

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOHAMED KHIDER - BISKRA
FACULTES DES SCIENCES ETDES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENTD'HYDRAULIQUE

Mémoire de Magister en
hydraulique

Option : Sciences hydrauliques
Présenté :

Dalila BENLARBI

Ingénieur d'état en hydraulique

THEME

**EVALUATION DE L'INFILTRATION DANS
L'IRRIGATION PAR PLANCHES DANS
LA REGION DE OUARGLA**

Soutenu devant le jury composé de :

Président : Messahel Mekki	Maître de conférence	Université de Blida
Examineur : Messaitfa Amar	Maître de conférence	Université de Ouargla
Examineur : Halilat Tahar	Maître de conférence	Université de Ouargla
Rapporteur : Meza Nourredine	Maître assistants chargé de cours	Université de Ouargla

Année 2003

RESUME

L'aspect technologique sur l'amélioration de l'irrigation superficielle en particulier par planches a été privilégié jusqu'à présent, mais tous les problèmes ne sont pas résolus. Celui que nous avons étudié dans cette étude est l'évaluation de l'infiltration et sa répartition le long de la planche.

L'objectif de notre étude est donc l'obtention de la meilleure combinaison (débit d'entrée, longueur de la planche et temps d'alimentation) afin d'avoir une répartition de l'humidité plus ou moins uniforme. A cet effet ; nous avons fait varier le débit d'entrée (2,5 et 6l/s/m) pour une longueur de planche constante égale à 65m. Puis nous avons fait varier la longueur de planche (50, 65 et 90m) pour un débit d'entrée constant égal à 6l/s/m. le débit reste bien sur constant durant tout le temps de l'alimentation.

Après avoir déterminé l'équation d'infiltration de Kostiakov, nous avons étudié le modèle mathématique, c'est à dire déterminer l'infiltration prédite par celui ci. Nous avons d'abord déterminer l'avancement, car cela est nécessaire pour la détermination de l'infiltration pendant le stockage et cela nous permet aussi de tester la capacité du modèle en comparant les résultats prédits et les résultats observés.

Puis nous avons déterminé les doses réellement reçues en mesurant les humidités du sol avant et après chaque arrosage le long de la planche jusqu'à un mètre de profondeur.

En comparant les valeurs prédites et les valeurs calculées nous avons obtenu une erreur relative de 5% pour la phase de l'avancement et une erreur relative de 8% pour le stockage. Nous avons donc conclue que le modèle donne de bons résultats.

Les tableaux et épures des humidités prédites montrent que la meilleure répartition des humidités est le cas du débit le plus faible pris en considération. Par contre les tableaux et épures des humidités observées montrent que la meilleure répartition des humidités est le cas du débit moyen et pour une longueur moyenne pris en considération.

Pour aboutir à des résultats pratiques, ce travail devra être refais pour plusieurs autres planches de différentes longueurs alimentées de débits différents.

Le mérite et le bon résultat de ce travail est que l'on peut déterminer l'infiltration le long des planches par calcul vu la difficulté à l'avoir expérimentalement.

Mots Clefs : Planches, Irrigation, Infiltration, Humidités

REMERCIEMENTS

Avant de conclure ce travail, c'est pour moi un agréable devoir d'exprimer ici ma sincère reconnaissance à ceux qui m'ont aidée à le réaliser.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à M MESSAHHEL Mekki, maître de conférence à l'institut génie-civil à l'université de Blida. Je lui suis redevable à plus d'un titre d'avoir accepté de m'orienter. De lui j'ai beaucoup appris et il a mis à ma disposition toute la documentation nécessaire ainsi que la méthodologie de travail et de calcul.

M MEZA Nourredine P.H.D m'a fait le grand honneur d'accepter de m'encadrer et de diriger ce travail. Je tiens à lui exprimer ma profonde sympathie et ma sincère reconnaissance d'avoir mis à ma disposition ses connaissances et son expérience.

Je remercie chaleureusement M BENHAFID M.S directeur de l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida pour son accueil et de m'avoir permis d'emprunter la documentation nécessaire de la bibliothèque de son école.

Je tiens à remercier chaleureusement M DADA-MOUSSA Belkheir doyen de la faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur de l'université de Ouargla pour son aide et ses encouragements. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Il m'est agréable d'adresser mes vifs remerciements à M.ACHOUR Doyen de la faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur de l'université de Biskra pour sa compréhension et son aide.

J'adresse mes vifs remerciements à M HLILAT T directeur de l'Institut d'Agronomie de Ouargla, car grâce à lui j'ai pu avoir accès à l'exploitation pour effectuer mes expérimentations et au laboratoire pour effectuer mes analyses nécessaires.

Je tiens à remercier aussi vivement toute l'équipe de l'exploitation de l'ITAS, et en particulier le responsable pour leur aide à la réalisation de mes expérimentations et leur gentillesse.

Que Messieurs, KEMMOUKH, KRIKER, AHMED-SAADI, ABANI soient vivement remerciés, car grâce à leur aides, leur sollicitudes, leurs conseils scientifiques et leur soutien moral permanent m'ont permis de traverser toutes les étapes difficiles et de mener à terme ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes, collègues et amis qui ont contribué de près ou de loin à ce travail, et pour leur amitié.

Je remercie les membres du jury de m'avoir fait le grand honneur d'accepter de juger et critiquer mon travail chacun dans sa spécialité. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Enfin je n'oublie pas mon mari Djelloul qui m'a beaucoup aidé à la réalisation de mes expérimentations et j'exprime ma profonde reconnaissance et mon respect éternel à ma mère et à ma sœur auprès desquelles j'ai trouvé le soutien moral sans faille et de ce fait m'a permis de mener à bien ce travail. Je n'oublie pas surtout mes chers petits Hanni, Remykia et Mehdi que j'ai beaucoup négligés depuis le commencement de ce travail.

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	4
Historique.....	7

Chapitre I **GENERALITES : Irrigation superficielle.**

I-1 Introduction.....	10
I-2 Analyse des approches techniques de l'irrigation par planche	
I-2-1 Description physique de l'irrigation superficielle.....	13
I-2-2 Résolution du problème de l'irrigation superficielle.....	14
I-2-3 Définition des principales méthodes de solutions du problème de l'irrigation superficielle.....	15
I-3 Modèle mathématique	
I-3-a Phase de l'avancement.....	29
I-3-b Phase de stockage.....	32
I-4 Paramètres nécessaires	33

CONCLUSION DU CHAPITRE I

Chapitre II **Méthodologie**

II-1 Site expérimental	
II-1-1 Situation géographique.....	34
II-1-2 Conditions climatiques.....	34
II-1-3 Caractéristiques du sol	
II-1-3-1 Analyse granulométrique du sol	35
II-1-3-2 Densité.....	37
II-1-3-3 Porosité.....	37
II-1-3-4 Perméabilité.....	38
II-1-3-5 Humidité initiale du sol.....	41
II-2 Méthodes de calcul	42
II-2-1 Loi d'infiltration	
II-2-1-1 Loi de l'avancement.....	43
II-2-1-2 Volumes stockés.....	44

II-2-1-3 Volumes infiltrés cumulés.....	45
II-2-1-4 Coefficients de la loi d'infiltration.....	46
volumes infiltrés	
coefficients de la loi de la loi de l'infiltration	
méthode des deux points	

Conclusion

II-3 Méthodes de mesures.....	50
II-3-1 Protocole expérimental	
II-3-1-1 Mesure du débit à l'entrée de la planche	51
II-3-1-2 Mesure de l'avancement de l'eau dans les planches	52
II-3-1-3 Mesure du stockage	52
II-3-1-4 Mesure de l'humidité du sol	52
II-3-2 Dispositif expérimental.....	53
II-3-3 Confection des planches	54
II-3-4 Matériel utilisé	54

CONCLUSION DU CHAPITRE II

Chapitre III
Résultats et Analyse

III-1 Evaluation de la loi de l'infiltration	
III-1-1 Etude de l'avancement	56
III-1-2 Etude du stockage	63
III-1-3 Détermination des volumes infiltrés cumulés	63
III-1-4 Détermination des coefficients de la lois de Kostiakov.....	66
III-2 Etude du modèle mathématique.....	67
III-2-1 Etude de la phase de l'avancement	67
III-2-2 Etude de la phase de stockage.....	68
III-3 Détermination de la réserve d'eau reçue	
III-3-1 Etude de l'uniformité de la répartition de l'humidité.....	74
III-3-2 Détermination de la réserve reçue	75

CONCLUSION DU CHAPITRE III.....77

Chapitre IV

Interprétation des résultats

IV-1 Evaluation de la qualité des arrosages	
IV-1-1 Doses d'arrosage	79
IV-1-2 Paramètres de la qualité des arrosages	80
IV-2 Comparaison entre valeurs observées et valeurs calculées	
IV-2-1 Etude de l'avancement	82
IV-2-2 Etude des doses infiltrées	90
CONCLUSION DU CHAPITRE IV.....	97
CONCLUSION GENERALE.....	98
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	100
TABLEAUX.....	105
FIGURES.....	107
ANNEXE.....	109

LES TABLEAUX

Tableau N° I-1 : séries de données pour les planches fermées sans végétation d'après Ram(1969,1972) et Ram et Lal(1971)	18
Tableau N° I-2 : séries de données pour les planches fermées avec végétation d'après Ram(1969,1972) et Ram et Lal(1971)	18
Tableau N° I-3 : erreur relative moyenne(ARE) et erreur absolue moyenne (AAE) pour chaque planche expérimentale	18
Tableau N° I-4 : comparaison du modèle proposé avec les modèles de FB, SS et CH pour la phase de l'avancement.....	20
Tableau N° I-5 : séries de données pour les 29 planches fermées d'après Roth (1974) Ram(1969,1972) et Ram et Lal(1971), Atchison(1973) et Ley(1978)	22
Tableau N° I-6: ARE et AAE pour chacune des 29 planches expérimentales	21
Tableau N° I-7: comparaison entre les différents modèles pour l'avancement.....	24
Tableau N° I-8 : données expérimentales pour les planches (sans végétation) d'après Singh et Ram.....	24
Tableau II-1: les pourcentages du tamisât.....	36
Tableau II-2 : les pourcentages des groupes granulométries	37
Tableau II-3 : les valeurs des densités apparente et réelle	37
Tableau II-4 : les valeurs de la porosité.....	37
Tableau II-5 : la moyenne de plusieurs expérimentations au milieu des planches à étudier....	39
Tableau II-6 : les résultats d'humidité initiale jusqu'à une profondeur de 1m.....	41
Tableau II-7 : dimensions à donner aux planches en fonction du débit et de la nature du sol....	50
Tableau II-8 : paramètres des planches en Oasis	51
Tableau III-1 : Détermination des valeurs observées (ob) et des valeurs ajustées (aj) des temps de l'avancement	56
Tableau III-2 : coefficients d'ajustement de la loi de l'avancement.....	57
Tableau III-3 : coefficient de rugosité n et coefficient λ pour les différentes planches P et pour chaque arrosage A.....	63
Tableau III-4 : Détermination des volumes stockés estimés V_s , des volumes entrés V_e et des volumes infiltrés V_i pendant la phase de l'avancement.....	64
Tableau III-5 : Valeurs nécessaires pour la détermination de la loi d'infiltration.....	66
Tableau III-6 : temps d'irrigation.....	67
Tableau III-7 : paramètres nécessaires pour la détermination de l'avancement.....	68
Tableau III-8 : hauteurs d'eau infiltrées prédites.....	69
Tableau III-9 : différence entre hauteurs d'eau à l'amont et hauteurs d'eau à l'aval de chaque planche	71
Tableau III-10 :détermination des temps d'irrigation nécessaires.....	72
Tableau III-11 : hauteurs d'eau infiltrées prédites corrigées.....	73

Tableau III-12 : Résultats des différences entre les humidités avant irrigation et les humidités après irrigation d'après les expérimentations pour chaque horizons, et des doses reçues.....	75
Tableau IV-1 : principales caractéristiques des quatre arrosages mensuels, et paramètres de la qualité hydraulique pour les différentes planches.....	81
Tableau IV-2 : valeurs de l'avancement calculées et observées, et des erreurs absolues et relatives en chaque point.....	83
Tableau IV-3.valeurs de AAE et ARE.....	82
Tableau IV-4 : valeurs des doses infiltrées calculées et observées, et des erreurs absolues et relatives en chaque point.....	90
Tableau IV-5 :valeurs des erreurs relatives et des erreurs absolues moyennes.....	91

