [2] R.Clément -Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression.
& R.Galant :
- [3] S. Doorenbos -Besoins en eau des cultures-Bulletin F A O N°24.
- [4] J. Doorenbos -Réponse des rendements à l'eau-Bulletin F A O N°33.
- [5] L. Rolland -La mécanisation de l'irrigation par aspersion-Bulletin F A O N°35.
- [6] N.Dakhia: -Caractérisation de l'irrigation par aspersion-Projet de fin d'étude, I N A, 1985.
- [7] -Evaluation technico-économique d'un projet d'irrigation par centre-pivot-Projet
de fin d'étude, Université Catholique de Louvain, 1992.
- [8] W.Hart & al. -Irrigation performance: An evaluation.
- [9] Feyen & Badji: -Traité d'irrigation sous pression.
- [10] V.J. Nomen & Boiz -Influence de la pression sur le spectre granulométrique de l'asperseur-La Houille
Blanche, 1983.
- [11] H. Smith -Manuel de CROPWAT-Bulletin F A O N°46.
- [12] -Journées techniques et scientifiques ALGERIE-AUTRICHE;Document BAUER.
- [13] -Document IRRIFRANCE .
- [14] -Carte des sols d'ALGERIE; Laboratoire de pédologie I N A.
- [15] M. Carlier: -Hydraulique générale et appliquée.
-