7

LES FIGURES

Figure I-1-a : profil des planches fermées.....	12
Figure I-1-b : profil des planches ouvertes.....	12
Figure I-2 : phases du cycle de l'irrigation.....	13
Figure I-3 : courbes de l'avancement pour les séries de données P-1, P-2 et P-3.....	19
Figure I-4 : courbes de l'avancement pour les séries de données P-10, P-11 et P-12.....	19
Figure I-5 : comparaison entre les modèles pour la planche P-29.....	19
Figure I-6 : prédiction de l'avancement pour la planche P-1.....	23
Figure I-7 : prédiction de l'avancement pour la planche P-2.....	23
Figure I-8 : prédiction de l'avancement pour la planche P-28.....	23
Figure I-9 : prédiction de l'avancement pour la planche P-29.....	23

Figure I-10 : avancement dans la planche P-1.....	25
Figure I-11 : avancement dans la planche P-2.....	25
Figure I-12 : avancement dans la planche P-3.....	25
Figure I-13 : avancement dans la planche P-4.....	26
Figure I-14 : avancement dans la planche P-5.....	26
Figure I-15 : avancement pendant l'arrosage du 26/07/74.....	28
Figure I-16 : avancement pendant l'arrosage du 17/08/74.....	28
Figure I-17 : profil superficiel et souterrain pendant la phase de l'avancement.....	32
Figure II-1 : courbes de perméabilité.....	40
Figure II-2 : forme du front d'avancement.....	52
Figure II-3 : schéma expérimental.....	55
Figure III-1-1: avancement de l'eau dans la planche N°1.....	58
Figure III-1-2: avancement de l'eau dans la planche N°2.....	59
Figure III-1-3: avancement de l'eau dans la planche N°3.....	60
Figure III-1-4: avancement de l'eau dans la planche N°4.....	61
Figure III-1-5: avancement de l'eau dans la planche N°5.....	62
Figure III-1-6 : épure des hauteurs d'eau (calculée et observée) infiltrée à un mètre de profondeur des cinq planches.....	70
Figure VI-1-1 : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche 1 (décembre).....	85
Figure VI-1-2a : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche 2 (octobre).....	86
Figure VI-1-2b : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche 2 (novembre).....	86
Figure VI-1-2c : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche 2 (décembre).....	86
Figure VI-1-3a : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche3 (octobre)	87
Figure VI-1-3b : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche3 (novembre).....	87
Figure VI-1-3c : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche3 (décembre)	87
Figure VI-1-4a : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche 4 (octobre)	87
Figure VI-1-4b : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche 4 (novembre).....	88
Figure VI-1-4c : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche4 (décembre).....	88
Figure VI-1-5a : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche5 (octobre).....	88
Figure VI-1-5b : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche 5 (novembre).....	89
Figure VI-1-5c : comparaison entre l'avancement calculé et l'avancement observé pour la planche5 (décembre)	89
Figure IV-6: comparaison entre la dose infiltrée calculée et la dose infiltrée observée pour la planche1.....	92
Figure IV-7: comparaison entre la dose infiltrée calculée et la dose infiltrée observée pour la planche2.....	93
Figure IV-8: comparaison entre la dose infiltrée calculée et la dose infiltrée observée pour la planche 3.....	94

Figure IV-9: comparaison entre la dose infiltrée calculée et la dose infiltrée observée pour la planche 4.....95
Figure IV-10: comparaison entre la dose infiltrée calculée et la dose infiltrée observée pour la planche.....96

INTRODUCTION

Dans les conditions de climat aride, les besoins en eau d'irrigation augmentent, mais les ressources en eau disponibles restent limitées. Et l'utilisation des gisements des eaux mobilisables pour l'irrigation des cultures au Sahara se fait sans contrôle par les agriculteurs encouragés par la politique de l'accès à la propriété foncière agricole (APFA) en 1983 ; qui ont mis en valeur plusieurs milliers d'hectares et planté une quantité importante de palmier dattier. [16] Et par conséquent l'agriculture dans ces régions sahariennes, grande consommatrice d'eau peut être sérieusement menacée surtout autour des grandes villes, si elle ne fait pas le nécessaire pour devenir aussi parcimonieuse que le permettent les techniques d'irrigation. La menace est déjà ressentie mais elle ne fera que s'accroître dans les prochaines décennies. [9]

L'agriculteur devra donc nécessairement mener un combat permanent et difficile pour assurer une vie stable, sûre et prospère. Surtout qu'au Sahara septentrional

malheureusement aucune plante domestiquée par l'homme ne peut végéter sans apport d'eau. [16] Et c'est une entreprise paradoxale que de vouloir cultiver le désert, l'eau y est rare alors que le climat est chaud et sec et exige plus que n'importe où qu'on irrigue en toute saison. [9]

Depuis la mise en œuvre de la loi de l'accession à la propriété foncière agricole (APFA) en 1983, la base matérielle de la production agricole a été élargie par la mise en valeur nouvelle des terres et les modes d'irrigation traditionnelles sont utilisés sur environ 298340 hectares soit 86% de la surface totale irriguée, l'agriculteur s'est vu contraint d'utiliser les systèmes d'irrigation traditionnelle soit gravitaire vu les inconvénients des systèmes modernes (coût élevé des équipements produits, insuffisances des moyens financiers des exploitants aggravés par un système bancaire inadapté, etc...) [16] L'aspect technologique sur l'amélioration de l'irrigation superficielle en particulier par planches, a été privilégié jusqu'à présent. Mais tous les problèmes de l'irrigation par planches ne sont pas résolus, car le matériel et les moyens récents nous permettent de déterminer le débit à la tête de la planche d'une façon précise, c'est-à-dire de connaître la dose brute correspondante à une durée d'alimentation donnée, cependant nous ignorons si, pour cette même durée d'irrigation, la répartition de l'humidité en profondeur et spatiale est uniforme et suffisante. Et comme l'objectif de l'irrigation est l'approvisionnement d'une surface cultivée en une quantité d'eau nécessaire avec une méthode rentable techniquement et économiquement. Cela veut dire que la quantité d'eau exigée ne dépassera pas grandement la quantité d'eau spécifiée par la capacité de stockage du sol dans la zone racinaire des cultures ceci permettra d'atteindre un taux adéquat d'augmentation de la récolte et assure rendement élevé et stable. C'est pour cela que les études doivent être orientées sur la maîtrise de l'irrigation générale et le gravitaire particulièrement qui est une technique simple pouvant s'adapter aux petits débits et facilement admise par les agriculteurs.

En dépit de la simplicité apparente de ce système, sa gestion et son optimisation ne sont pas maîtrisées. Des études faites et observations sur terrain montrent qu'un débit trop faible, détermine un avancement trop lent, donc une durée d'infiltration beaucoup plus grande en amont qu'en aval, et par conséquent, une sur-irrigation en amont et une sous-irrigation en aval. Et si le débit d'entrée est trop fort, l'infiltration est insuffisante le long de la planche et les pertes d'eau sont importantes ce qui provoquerait des remontées de la nappe phréatique. Le problème est de trouver la meilleure combinaison (débit d'entrée Q , longueur de la planche L , la pente du fond de la planche S_0 et le temps d'irrigation t_{irr}) qui conduit à une humidification uniforme avec le minimum de pertes d'eau, doit être trouver pour chaque contexte régional concret. C'est la raison pour laquelle il a été décidé de développer une étude expérimentale pour étudier ce processus.

L'objectif de l'étude est donc la détermination de l'infiltration verticale et spatiale le long de la planche (en fonction du débit d'entrée Q , longueur de la planche L , la pente du fond de la planche S_0 et le temps d'irrigation t_{irr}) et la vérification de l'uniformité de la répartition de l'humidité dans un contexte de région saharienne.

Notre étude est axée comme suit :

D'une part pour la détermination de l'infiltration:

- la première étape de notre travail consiste à déterminer l'infiltration par calcul c'est à dire en utilisant un modèle mathématique.
- la deuxième étape de notre travail consiste à déterminer l'infiltration expérimentalement c'est à dire en utilisant des mesures directes sur terrain.
- La comparaison des résultats prédits et ceux observés pour permettra d'évaluer l'efficacité du modèle mathématique ; afin de pouvoir l'appliquer ultérieurement sans avoir recours aux expérimentations difficiles à réaliser.

Et d'autre part pour trouver la meilleure répartition de l'humidité :

- pour un débit d'entrée constant, nous ferons varier la longueur de la planche.
- et pour une longueur de la planche constante, nous ferons varier le débit d'entrée.
- Ceci nous permettra d'aboutir à la meilleure combinaison (longueur-débit), c'est à dire qui nous donnera une répartition uniforme de l'humidité.

HISTORIQUE DE L'IRRIGATION

L'irrigation, cette pratique qui consiste pour l'homme à apporter de l'eau aux cultures, ne cesse d'étonner et de lancer des défis. Elle ne concerne que 273 millions d'hectares dans le monde, éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents. Pourtant elle a une importance très supérieure à la surface modeste, bien qu'en continuelle augmentation, qu'elle couvre.

A l'origine de plus des deux tiers de la production agricole, elle a une productivité en moyenne supérieure au double de celle de l'agriculture pluviale. Elle permet de spéculations fructueuses, deux à trois récoltes par an, et des cultures sur des terres stériles, ou sous les climats les plus secs. Pourtant, au XX^e siècle, ses échecs sont nombreux, surtout dans le tiers-monde et tendent à éclipser ses réussites indéniables et ses rapides progrès techniques.

L'irrigation extrêmement ancienne. Elle remonte à la préhistoire. Pour la majorité des spécialistes, sa naissance serait contemporaine de celle de l'agriculture, la grande

révolution du néolithique, ou elle lui serait postérieure. Mais pour certains d'entre eux, elle lui serait antérieure, et daterait du mésolithique, voire paléolithique. Les plus anciens berceaux de l'irrigation, les monts Zagros (entre Irak et Iran), le Balouchistan, l'extrême Orient, l'Égypte, le Mexique, les Andes correspondent aussi à des foyers importants de domestication de plantes et des animaux et de diffusion de plantes cultivées, devenues depuis essentielles à l'alimentation humaine. L'irrigation a été propice à la productivité des terres sur la longue durée. L'eau des rivières en crue, la première qui ait été utilisée et celle qui était la plus appréciée, apporte l'humidité bienfaisante mais aussi la fertilité de ses limons. L'agriculture pluviale primitive dans sa forme itinérante use au contraire rapidement les sols. L'irrigation a favorisé la sédentarisation. Sa pratique sur des périodes suffisamment longues a permis l'éclosion des premières civilisations, qui ont été à la fois des civilisations urbaines et agricoles. Aussi la question s'est posée de savoir si l'irrigation a suscité la ville, voir l'État, ou si c'est le contraire. Alors que l'agriculture pluviale n'était guère assortie de contraintes à l'intérieur des groupes humains, la gestion de l'eau a imposé des ententes précoces entre les membres des communautés et dans les réseaux importants des accords entre les communautés elles-mêmes, souvent sous l'égide du pouvoir central. La création et le fonctionnement de grands réseaux laissent supposer l'intervention de l'état. Mais les petits réseaux, et leur juxtaposition dans l'espace pour former de grandes zones irriguées, pouvaient n'avoir pour origine que des initiatives locales. Ces hypothèses ont suscité de vifs débats à partir de la décennie cinquante.

Les débats sur la naissance de l'irrigation :

Faute de s'appuyer sur des fondements scientifiques ou prétendant appliquer à l'ensemble du monde des résultats valables dans un seul cas ou dans une seule zone, des auteurs ont échaudé des hypothèses en apparence séduisantes pour expliquer l'apparition de l'irrigation.

On a souvent invoqué l'aridification du climat, antérieure à l'éclosion de plusieurs de ces foyers. Elle aurait contraint les hommes, pour survivre, à fuir les zones devenues arides, à se concentrer sur les points d'eau, et à inventer l'irrigation. Palerm en 1955 voit une possible explication de l'apparition de l'irrigation dans l'aridification du climat qui s'est fait sentir à partir de 1500 av. J-C au Mexique. Nulle part en fait cette hypothèse n'a été avérée, même pas au Sahara.

Celle qui a eu la plus grande audience, bien qu'elle fut très critiquée, est la thèse d'inspiration marxiste de Wittfogel. Ce sinologue américain d'origine allemande, utilisant ses recherches effectuées à partir de 1926 sur la Chine classique, soutenait notamment que le développement des sociétés est passé par des stades successifs, à savoir :

- celui, le plus élémentaire, de l'agriculture pluviale ;
- le deuxième, celui de l'hydroagriculture, qui correspondait à l'agriculture irriguée dans les petits réseaux ;
- enfin celui de l'agriculture hydraulique, qui expliquait l'émergence des premières cités-états, dont le pouvoir autoritaire et centralisé reposait sur la construction et l'entretien de grands réseaux d'irrigation grâce à des corvées, sur leur gestion par l'administration et sur l'exploitation du surplus par le roi et une classe de prêtres et de privilégiés.

L'irrigation était à l'origine de l'essor démographique d'une population soumise aux classes supérieures. C'était là l'origine du despotisme oriental, expression

empruntée à Montesquieu. Cette thèse semble bien correspondre au cas de la Chine. Elle a aussi été bien accueillie dans les états socialistes contemporains, sans doute parce qu'elle était menée dans le droit fil du marxisme. Mais il est possible que dans ces pays de nouvelles recherches conduites dans un autre contexte politique aboutissent à des résultats qui remettent en cause les conclusions de Wittfogel et de ses disciples.

Wittfogel prétendait appliquer son schéma à l'ensemble du monde. Dans les années 50, il provoqua de grands débats scientifiques. Wittfogel en 1955, 1957 et 1964. Les spécialistes se concertèrent alors pour examiner l'applicabilité de sa thèse dans leurs aires de recherche respectives et pour engager une réflexion commune sur l'origine de l'irrigation et sur ses rapports avec les premières sociétés urbaines.

Dans certaines régions du monde en dehors des états socialistes, des spécialistes crurent trouver dans Wittfogel les explications qu'ils cherchaient. C'est le cas de [35] à propos de Tenochtitlan (Mexique). De 1200 après J-C à la conquête espagnole en 1519, elle fut la capitale de l'empire aztèque. Elle était bâtie sur le bord du lac salé de Texcoco.

La construction d'une grande digue pour emprisonner l'eau douce des rivières et désaliniser le sud du lac a permis d'étendre les *chinampas*. Ces transformations semblent être à l'origine de l'essor de la ville et de l'état autoritaire. Mais les autres spécialistes du Mexique ancien ne furent pas d'accord. Dans la fédération des cités-états de Teotihuacan, l'agriculture irriguée serait le résultat d'un urbanisme naissant et non le contraire [28]. Pour Flannery en 1971 il n'y a pas de doute qu'en Mésoamérique [14]

La croissance démographique est le facteur décisif de l'invention de l'agriculture irriguée à partir de puits et de canaux et en conséquence de la sédentarisation des groupes humains, semble-t-il entre 8000 et 2000 av. J-C. Au Mexique, la poursuite des recherches, peu poussées jusqu'à présent, apportera peut-être un éclairage définitif sur la naissance de l'irrigation. En basse Mésopotamie, Mac Adams, tout en réfutant la thèse de Wittfogel, admet qu'elle ne pourrait à la rigueur y être valable que dans quelques cas limites.

Les poussées approfondies menées par les scientifiques après la publication de la thèse de Wittfogel les conduisirent à faire appel à des arguments simples pour expliquer la naissance de l'irrigation. Les peuples semis-sédentaires auraient constaté que les graines tombées dans la boue laissée par le retrait des eaux de la crue de la rivière donnaient plus que sur le terrain non inondé. Ils auraient pris l'habitude de conserver les meilleures graines de plantes sauvages pour les semer, procédant ainsi à une sélection empirique et accidentellement à des améliorations génétiques et à des hybridations, notamment dans le cas du maïs au Mexique [14]. C'est ensuite qu'étant plus nombreux, qu'on aurait eu l'idée de creuser des canaux pour diriger l'inondation au-delà de l'espace où elle s'étendait naturellement. Des brèches auraient été creusées dans les levées des bras où le courant était le moins fort, parce que le travail était le plus facile. Ces canaux auraient formé des réseaux de plus en plus étendus. Les hommes, parce qu'ils se multipliaient, et que certains n'étaient pas agriculteurs et devaient compter sur d'autres pour satisfaire leurs besoins alimentaires, auraient eu ensuite l'idée d'irriguer en dehors de la période des hautes eaux pour pouvoir nourrir davantage de bouches.]

la pression démographique a poussé les hommes à intensifier l'agriculture grâce à la maîtrise de l'eau et ce n'est pas l'irrigation qui avait entraîné l'essor de la population. Ainsi en extrême-Orient l'on serait passé de la cueillette puis de la plantation du riz dans les marais à la création de rizières. [6]. Mac Adams, est plus nuancé [24]). Pour

lui, en basse Mésopotamie il y a eu naissance de l'irrigation sans pression démographique, parce que pour survivre les tribus de la période Ubaid, une fois descendues dans la plaine, étaient contraintes de la pratiquer et d'adopter une nouvelle forme d'élevage fondé non plus sur la transhumance vers les pâturages de montagne mais sur les prairies irriguées. Mais la croissance démographique a pu expliquer l'extension de la zone irriguée et l'apparition de nouvelles technologies plus efficaces. On aurait alors mis de l'eau en réserve, en barrant des bras morts ou en construisant les premiers barrages-réservoirs. On aurait aussi commencé à utiliser les eaux souterraines, grâce aux *qanats* et aux machines élévatrices, et les basses eaux. Les réseaux d'irrigation auraient ainsi été de plus en plus complexes.

Ce serait progressivement que la cueillette et la chasse, liées aux mouvements pendulaires saisonniers des groupes humains, auraient été supplantés par l'agriculture. Deux systèmes principaux se seraient alors formés en fonction des conditions naturelles :

- un système extensif d'agriculture itinérante dans les zones où l'irrigation n'était pas nécessaire (forêts tropicales ou tempérées).
- un système intensif dans les zones plus ou moins arides, où l'irrigation permettait la culture ou la favorisait beaucoup.

Pendant longtemps, il semble que les populations primitives soient venues à l'agriculture irriguée tout en poursuivant l'agriculture extensive itinérante, la cueillette, la chasse et l'élevage semi-sédentaire. Une partie de chaque groupe aurait été sédentaire, l'autre serait allée chaque année avec les troupeaux vers les pâturages saisonniers. La pratique de l'irrigation a été très progressive, durant pour le moins plusieurs siècles. Il en a été de même de la sédentarisation, à laquelle elle a été liée.

CHAPITRE I :

GENERALITES: IRRIGATION SUPERFICIELLE

INTRODUCTION

L'irrigation superficielle avait été pendant des siècles la seule méthode d'application de l'eau dans les terres cultivées et quoique des techniques d'irrigation modernes et très perfectionnées telles que l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte aient été développées durant ce siècle, les fondements globaux des méthodes d'irrigation superficielle continuent à être utilisés dans les deux tiers des terres irriguées. Il est possible que ce pourcentage augmente dans le futur si l'augmentation du coût de l'énergie prouve qu'il est un facteur prohibitif pour l'utilisation alternative et la grande énergie des techniques d'application de la consommation d'eau.[39]

L'irrigation de surface regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la répartition de l'eau se fait entièrement par gravité, par simple écoulement sur la surface du sol. Elle est caractérisée par la méthode d'application de l'eau sur les terres cultivées, c'est à dire que l'eau, à la tête de la planche de la surface à irriguer s'écoule sur la surface de la terre et s'infiltré dans le sol. [23]

Les techniques de l'irrigation de surface sont dites aussi techniques de l'irrigation traditionnelles du fait qu'elle sont utilisées par l'homme depuis l'antiquité. [23]

L'agriculteur au fil du temps a pu développé ces techniques traditionnelles en relation avec la ressource hydrique dont il dispose et, généralement basées sur l'écoulement gravitaire. Ce système gravitaire classique malgré ses inconvénients (exigent en main d'oeuvre, gaspillage d'eau etc...) peut rivaliser les systèmes dit modernes s'il est bien mené. Des modèles de simulation du phénomène ont permis d'obtenir des rendements très positifs qui ne demandent qu'à être généralisés chez l'agriculteur.

De nos jours, beaucoup de techniques dites traditionnelles ont été modernisées grâce au progrès scientifique et technologique. [23]

I-1- IRRIGATION PAR PLANCHES

L'irrigation par planches est contrôlée par la méthode de submersion superficielle, la surface est divisée en bandes séparées par des digues parallèles, et chacune est irriguée séparément. L'analyse et la conception des techniques d'irrigation par planches sont sujets de recherches et suivies approfondies depuis ces dernières décennies. La théorie hydraulique de l'irrigation par planche est actuellement comprise et connue. Cette connaissance résulte essentiellement de l'application des équations de l'écoulement superficiel de l'eau sur la surface irriguée. [37]

Caractéristiques de l'irrigation par planches

Les planches rectangulaires reçoivent généralement l'eau par le côté frontal ou latéral. Le liquide coulant doucement, en nappe mince, pendant toute la durée de l'infiltration, est canalisé par des billons ou levées qui suivent le sens de la longueur. La partie inférieure est ouverte, les billons latéraux s'arrêtent quelques mètres avant la fin de la planche et un canal de colature recueille les eaux en excès. [37] C'est le cas des planches ouvertes.

Dans les planches fermées au fil de l'arrosage le volume d'eau ayant pénétré dans la planche se répartit en un volume stocké en surface, qui augmente avec la longueur humectée et un volume infiltré qui augmente avec le temps. [figure N° I-1a]

C'est l'une des méthodes les plus recommandables en grande culture, mais elle ne s'adapte aux pentes que dans des limites assez étroites de 1.25 à 6 p.1000 pour les cultures sarclées avec optimum situé au voisinage de 3 p.1000. les cultures couvrantes, qui résistent mieux à l'érosion, acceptent des pentes plus accentuées : difficulté, avec les plus fortes de ces pentes, réside dans l'arrosage au moment de l'installation de ces cultures, lorsque le terrain n'est pas encore fixé par les racines. Dans les régions sèches, l'irrigation préalable ne suffit pas toujours pour assurer une bonne levée. Il faut donc adopter provisoirement un autre système d'irrigation, pluie,

petits sillons, etc...., tant que la plante n'est pas bien établie. On peut également semer une plante fixatrice, comme le seigle, que l'on fauche fréquemment pour qu'elle ne gêne pas la culture de fond. [37]

Dans le sens transversal, la planche doit être horizontale afin d'assurer un étalement uniforme de la masse liquide sur toute la largeur. On tolère cependant 2p.1000 et au plus, 2.5cm entre levées.

Dans le sens longitudinal, sur une distance égale à la largeur de la planche, une partie horizontale oblige l'eau à s'étaler dès sa sortie du canal auxiliaire d'alimentation, sortie qui s'effectue par une ou plusieurs ouvertures. Le terrain offre ensuite une pente uniforme, qui peut aller en s'accroissant légèrement vers le bas pour conserver une vitesse d'écoulement suffisante. [figure N° I-1b] [37]

I-2-ANALYSE DES APPROCHES TECHNIQUES DE L'IRRIGATION PAR PLANCHES

I-2-1- Description physique de l'irrigation superficielle

Pendant irrigation superficielle dans les planches, un écoulement continu d'eau, est dirigée de la tête d'un fossé c.-à-d. du plus haut côté du terrain, en un écoulement gravitaire sur la surface de la terre vers le côté inférieur du terrain. [1, 2,4, 11, 13, 17]
Ce cycle entier de l'irrigation est partagé en quatre phases : [figure N° I-2]

- Phase de l'avancement
- Phase de stockage ou de l'entretien
- Phase de la déplétion ou de l'épuisement

- Phase de la récession

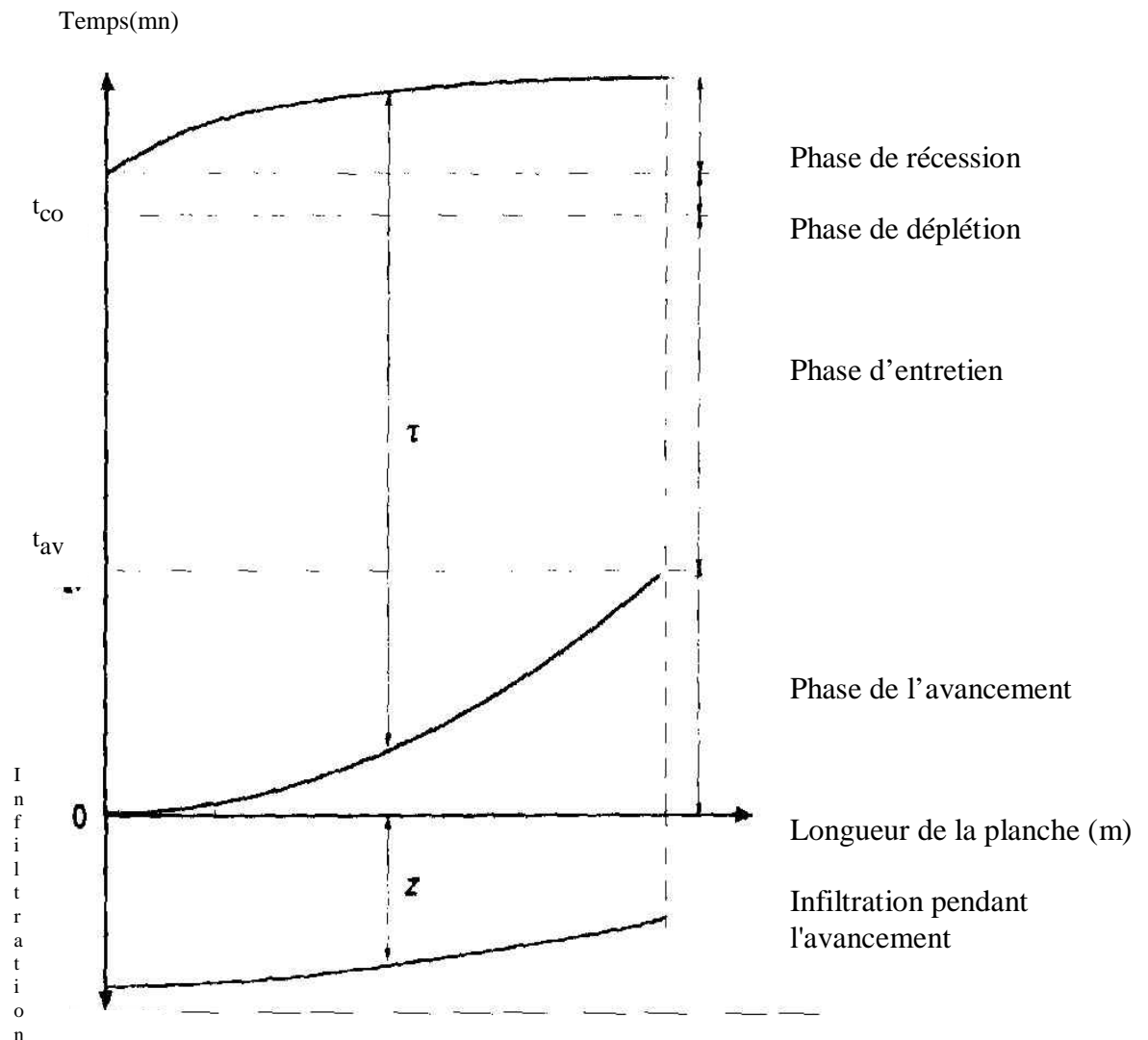


Figure I-2 : phases de l'irrigation : courbes de l'avancement, de la récession et des hauteurs d'eau infiltrées

1- Phase de l'avancement : Pendant un tel écoulement une partie de l'eau qui s'écoule sur la surface du terrain s'infiltré dans le sol pendant que le reste continu à s'écouler en mouillant pendant l'avancement de nouvelles parties du terrain à irriguer en aval. (t_{av})

L'avancement continue à l'aval jusqu'à ce que le front mouillant atteigne l'extrémité inférieure du terrain.

2 - Phase de stockage ou d'entretien : le stockage commence à se former superficiel si l'écoulement courant est obstrué comme c'est le cas des planches fermées. (t_{co})

La phase de stockage commence donc lorsque le front d'avancement atteint l'extrémité avale, et l'écoulement de l'eau sur le terrain continue jusqu'à ce qu'une quantité suffisante d'eau soit introduite pour couvrir les grandes exigences en eau du terrain.

Cette phase continue jusqu'à l'arrêt de débit entrant.

3- Phase de la déplétion ou d'épuisement : La phase de déplétion de l'irrigation superficielle commence dès que l'écoulement est arrêté, jusqu'à l'instant où l'eau commence à disparaître en amont de la planche.

4- Phase de la récession : La phase de récession correspond à la période pendant laquelle l'eau disparaît dans la planche et le front d'eau fuyant se poursuit vers l'aval jusqu'à atteindre l'extrémité.

I-2-2-Résolution du problème de l'irrigation superficielle

Pour la résolution du problème de l'irrigation superficielle, et en particulier pour l'irrigation par planches, il existe une multitude de modèles mathématiques. Ces modèles sont développés pour faciliter la conception et le choix de la pratique analytique, ils sont capables d'analyser plusieurs conditions d'irrigation pour des coûts plus faibles et durent moins de temps que les expériences sur terrain. Plusieurs de ces modèles sont des solutions analytiques des équations différentielles partielles de continuité et de mouvement de l'écoulement dans un canal découvert, ou des approximations de celles-ci [12].

Les approximations de ces équations mènent à la méthode de l'inertie nulle (Z-I) [21]. ; la méthode de l'onde cinématique (K-W) [33], et les modèles de l'état quasi-stables de Ram et al. [22]. Ces modèles nécessitent des solutions numériques, et, comme montré par Srelkoff, ils exigent habituellement une programmation vaste et des dépenses considérables du temps d'exécution des calculs. Pour les modèles K-W, les solutions analytiques pour l'irrigation par planches sont développées pour des cas simplifiés. Les approches bilan en volume et les approches empiriques mènent à des solutions analytiques sous des conditions plus réalistes [9] et [12].

Singh et Ram en 1984 et Walker et Skogerboe en 1987 ont étudié et discuté ces modèles hydrodynamiques.

Sherman et Singh en 1978, 1982, ainsi que Turbak et Morel-Seytoux en 1988), développent deux modèles analytiques similaires utilisant l'approche K-W, seulement comme leurs modèles supposent un taux d'infiltration constant, l'erreur de prédiction est alors considérable.

Fok et Bishop développent un modèle analytique pour simuler l'avancement seulement de l'irrigation par planches [12]. Ce modèle est exact uniquement pour des courtes planches (soit, moins de 100m) ; car plus la longueur est importante, et plus l'erreur de prédiction du modèle augmente. Ceci a été démontré par la suite par Singh et Yu.

Philip et Farrell en 1964 développent une solution générale de l'équation Lewis-Milne. Hart et Hall en 1968 dérivent un modèle bilan en volume. Cependant, le modèle exige des solutions numériques ou graphiques.

Strelkoff en 1977 développe un modèle analytique pour simuler la phase de récession d'irrigation par planche. Ce modèle nécessite une intégration numérique ou une solution graphique. Cependant, Gill en 1983 présente la solution analytique du

modèle de Strelkoff pour le cas du taux de l'infiltration moyenne constante durant la phase de récession. [13]

Ces modèles sont regroupés en deux grandes catégories :

- Ceux qui sont résolus par l'équation hydrodynamique complète de la continuité et quantité de mouvement.
- Ceux qui ne tiennent pas compte de l'équation de quantité de mouvement pour simplifier la solution. [44]

I-2-3-Définition des principales méthodes de solutions du problème de l'irrigation superficielle

L'écoulement de l'eau sur la surface du sol pendant l'irrigation superficielle est déterminée par les lois des mouvements des fluides dans des canaux ouverts. Ces expressions mathématiques constituent ce qui est généralement connu sous le nom des équations de Saint-Venant (équation de continuité et équation de mouvement).

Par le terme de solution du problème de l'irrigation superficielle, on définit un moyen de détermination de l'efficience de l'irrigation donnée sous certaines conditions d'application de l'eau sur le sol. Ceci est obtenu en résolvant le système des équations de Saint-Venant sous les conditions initiales et limites qui reflètent les conditions physiques sous lesquelles l'irrigation est accomplie. La solution des équations citées, dans leur forme complète, présente des difficultés considérables et pour cette raison, plusieurs scientifiques suggèrent différentes formes simplifiées des équations utilisant des hypothèses appropriées. Il existe quatre principales méthodes de solutions du problème.

1- Méthode basée sur l'équation hydrodynamique complète

La première méthode tente de donner une solution de l'équation de Saint-Venant sous forme d'équation différentielle partiellement non-linéaire qui décrit le mouvement de l'écoulement dans sa forme complète utilisant une variété de méthodes numériques. [21]. Ensuite, la solution des équations référée pour l'irrigation complète d'après Basset et Fritzsims en 1976 ; Katopodes et Strelkoff en 1977, Wallender et Rayej en 1990 ; Sakkas et Bellos en 1991 et Bautista et Wallender en 1992 [43].

2- Méthode de l'inertie nulle : Z-I

Le premier pas simplifiant les équations de Saint-Venant consiste à omettre le terme de l'inertie ou l'accélération dans l'équation du mouvement. Cette approche est valable pour un nombre de Froude inférieur à 0.2. La méthodologie de la Z-I a été avancée par Strelkoff et Katopodes (1977) et par conséquent utilisée par les mêmes ou autres chercheurs qui étudient l'irrigation superficielle dans les planches [12]. .

Dans les conditions pour lesquelles la supposition simplifiée est validée pour l'estimation des temps de l'avancement et de la récession, la méthode donne de bonnes approximations pour le processus de l'irrigation superficielle. [Clemmens]

L'application de la méthodologie est simple et le temps d'exécution des calculs est plus faible.

3- Méthode de l'onde cinématique(ou profondeur de l'écoulement normale) : K-W.

Des simplifications plus accentuées des équations de l'écoulement de l'eau d'irrigation peuvent être obtenues dans le cas où la pente longitudinale du fond de la planche est assez importante. Dans ce cas les paramètres inertie et pente seront relativement faibles comparés à d'autres termes de l'équation. Sous ces conditions, l'écoulement de l'eau est uniforme, et il existe donc une relation prédéterminée entre le débit et la profondeur de l'écoulement (e.g. équation de Manning).

Plusieurs chercheurs ont appliqué la théorie de l'onde cinématique pour l'étude du problème de l'irrigation superficielle dans les planches [43]

Chen en 1970 présente l'approximation de K-W pour l'irrigation superficielle en supposant l'écoulement uniforme sur la surface du sol et en négligeant le terme de l'inertie et la variation de la profondeur dans l'équation de quantité de mouvement. Walker et Lee en 1981 et Walker et Humphreys en 1983 utilisent cette approche pour développer le modèle pour la prédiction de l'avancement et la récession dans les planches.

La procédure a l'avantage d'être économique mais l'exactitude est limitée pour les conditions spéciales sous lesquelles les suppositions prioritaires sont applicables.

4- Méthode de bilan en volume (ou profondeur moyenne d'écoulement).

Le plus grand degré de simplification des équations de l'écoulement de l'eau d'irrigation consiste au remplacement de l'équation de mouvement par la supposition de la profondeur d'écoulement moyenne sur la surface du sol ou le profil de la surface de l'eau donné. La profondeur de l'écoulement à la tête de la planche ou à l'extrémité inférieure après l'arrivée du front d'onde est supposée être la profondeur de l'écoulement normal pour le débit existant. L'équation de continuité, appliquée pour tout profil de la surface du courant et l'eau infiltrée, mène à une équation algébrique simple qui peut être résolue par de simples moyens quantitatifs.

La conservation de masse est exprimée par l'équation du volume d'eau dans le sol et le volume de l'eau infiltré du volume d'entrée total de l'eau en chaque point donné. Malgré ces suppositions, les approches rendent raisonnables les approximations actuelles de l'avancement [43].

La méthode du bilan en volume est appliquée pour la solution du problème de l'irrigation superficielle, par Strelkoff en 1977) et Yu et Singh en 1989) dans les planches.

La méthodologie est très simple dans son application. Son exactitude, cependant, dépend de l'existence des conditions satisfaisant les suppositions prises à priori spécialement celles se référant à l'apparition de la profondeur normale.

La méthode du bilan en volume étant la plus simple, en vue de son application dans notre étude. Nous nous proposons d'argumenter le mérite de cette méthode en analysons quelques exemples concrets.

Exemple N°1

Le modèle analytique de Singh, V.P. et Yu, F.X. (SY) en 1988 est vérifié sur 15 planches expérimentales de 100m de longueur, (9 séries de données sont pour les planches sans végétation et 6 séries de données sont pour les planches avec végétation. [43])

Les paramètres d'entrée sont récapitulés dans le tableau I-1 pour les planches sans végétation et sur le tableau I-2 pour les planches avec végétation:

Les distances de l'avancement calculées et observées sont pour toutes les séries de données. Ces distances, en fonction du temps pour l'ensemble des données P-1, P-2 et P-3 sont données sur la figure I-3, et pour les séries P-10, P-11 et P-12 sur la figure I-4. Les erreurs relatives moyennes (ARE) et les erreurs absolues moyennes (AAE) entre les distances calculées et les distances observées pour chacune des 15 séries de données expérimentales sont données sur le tableau (I-3).

Tableau N° I-1 : séries de données pour les planches fermées sans végétation [13].

paramètres	Séries de données								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
-Débit entrant ($m^3/mn/m$)	0.1600	0.1200	0.0800	0.1600	0.1200	0.0800	0.1600	0.1200	0.0800
Constante de l'infiltration $K(m/mn^a$	0.0039	0.0045	0.0046	0.0048	0.0046	0.0036	0.0040	0.0033	0.0063
- Exposant du temps a	0.5670	0.4750	0.5900	0.6050	0.5880	0.6150	0.6900	0.6900	0.5270
-Profondeur normale $h_0(m)$	0.0255	0.0230	0.0150	0.0350	0.0328	0.0370	0.0500	0.0390	0.0310
-coef de rugosité n	0.0590	0.0660	0.0480	0.0770	0.0920	0.1000	0.0800	0.0710	0.0730

Pente So	0.0050	0.0050	0.0050	0.0030	0.0030	0.0030	0.0010	0.0010	0.0010
- Longueur de la planche (m)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
- Distance entre les jalons	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
- Durée de l'alimentation Ta(mn)	23.3	38.0	59.8	38.3	53.0	77.0	59.0	63.0	101.0

Tableau N° I-2 : séries de données pour les planches fermées avec végétation [13].

Paramètres	Séries de données						
	P10	P11	P12	P13	P14	P15	
-Débit entrant ($m^3/mn/m$)	0.0016	0.0012	0.0800	0.1600	0.1200	0.0800	
Constante de l'infiltration $K(m/mn^a)$	0.0044	0.0036	0.0053	0.0039	0.0041	0.0061	
- Exposant du temps a	0.6200	0.6300	0.5330	0.6740	0.6000	0.5330	
- Profondeur normale ho(m)	0.0381	0.0350	0.0300	0.0450	0.00430	0.0395	
- Coefficient de rugosité n	0.1140	0.1320	0.1540	0.1170	0.1450	0.1887	
Pente So	0.0050	0.0050	0.0050	0.0030	0.0030	0.0030	
- Longueur de la planche (m)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	
- Distance entre les jalons	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
- Durée de l'alimentation Ta(mn)	41.0	51.0	75.0	50.0	60.0	96.0	

Tableau N° I-3 : erreur relative moyenne (ARE) et erreur absolue moyenne (AAE) pour chaque planche expérimentale[13].

	Séries de données														
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
ARE (%)	1.7	4.5	8.1	1.7	3.1	2.2	7.4	6.7	2.8	1.7	3.9	5.6	4.5	6.3	7.3
AAE (m)	0.53	2.18	5.70	0.88	2.06	2.06	4.98	4.92	3.16	0.97	2.66	5.16	3.05	5.27	8.95

Les plus hautes ARE, dans tous les cas, sont habituellement au commencement de la phase d'avancement, alors que la différence maximale tend à se produire à la fin de la phase de l'avancement à cause de l'erreur de simulation cumulative. En général, la ARE est 7.6% et AAE est 3.59m dans l'avancement prédit des 15 séries de données.

Une comparaison du modèle proposé (SY), en respectant les distances de l'avancement, est faite avec les modèles de Fok et Bishops (FB) en1965, Sherman et Singh (SS) en1978, et Chrstiansen et al. (CH)en195), les valeurs de ARE et AAE obtenues pour chacun des quatre modèles dans la phase de l'avancement sont données dans le tableau (I-4) .

Tableau N° I-4 : comparaison du modèle proposé avec les modèles de FB, SS et CH pour la phase de l'avancement. [43]

Séries de données	Modèle SY		Modèle FB		Modèle SS		Modèle CH	
	ARE (%)	AAE (m)	ARE (%)	AAE (m)	ARE (%)	AAE (m)	ARE (%)	AAE (m)
P- 1	7.8	4.97	10.8	5.69	8.8	4.13	16.2	9.05
P- 2	4.3	2.44	10.9	5.91	13.4	8.08	18.0	10.36
P- 3	6.1	1.93	10.0	3.21	30.5	21.67	19.6	8.85
P- 4	5.5	3.26	13.0	6.54	9.3	5.89	19.5	10.65
P- 5	6.8	2.31	18.0	7.95	12.6	8.71	25.4	12.46
P- 6	11.9	7.42	2.1	0.55	54.5	34.31	7.7	4.04
P- 7	5.1	3.41	11.9	6.55	11.1	6.25	18.8	11.00
P- 8	7.3	2.36	21.5	9.75	12.7	9.01	29.6	14.85
P- 9	2.7	0.87	10.5	5.13	15.5	9.90	18.5	9.93
P- 10	11.3	5.56	19.1	10.18	12.3	8.39	26.00	14.52
P- 11	13.0	5.62	20.6	10.02	11.7	8.67	27.8	14.53
P- 12	6.2	2.13	9.2	3.7	9.7	6.58	16.4	8.02
P- 13	15.0	6.48	23.1	11.34	11.4	8.85	30.6	16.09
P- 14	7.3	3.79	14.7	8.29	10.8	6.89	21.0	12.30
P- 15	4.1	1.32	6.9	2.81	8.7	5.84	14.0	7.07
Moyenne	7.6	3.59	13.5	6.51	15.5	10.21	20.6	10.92

Et la comparaison du modèle proposé (SY), en respectant les distances de l'avancement faite avec les modèles de Fok et Bishops (FB) en1965, Sherman et Singh (SS) en1978, et Chrstiansen et al. (CH) en 1959 est montrée sur la figure I-5 pour la planche P-29.

ARE pour les 15 cas : est 7.6% pour le modèle proposé, 13.5% pour le modèle FB, 15.5% pour le modèle SS, et 20.6% pour le modèle CH.

AAE pour les 15 cas est: 3.59m pour le modèle proposé, 6.51m pour le modèle FB, 10.21m pour le modèle SS, et 10.92m pour le modèle CH.

Tous les modèles sauf le modèle proposé ont la tendance que la plus longue planche a la plus grande erreur.

Les conclusions qui découlent de cette étude sont :

- Le modèle proposé (SY) a calculé la fonction de l'avancement logiquement correcte, avec une erreur moyenne de prédiction inférieure à 8%. L'erreur relative absolue est inférieure à 7% pour les 275 observations dans les 25 cas. Le modèle est plus exact que les autres modèles comparés.[43]

Exemple 2 [13]

Vingt neuf (29) séries de données d'irrigation par planches de Roth en1974, Atchison en 1973, Ram en1969, 1972, et Ram et Lal en 1971 sont utilisées pour la vérification du modèle de Fang X. Yu et Vijay P. Singh. La pente du fond pour les 29 séries de données varient de 0.001 à 0.005, le paramètre de l'infiltration K varie de 0.0018 à 0.0244(m/min^a) et les longueurs des planches sont égales à 100m. Ces données sont respectivement montrées sur le tableau (I-5).(pour les planches de 1 à 5

Tableau N° I-7: comparaison entre les différents modèles pour l'avancement[13].

SERIES DONNEES	DE	ERREUR RELATIVES (%) DANS LA PREDICTION DE L'AVANCEMENT POUR LES DIFFERENTS MODELES				
		CBKF	SS	FB	SY	YS (proposé)
P-8		6.6	32.0	3.1	2.9	2.8
P-9		14.8	18.8	8.7	3.9	2.8
P-11		24.5	35.1	19.2	15.5	3.3

Les conclusions suivantes sont tirées d'après cette étude:

- 1- pour la phase de l'avancement, l'erreur de prédiction relative moyenne est inférieure à 7% pour les 29 séries de planches données.

2 -la comparaison avec plusieurs modèles existants montre que le modèle est plus simple, plus exact (avec moins de 7% d'erreur de prédiction pour toutes les phases des 29 planches expérimentales). Et plus facile à appliquer et que le modèle proposé, prédit plus exactement les distances d'avancement.

Exemple N°3

Dans cette étude aussi, l'approche du bilan en volume a été utilisée pour prédire le front d'avancement de l'eau dans la planche.

Les cinq planches expérimentales sont sans végétation et de texture sableuse. Les paramètres (débits, longueurs, largeurs, durée d'alimentation et les coefficients d'infiltration) sont portés sur le tableau N° I-8 [18]

Tableau N° I-8 : données expérimentales pour les planches (sans végétation) [18]

Paramètres	SERIES DE DONNEES				
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Débits d'entrée (l/s/m)	2.00	3.03	3.63	1.75	3.35
Longueur (m)	120.00	120.00	120.00	91.46	91.43
Largeur (m)	10.00	7.00	5.00	5.89	5.89
Pente (m/m)	0.0057	0.0057	0.0057	0.0010	0.0011
Coef de Manning (l/m ⁶)	0.370	0.410	0.300	0.017	0.026
Coef d'infiltration (cm/h ^a)	5.268	6.400	8.660	5.660	3.830
exposant a	0.475	0.235	0.646	0.441	0.110
temps d'arrêt (mn)	200	150	150	181	176

Une comparaison entre les temps du front de l'avancement de l'eau par les modèles de Z-I, K W et le modèle de bilan en volume et ceux obtenus sur terrain est montrée sur les figures de 10 à 14. Les figures de I-10 à I-12 montrent la prédiction et les observations des temps de l'avancement des trois planches de pente 0.0057, de longueur 120 m et de débits 2.0,3.03 et 3.63 L/s/m avec des largeurs respectives 10, 7, et 5 m.

La figure I-10 montre que la prédiction des modèles Z-I et K-W de l'avancement de l'eau est bonne. Le bilan en volume apporte une bonne estimation du début du front de l'avancement de l'eau, et une sous-estimation de l'avancement pour des distances plus grandes de 70m des planches.

La figure I-11 montre que les modèles du bilan en volume, Z-I, et K-W sous-prédisent l'avancement de l'eau, mais les conditions de prédictions comme la distance de la planche sont augmentées. Les résultats d'après le modèle de bilan en volume approchent de près les données du terrain.

La figure I-12 montre que le modèle Z-I et celui de K-W donnent de bonnes estimations de l'avancement du front d'eau, bien que le modèle du bilan en volume mène à de très bonnes estimations pour les premiers 60 m, et des sous-estimations de l'avancement pour des plus grandes distances des planches .

Les figures I-13 et I-14 montrent les temps d'avancement observés et prédits pour deux planches de 5.89m de largeur et 91.46m de longueur, avec des débits de 1.75 et 3.35 l/s/m de largeur et respectivement avec des pentes de 0.001 et 0.0011. Il est évident que d'après la figure I-12 que les trois modèles prédisent l'avancement du front d'eau très bien.

La figure I-14 montre aussi une excellente prédiction de l'avancement du front d'eau par les trois modèles,

En général, les trois modèles prédisent bien la phase de l'avancement. Le modèle du bilan en volume mène à de bonnes prédictions de l'avancement du front d'eau pour tout le parcours. Le modèle Z-I et le modèle K-W sous-prédisent l'avancement du front d'eau dans les cas examinés et donnent de bonnes prédictions pour les données reportées par Singh et Ram (1983).

Exemple 4 [11]

Le modèle mathématique de Yu et Singh et Strelkoff et Katopodes est utilisé pour interpréter les expériences sur planche avec végétation trois fois. Les caractéristiques sont : Longueur = 100m

Texture : 71% sable, 20% limon et 9% argile

Densité apparente : 1400 kg/m³.

Porosité 0.472 m³/ m³.

Débit constant = 2.5l/s/m pour le blé et 2.0l/s/m pour trèfle

On mesure le temps de l'avancement de l'onde chaque 10m.

les figures I-15, I-16 montrent que le modèle à donné de bons résultats. [18]

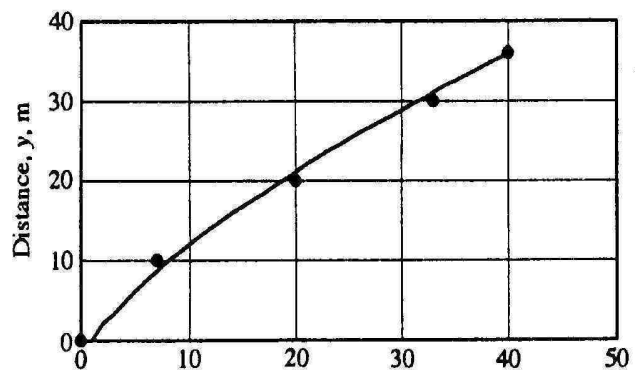


Figure I-15 :avancement pendant l'arrosage du 26/07/74

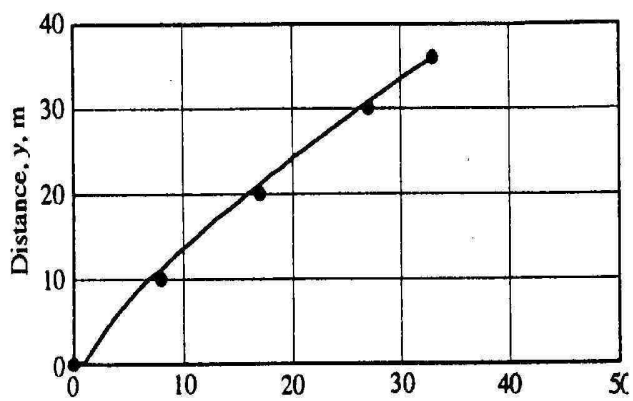


Figure I-16 :avancement pendant l'arrosage du 17/08/74

CONCLUSION

Le choix d'un modèle mathématique dépend de la disponibilité des données de terrain, de l'exactitude de la prédiction et de la base théorique du modèle. [3, 4]

Les exemples cités ci dessus montrent que la méthode du bilan en volume donne des résultats satisfaisants. Le modèle de Yu et Singh est performant et donne des résultats exacts, nous optons donc pour son utilisation dans notre étude.

I-3 MODELE MATHEMATIQUE

Le modèle choisi détermine l'avancement et l'infiltration pendant le stockage comme suit : [44]

a : phase de l'avancement

Soit la fonction de l'avancement désignée par $x = x(t)$. Au temps t , le front d'avancement arrive au point $x = S$, comme le montre la figure I-17. Alors en tout point $x = \xi$ ($0 \leq \xi \leq S$), la profondeur de l'eau superficielle est $h(\xi, t)$, et la

$$q_o t = \int_0^s h(\xi, t) d\xi + \int_0^s H(\xi, t) d\xi \quad (I-1)$$

profondeur infiltrée cumulée est $H(\xi, t)$. L'équation de continuité est alors :

- q_o est le débit entrant par unité de largeur.
- La profondeur infiltrée cumulée est $H(\xi, t)$ au point ξ et le temps t peuvent être exprimés par l'équation de Kostiaikov(1932) :

$$H(\xi, t) = K[t - \eta(\xi)]^a = K[t(\xi, t)]^a \quad (I-2)$$

- K et a sont respectivement, le paramètre de l'infiltration et l'exposant de temps, et sont habituellement supposés constant ;
 - $\eta(\xi)$ est le temps du front de l'avancement lequel est la fonction inverse $x(t)$;
 - $\tau(\xi, t)$ est la fonction du temps, qui est l'intervalle de temps pour lequel l'eau couvre le point ξ au temps t .

Il est supposé que le profil de la profondeur infiltrée (forme de la courbe souterraine) est du type du second degré :

$$H(\xi, t) = C_0 + C_1 \xi + C_2 \xi^2 \quad 0 \leq \xi \leq S \quad (I-3)$$

C_0 , C_1 et C_2 sont des constantes qui peuvent être déterminées en utilisant les conditions suivantes :

$$H(0,t) = Kt^a \quad (\text{I-4a})$$

$$\left. \frac{\partial H(\xi,t)}{\partial \xi} \right|_{\xi=0} = 0 \quad (\text{I-4c})$$

$$H(S,t) = 0 \quad (\text{I-4b})$$

Bien que la condition (I-4c) soit une approximation, il y a une petite déviation de la réalité à cause du taux de débit entrant qui est beaucoup plus grand que le taux de l'infiltration, et à cause des propriétés de l'équation de Kostiakov. Lorsque (I-4a), (I-4b) et (I-4c) sont appliquées à (I-3), les constantes sont obtenues comme :

$$C_0 = Kt^a, \quad C_1 = 0, \quad C_2 = -C_0 / S^2.$$

Par conséquent, l'équation (I-3) devient :

$$H(\xi,t) = Kt^a \left[1 - \frac{\xi^2}{S^2} \right] \quad (\text{I-5})$$

Intégrons l'équation (I-5) :

$$\int_0^S H(\xi,t) d\xi = \frac{2}{3} Kt^a S \quad (\text{I-6})$$

La surface de stockage sera définie comme :

$$\int_0^S h(\xi,t) d\xi = \bar{h}S \quad (\text{I-7})$$

H est la hauteur de l'eau moyenne sur la surface au temps t . En substituant (I-6) et (I-7) dans (I-1), la fonction de l'avancement peut être exprimée comme :

$$S = \frac{q_0 t}{\bar{h} + \frac{2}{3} Kt^a} \quad (\text{I-8})$$

D'un point de vue géométrique, (I-8) peut être écrite comme :

$$S = \frac{q_0 t}{\bar{h} + H} \quad (\text{I-9})$$

H est la profondeur moyenne de l'eau infiltrée au-dessous de la surface au temps t. Plusieurs expressions empiriques sont établies pour h et H lesquels peuvent être considérés comme des cas spéciaux de (I-8) et (I-9). Christiansen et al.(1966) donnent pour H :

$$\bar{H} = \frac{Kt^a}{1+a} \quad (I-10)$$

Qui est la même que (I-8) si a = 0.5. Fok et Bishop en 1965 améliorent (I-10) en

$$\bar{H} = \frac{FKt^a}{1+a} \quad (I-11)$$

$$F = b(1+a) \left(\frac{1}{b} - \frac{a}{b+1} + \frac{a(a-1)}{2(b+2)} \right) \quad (I-12)$$

ajoutant un facteur correcteur F :

Ou

Dans laquelle b est une constante obtenue d'après l'équation empirique de l'avancement :

$$x = ct^b \quad (I-13)$$

en se basant sur des données expérimentales, Fok et Bishop donnent l'expression suivante pour b :

$$b = e^{-0.6a} \quad (I-14)$$

$$\bar{h} = \frac{h_0}{1+b} \quad (I-15)$$

pour calculer h, Fok et Bishop utilisent l'équation suivante :
avec h₀ la profondeur normale de l'écoulement.

Les équations (I-10), (I-11) et (I-12) sont toutes de nature empirique, et les paramètres dans ces équations n'ont pas de signification physique précise.

Les observations sur terrain montrent que la profondeur de l'écoulement normal en premier lieu paraît à l'extrémité amont, et se prolonge alors vers le bas. Cependant, h augmente graduellement. En se basant sur ce phénomène, deux suppositions sont établies dans ce document pour calculer h :

1 : h varie linéairement avec S, comme le montre la figure I-17, et est sujet à la condition suivante :

$$\bar{h}\Big|_{s=0} = \alpha h_0 \quad (\text{I-16})$$

ou α est une constante ($0.5 < \alpha < 1$).

2 : après que le front d'avancement soit assez important et arrive à la distance L , la moyenne de la profondeur de l'eau, atteint 0.95 de la profondeur de l'écoulement normal h_0 , qui peut être exprimée par l'équation de Manning :

$$h_0 = \left(\frac{nq_0}{60(S_0)^{0.5}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (\text{I-17})$$

ou n est le coefficient de rugosité et h reste constante par la suite.

Les deux suppositions mènent à l'expression suivante :

$$\bar{h}(S) = \alpha h_0 + \frac{(0.95 - \alpha)h_0}{L} S \quad \text{pour } S \leq L \quad (\text{I-18})$$

Substituons (I-18) dans (I-8), alors la fonction générale de l'avancement peut être exprimée comme :

$$S = \frac{\left[\frac{4Q(0.95 - \alpha)h_0 t}{LW} + \left(\frac{2}{3} Kt^a + \alpha h_0 \right)^2 \right]^{0.5} - \alpha h_0 - \frac{2}{3} Kt^a}{\frac{2(0.95 - \alpha)h_0}{L}}, \quad S \leq L \quad (\text{I-19})$$

Avec :

W la largeur de la planche

Q le débit entrant

L est la longueur de la planche.

Figure I-17 : profils superficiel et souterrain durant la phase de l'avancement.

b : Phase de stockage

La phase de stockage commence lorsque le front d'avancement atteint l'extrémité avale $x = L_e$, et le temps $t = T_a$. Cette phase continue jusqu'à l'arrêt de débit entrant à $t = T_s$.

Les conditions suivantes déterminent le profil de l'eau souterraine supposé parabolique comme exprimé dans (I-3) :

$$H(0, t_s) = Kt_s^a \quad (\text{I-20a})$$

$$H(L_e, t_s) = K(t_s - T_a)^a \quad (\text{I-20b})$$

$$\left. \frac{\partial H(\xi, t_s)}{\partial \xi} \right|_{\xi=0} = 0 \quad (\text{I-20c})$$

Alors on a

$$H(\xi, t_s) = Kt_s^a - K \left[\frac{t_s^a - (t_s - T_a)^a}{L_e^2} \right] \xi^2 \quad 0 \leq \xi \leq L_e \quad (I - 21)$$

I-4 PARAMETRES NECESSAIRES POUR LE DEVELOPPEMENT DU MODELE MATHEMATIQUE [26]

Plusieurs paramètres sont nécessaires pour le développement d'un modèle mathématique dans l'irrigation superficielle et leur interaction détermine le rendement du point de vue technique et économique. Une estimation juste de l'effet de chacun de ces paramètres dans le résultat final de l'irrigation actuelle est très difficile. Les paramètres sont :

- Les caractéristiques de l'infiltration de sol : a et K
- Le coefficient de rugosité : n
- La pente moyenne du fond de la planche dans le sens de l'écoulement : S0
- La longueur de la planche : L
- L'écartement entre les planches : w
- Le débit entrant : q0 ;
- Le temps de son application : ta
- La profondeur de l'eau exigée dans la zone racinaire des plantes dn .

CONCLUSION DU CHAPITRE I :

Après cette revue bibliographique sur le problème de l'irrigation par planches, il est clair que parmi les méthodes importantes pour la résolution de celui ci, celle du BILAN EN VOLUME donne des résultats satisfaisants malgré sa simplicité. En effet, le mérite de cette méthode a été argumenté par des exemples concrets.

Les résultats de ces exemples nous ont permis finalement d'opter pour le modèle de YU et SINGH vu sa performance et l'exactitude de ses prédictions.

Ceci nous permet donc de déterminer l'infiltration le long de la planche théoriquement.

Nous obtenons donc une fonction : $f_i(a, K, n, S_0, L, w, q_0, t_a, d_n)$, les six derniers termes sont obtenus directement des observations sur terrain et les trois premiers sont, au contraire, obtenus indirectement de ces derniers.

CHAPITRE II :

METHODOLOGIE

II- 1- SITE EXPERIMENTAL

II- 1-1- Situation géographique

Ouargla se situe dans la partie Sud Est de l'Algérie à 800km de la capitale, sa superficie est environ 2887km², et se situe à une altitude 134m par rapport au niveau la surface de la mer

Les expérimentations se sont déroulé du début septembre à la mi-janvier 2000-2001 sur une parcelle de l'I.T.A.S (institut de Technologie en Agronomie Saharienne) de Ouargla de 32 hectares environ dont 14.4 hectares seulement sont exploités.

II-1-2- Conditions climatiques de Ouargla

Le climat de Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

La température moyenne annuelle est de 22°C, avec 35°C en juillet pour le mois le plus chaud et 10°C en janvier pour le mois le plus froid. Les températures extrêmes peuvent atteindre 53°C et -7°C.

Comme dans toutes régions du Sahara les variations diurnes sont également assez élevées. Au mois de juillet, la variation diurne atteint en moyenne 18°C. L'ensoleillement est en effet considérable (fractions d'insolation qui varient de 74 à 89 %, avec 138 jours en moyenne dans l'année où le ciel est totalement clair). Cependant en saison froide, le ciel est assez fréquemment couvert sans pour cela qu'il ait de précipitations.

Les précipitations sont en effet très irrégulières. Car elles varient de 0 mm à 100mm. Les études montrent que la répartition annuelle est marquée par 5 mois de sécheresse quasi absolue, de mai à septembre. De forts orages éclairent parfois, d'octobre à janvier, mais en général les pluies sont d'intensité plutôt faible.

Les vents les plus forts (supérieurs à 80Km/h) soufflent du NE et du S, les plus fréquents du quart N. En hiver se sont des vents d'W, au printemps du N, du NE et de l'W, en été du quart NE. Les vents de sable soufflent, au printemps, avec une direction du NE et du SW,

Les vents et surtout les vents de sables jouent un rôle particulièrement desséchant. L'humidité relative est très faible (24% en moyenne en juillet).

Pendant la durée de l'expérimentation c'est à dire du début septembre à la mi-janvier 200-2001, les conditions climatiques ont été difficiles car il y a eu plusieurs périodes de vents de sable gênant les mesures. Par contre les précipitations pendant

la période de l'expérimentation étaient rares et faibles ; les arrosages n'ont donc pas été perturbés.

II-1-3 - Caractéristiques du sol

Avant le façonnage des planches, nous avons vérifié à l'aide d'une tarière à 2.5m de profondeur s'il n'existe pas de couches imperméables ou de nappe d'eau dans le sol expérimental. Puis nous avons déterminé les caractéristiques du sol suivantes :

- granulométrie
- densité
- porosité
- perméabilité
- l'humidité initiale

Les échantillons ont été prélevés en septembre 2000 et les analyses nécessaires ont été déterminées au laboratoire de l'institut d'hydraulique et au Laboratoire des Travaux Publics du Sud (L-T-P-S) à Ouargla.

II-1-3-1 Analyse granulométrie du sol :

C'est la détermination du pourcentage en poids des éléments de différents diamètres. Les échantillons ont été prélevés au milieu des planches à l'aide d'une tarière à des profondeurs de :

0÷20cm ; 20÷40cm ; 40cm÷60cm et 60cm÷80cm ; 80÷100cm, à partir de la surface du sol. Et les analyses ont été réalisées au laboratoire des travaux publics du sud (de Ouargla). (les résultats sont portés sur tableaux et graphes : voir en annexe 1 et 2)

D'après le diamètre des particules, on discerne les groupes granulométries suivants :

(d'après Association Internationale)

Colloïdes.....	<. 2 μ
Limon	2 μ <. 20 μ
Sable fin	0.02 ÷ 0.2 mm
Sable grossier.....	0.2 ÷ 2 mm
Gravier.....	> 2 mm

Le tableau suivant (II-2) donne le pourcentage des différents groupes granulométries

D'après les résultats, on déduit donc que le sol contient : 01.50% de gravier

61.95% de sable gros

36.55% de sable fin

Le sol du site expérimental a donc une texture sableuse, caractérisée par un sol bien aéré, facile à travailler, mais emmagasinant difficilement l'eau et les éléments nutritifs.

TABLEAU II-1 : GRANULOMETRIE DES ECHANTILLONS DU SITE
EXPERIMENTAL

Tamis (mm)	échantillon	Profondeur (cm)				
		0 ÷ 20	20 ÷ 40	40 ÷ 60	60 ÷ 80	80 ÷ 100
5	E1	100	100	100	100	100
	E2	100	100	100	100	100
	E3	100	100	100	100	100
	E4	100	100	100	100	100
	MOY	100	100	100	100	100
2	E1	98	97	98	98	98
	E2	98	99	99	98	99
	E3	99	99	99	99	99
	E4	99	99	98	98	99
	MOY	98.5	98.5	98.5	98.25	98.75
1	E1	90	89	91	92	96
	E2	95	97	96	97	98
	E3	96	96	94	94	97
	E4	98	98	95	93	98
	MOY	94.75	95	94	94	97.25
0.4	E1	81	78	76	76	85
	E2	85	83	83	86	87
	E3	96	85	81	81	87
	E4	94	89	84	81	87
	MOY	89	83.75	81	81	86.75
0.2	E1	69	67	56	50	59
	E2	66	59	59	64	61
	E3	73	61	59	53	63
	E4	79	69	60	60	63
	MOY	71.75	64	58.5	56.75	61.5
0.1	E1	52	50	38	25	26
	E2	35	33	33	32	29
	E3	40	31	27	25	33
	E4	51	39	33	31	28
	MOY	44.5	38.25	32.75	28.25	29
0.08	E1	46	47	34	20	20
	E2	27	25	29	26	24
	E3	33	23	21	21	29
	E4	39	33	29	27	24
	MOY	36.25	32	28.25	23.5	24.25

TABLEAU II-2 :POURCENTAGE DES GROUPES GRANULOMÉTRIQUES
GRANULOMETRIE DES ECHANTILLONS DU SITE EXPERIMENTAL

Groupes Granulo- -métries	Profondeur(cm)				
	0÷20	20÷40	40÷60	60÷80	80÷100
Sable fin	54.50	38.25	32.75	28.25	29.00
Sable gros	44.00	60.25	65.75	70.00	69.75
Graviers	1.50	1.50	1.50	1.75	1.25

II-1-3-2-densité :

La densité apparente est égale au rapport de la masse de l'échantillon sec sur le volume apparent (c'est-à-dire il correspond à l'enveloppe externe de l'échantillon considéré) ; et la densité réelle est égale au rapport de la masse de l'échantillon sec sur le volume réel (c'est-à-dire le volume occupé par la matière solide) [3]

Pour la détermination des densités apparente et réelle, on a creusé entre les planches des fosses de un (1) mètre carré, et les échantillons ont été prélevés délicatement à l'aide de petits cylindres métalliques aux profondeurs : 0 ÷ 30cm ; 30cm ÷ 60cm et 60cm ÷100cm, à partir de la surface du sol.

Les résultats des densités sont données en annexe 10.

TABLEAU II-3 :VALEURS MOYENNES DES DENSITÉS APPARENTE ET RÉELLE.

Profondeur (cm)	Densité apparente D_a (g/cm ³)	Densité réelle D_r (g/cm ³)
0 ÷ 30	1.1925	2.2715
30 ÷ 60	1.1340	2.6745
60 ÷100	1.1570	2.3954

La densité apparente moyenne : $D_a = 1.161$ (g/cm³)

La densité réelle moyenne : $D_r = 2.447$ (g/cm³)

II-1-3-3 porosité :

La porosité P est le rapport du volume non occupé par de la matière solide sur au volume total. [3]

TABLEAU II-4 : VALEURS DE LA POROSITÉ MOYENNE

Profondeur (cm)	0 ÷30	30 ÷ 60	60 ÷100
Porosité (%)	47.5	57.6	51.7

La porosité moyenne est donc $P = 52.27$ %

II-1-3-4- perméabilité

La perméabilité est au point de vue théorique, la faculté que possède un sol, préalablement imbibé, de se laisser traverser par un courant d'eau libre. Elle conditionne la vitesse verticale de l'eau vers les parties profondes. [23]

Lorsqu'on irrigue, l'eau pénètre d'abord rapidement dans le sol sous l'influence d'un effet de buvard. Dans le cas général, les éléments gorgés d'eau se gonflent, la section des interstices diminue, la pénétration se ralentit après un temps plus ou moins long. Lorsqu'une certaine épaisseur de terre est saturée, un équilibre s'établit, la vitesse d'écoulement du liquide en profondeur devient constante, c'est alors la perméabilité stabilisée qui agit. :[23]

On peut déterminer les courbes de perméabilité, en utilisant le double anneau.

On a donc :

- h_1 la hauteur d'eau absorbée au temps t_1
- h_2 la hauteur d'eau absorbée au temps t_2
- On détermine la différence entre deux hauteurs consécutives Δh
- On convertit Δh en m/h et on prend ainsi plusieurs mesures et on porte la moyenne sur le tableau II-5 et on trace le graphe de Δh (m/h) en fonction du temps t .

Sur le graphe de $\Delta h = f(t)$ on constate trois phases :

- Sur la première phase on constate (la courbe est presque // à l'axe des y) que la vitesse est très importante cela veut dire que la quantité d'eau absorbée est égale à la quantité déversée.
- Sur la deuxième phase on constate une courbe de variation et on parle d'absorption de l'eau dans le sol.
- à la troisième phase on constate (la courbe est presque // à l'axe des x) une saturation et le régime est permanent.

TABLEAU II-5 : MOYENNE DE PLUSIEURS EXPÉRIMENTATIONS AU MILIEU DES PLANCHES Á ÉTUDIER :

t	h cm	Δh m/h
0	38	
2minutes	36.8	0.36
4	36	0.24
6	35.6	0.12
8	35.3	0.09
10	35	0.09
20	34.8	0.042
30	33.6	0.036
40	32.9	0.03
50	32.2	0.03
60	31.5	0.04
1.5heures	29.5	0.04
2	27.5	0.04
2.5	25.5	0.038
3	23.6	0.038
3.5	21.7	0.036
4	20.8	0.034
5	19	0.018

II-1-3-6- l'humidité initiale dans le sol

L'humidité est la quantité d'eau contenue dans un sol. Elle est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche contenue dans ce sol, et est exprimée-en %.

La méthode détermination des humidités consiste à sécher l'échantillon de terre à l'étuve 105° jusqu'à un poids constant ; et la différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau.

Les échantillons sont prélevés au milieu de la planche à l'aide d'une tarière jusqu'à une profondeur de 1m (aux horizons 0 ÷ 30, 30 ÷ 60 et 60 ÷ 100cm) et tous les résultats sont portés en annexe5.

II-2 METHODES DE CALCUL

L'objectif de notre étude est l'évaluation de l'infiltration dans les planches. Nous procéderons à l'évaluation expérimentalement, et théoriquement par application du modèle mathématique.

L'évaluation théorique de l'infiltration revient à détermination des paramètres de la fonction : $f_i(a, K, n, S_o, L, w, q_o, t_a, d_n)$, (dont, les six derniers termes sont obtenus directement des observations sur terrain et les trois premiers sont, au contraire, obtenus indirectement de ces derniers).

- L'application du bilan des volumes à la phase de l'avancement a conduit à la mise au point d'une méthodologie approuvée pour estimer les paramètres de l'infiltration a et K , appelée méthode des deux points, appropriée à l'irrigation par planches. [4]

Comme toute méthode basée sur les observations sur terrain, la méthode des deux points présente des faiblesses, car elle est basée sur une relation unique de type puissance entre la distance de l'avancement et le temps, mais on peut se baser sur les résultats intéressants des études qui ont utilisé cette méthode. Des évaluations intéressantes de la méthode sont fournies par Bérthomé (1985), Smerdon et al.(1988) et Blair et Smerdon(1988), qui analysent différentes lois d'avancement et plusieurs formes de l'équation de Kostiakov. [4]

Dans notre étude nous nous sommes basé sur les résultats de l'étude de Smerdon, Blair et Reddell en 1988) [4] qui indiquent que l'analyse de la méthode simple et directe basée sur l'équation de l'infiltration de Kostiakov et l'équation de la loi de l'avancement de type puissance prévoient d'une manière satisfaisante les volumes infiltrés observés.

L'infiltration de l'irrigation superficielle est donc évaluée par une méthode simple, cependant exacte, à l'aide de deux données (avancement et temps) mesurées. Cette méthode est basée sur une approximation une solution intégrante de l'équation de continuité qui est formulée utilisant l'équation de l'infiltration de Kostiakov et l'équation de la loi l'avancement. L'analyse des différences entre les valeurs prédites et celles observées indiquera si cette solution est d'une bonne exactitude. [4]

les différentes étapes de détermination de la loi d'infiltration sont:

Détermination de la loi de l'avancement:

Détermination des volumes du stockage superficiel :

Détermination des volumes infiltrés cumulés

Détermination des coefficients de la loi de l'infiltration

II-2-1 loi d'infiltration

Les calculs nécessaires pour déterminer les coefficients de l'infiltration de Kostiakov sont illustrés comme suit : [16]

II-2-1-1 : loi de l'avancement:

L'équation de l'avancement est déterminée par la méthode des deux points. Il existe plusieurs lois d'avancement classiquement utilisées en irrigation par planches ; la plus courante est du type puissance :

$$x(t) = p.t^r \quad (\text{II-1})$$

t représente le temps d'avancement (mn) au point x (m).
p et r sont des coefficients empiriques constants.

Inversement on a :

$$t(x) = m.x^n \quad (\text{II-2})$$

avec m et n coefficients empiriques constants.

La détermination de la loi d'avancement consiste à ajuster les mesures du terrain à cette loi.

L'ajustement peut être réalisé par la méthode des deux points :

Cette méthode consiste à ajuster p et r sur deux mesures seulement, par exemple quand $x = L$ et $x = L/2 = L_1$ ce qui reviendrait à résoudre le système suivant :

$$L_1 = p.t_{L_1}^r \quad (\text{II-3})$$

$$L = p.t_L^r \quad (\text{II-4})$$

La solution de ce système d'équations (II-3) et (II-4) est immédiate. Les seules données nécessaires sont les temps de passage au milieu et à l'extrémité de la planche.

$$r = \frac{\text{Log} \frac{L_1}{L}}{\text{Log} \frac{t_{L_1}}{t_L}} \quad (\text{II-5})$$

$$p = \frac{L}{t_L^r} \quad (\text{II-6})$$

De la même manière on détermine les coefficients m et n.

$$m = \frac{\text{Log} \frac{t_{L_1}}{t_L}}{\text{Log} \frac{L_1}{L}} \quad (\text{II-7})$$

et

$$n = \frac{t_L}{L^m} \quad (\text{II-8})$$

II -2-1-2 volumes stockés :

La quantité d'eau stockable dépend surtout de la texture du sol : elle augmente avec la richesse en argile et diminue avec la teneur en sable. C'est à dire, plus les éléments qui composent le sol sont fins, plus grande est l'aptitude à emmagasiner l'eau.

Elle dépend aussi de l'état hydrique du sol au moment de l'irrigation, c'est à dire un sol sec absorbera plus d'eau qu'un sol humide.

A la fin de la phase de l'avancement, le volume de l'eau stockée sur la surface doit être déterminé en mesurant la hauteur de l'eau, chose qui n'est pas toujours facile à réaliser. Dans ce cas c'est à dire que la mesure de ce volume est imprécise ou impossible, il peut être estimé à l'aide de formules empiriques.[16]

Dans notre étude nous estimerons le volume du stockage, car la mesure de la hauteur d'eau est imprécise vu que :

- la hauteur est faible
- l'eau est un peu trouble
- l'appréciation du contact de la jauge avec le fond de la planche n'est pas sûre.
- la surface du fond n'est pas très lisse
- le vent fait bouger les jalons et la surface de l'eau

Il est donc préférable de procéder par estimation en utilisant une des formules existantes pour l'estimation du stockage. [18]. On utilisera la formule empirique du SCS :

$$V_{s(x)} = \frac{x}{0.305} \left[(2.947) \left(Q \frac{n}{S_0^2} \right)^{0.753} - 0.0217 \right] \quad (\text{II-9a})$$

$V_s(x)$ est le volume stocké (l) au point d'arrivée de l'eau au point x(m)

n est le coefficient de rugosité

P_0 est le périmètre mouillé en (m²) de la planche

S_0 est la pente longitudinale de la planche en (m/m)

La formule (II-9a) est de la forme :

$$V(x) = \lambda \cdot x \quad (\text{II-9b})$$

Le problème du calcul de λ réside dans la détermination du coefficient de rugosité n , qui est aussi une quantité utilisée directement ou indirectement dans le modèle et c'est le paramètre d'entrée le plus difficile à mesurer sur le terrain.

Il existe plusieurs méthodes pour la détermination du coefficient de rugosité n ; soit des tableaux en fonction du type de sol, des formules ou des abaques. La formule

$$h = \left(\frac{n \cdot Q}{60 \cdot (S_o)^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{5}} \quad (\text{II-10})$$

la plus pratique et la plus usuelle est l'équation de Manning et Strickler : [6]

h est la hauteur moyenne de l'eau (m)

Q est le débit à l'entrée de la planche (m^3/mn)

S_o est la pente du fond de la planche, (constante pour toutes les planche $S_o = 0.001$).

II-2-1-3 : volumes infiltrés cumulés

Les volumes cumulés infiltrés pendant la phase de l'avancement se déduisent des mesures de volumes cumulés écoulés en colature et des volumes stockés en surface.

On détermine ces volumes à l'aide de la méthode du bilan en volume qui suppose implicitement que les caractéristiques de l'infiltration sont les mêmes sur toute la planche (ou tout au moins sur le tronçon de la planche délimité par les seuils de mesure du débit). Ces volumes permettront par la suite de déterminer la loi de l'infiltration.

On écrit l'équation du bilan en volume en fonction du temps t :

$$V_e(t) = V_i(t) + V_c(t) + V_s(t) \quad (\text{II-11})$$

D'où
$$V_i(t) = V_e(t) - V_c(t) - V_s(t)$$

Avec :

V_i est le volume infiltré (l)

V_e est le volume entré qui est égal à $60 \cdot Q_o \cdot t$ (l)

V_c est le volume écoulé en colature déterminé à l'instant où l'eau est arrêtée à l'entrée de la planche. Cependant pour l'expérimentation étudiée, les planches sont fermées ; les volumes entrés et écoulés sont donc nuls.

V_s est le volume stocké estimé en surface donné dans le paragraphe II-2-2.

II-2-1-4 : coefficients de la loi d'infiltration

On rappelle la loi utilisée pour caractériser l'infiltration dans notre études est celle de Kostiakov :

$$Z(t) = Kt^a \quad (l/m) \quad (II-12)$$

Où

Z représente l'infiltration cumulée pendant la durée t(mn), (l/m)

K, et a sont des coefficients d'ajustement :

K → constante de l'infiltration (m/min^a)

et

a → exposant de l'infiltration

L'infiltration instantanée I(t) se déduit de cette formule car l' infiltration cumulée est l'intégrale par rapport au temps de l'infiltration instantanée I(t) :

$$I(t) = \frac{dZ}{dt} = I(t) = k.a.t^{1-a} \quad (l/m) \quad (II-13)$$

a : volumes infiltrés

Le volume cumulé infiltré V(t) dans la planche pendant la phase de l'avancement

$$V(t) = \int_0^{x(t)} Z[t - t(v)] dv \quad (II-14)$$

à l'instant t se calcule comme suit :

Avec $x(t) = p.t^r$ équation (II-1)

et $t(v) = m.v^n$ équation (II-2)

la solution de l'équation (II-14) est :

$$V(t) = L \cdot (K t_{irr}^a) \left(1 - \frac{r}{r+1} \cdot \frac{t_{av}}{t_{irr}} \right) + K \frac{r^2}{1+r} \cdot \frac{t_{av}}{t_{irr}^r} \quad (l/m) \quad (II-15)$$

a et K sont les coefficients de la loi d'infiltration que l'on doit déterminer (K : constante de l'infiltration (m/min^a) et a : exposant de l'infiltration)

t_{irr} est la durée de l'alimentation (mn)

t_{av} est la durée de la phase de l'avancement (mn)

L est la longueur de la planche (m)

b- coefficients de la loi de l'infiltration :

La détermination de la loi de l'infiltration consiste à déterminer les coefficients K et a tels que les volumes infiltrés déterminés par l'équation (II-11) se rapprochent le plus possible des volumes infiltrés calculés par l'équation(II-15).

Il existe plusieurs méthodes pour la détermination de la constante de l'infiltration K et de l'exposant du temps a. La plus usuellement utilisée est celle des deux points :

-méthode des deux points

Elle est analogue à la méthode des deux points utilisée pour calculer les coefficients de la loi de l'avancement.

Elle part d'une formule approchée de Chritiansen et al.(1966) pour estimer la valeur de l'intégrale dans l'équation (II-21), Elliott et Walker, 1982 donne pour la loi de kostiakov : [16]

$$V(t) = \frac{F}{a+1} \cdot K t^a \quad (II-16)$$

F est le facteur correctif de Kiefer, estimé par la formule :

$$F = \frac{a+r-a.r-1}{r+1} \quad (II-17)$$

- r sera déterminé par la méthode des deux points appliquée à la loi d'avancement (voir équation II-1),

- K et a sont les coefficients de l'infiltration (voir équation II-14)

Pour déterminer les valeurs de K et a ,on écrit l'équation (II-16) pour $t_{L/2}$ et t_L ,c'est à dire au cours de la phase de l'avancement, lorsque le front atteint les abscisses $L/2$ et L.

$$\frac{V_L}{L} = \frac{F}{a+1} \cdot K \cdot t_L^a \quad (II-18)$$

$$\frac{V_{L/2}}{L/2} = \frac{F}{a+1} \cdot K \cdot t_{L/2}^a \quad (II-19)$$

d'où le système de 2 équations à deux inconnus (K et a) :

V_L et $V_{L/2}$ sont les volumes infiltrés observés aux temps t_L et $t_{L/2}$ (déterminés dans II-2-1-c)

Les valeurs de K et a se calculent à partir des quatre équations suivantes déduites des équations(II-18) et (II-19) :

$$a = \frac{\text{Log} \left[\frac{\alpha}{\beta} \right]}{\text{Log} \left[\frac{t_L}{t_{L/2}} \right]} \quad (\text{II} - 20)$$

$$K = \frac{\alpha \cdot (a+1)(r+1)}{(a+r-a \cdot r+1)t_L^a} \quad (\text{II} - 21)$$

avec $\alpha = \frac{V_L}{L} \quad (\text{II} - 22)$

et $\beta = \frac{V_{L/2}}{L/2} \quad (\text{II} - 23)$

Conclusion

Les premiers paramètres a, K et n doivent être déterminés à partir des données d'observation suivantes :

II-2-2 paramètres d'observation

- 1- Le débit entrant unitaire Q (m³/mn/m) : Ce paramètre est déterminé sur terrain exactement, il reste constant pendant toute la période d'irrigation.
- 2 - La longueur de la planche L(m) et la largeur B(m) : Ces paramètres sont mesurés directement sur terrain.
- 3 – La profondeur d_n (mm) de l'eau exigée dans la zone radiculaire des plantes :
Les besoins nécessaires du palmier pour les mois d'octobre, novembre et décembre sont respectivement 60 ÷ 80, 20 ÷ 60 et 20 ÷ 40 mètres cubes d'eau par jour et par hectare ; et le nombre d'arrosages mensuels est égal à quatre. [] Dans le cas de notre expérimentation :
 - les palmiers sont jeunes, considérons donc la dose nécessaire égale à 40m³/j/ha, [] et comme on irrigue une fois par semaine ; la dose nécessaire par arrosage est donc 280m³/j/ha ;
- 4 - La durée de l'alimentation t_{irr}: Ce paramètre est calculé comme suit :
 - l'écartement entre les planches est E = 8m.
 - les longueurs des planches sont 50 ; 65 et 90 m.
 - la largeur des planches est constante et égale à 1m.

Le volume nécessaire pour chaque arrosage est donc :

$$V \text{ (m}^3\text{)} = \text{la surface à irriguer (ha)} \times \text{la dose nécessaire m}^3\text{/ha} \quad (\text{II} - 24)$$

pour les planches de longueur 50m ; le volume est égal à 11.20 m³ .

pour les planches de longueur 65m ; le volume est égal à 14.56 m³.

pour les planches de longueur 90m ; le volume est égal à 20.16 m³.

$$t_{irr} (mn) = \frac{\text{la surface à irriguer (ha)} \times \text{la dose nécessaire (m}^3/\text{ha)}}{60 \times \text{débit à l'entrée de la planche (l/s)}} \quad (II - 25)$$

D'où le temps d'irrigation t_{irr} est égal à :

5 - La pente du fond de la planche S_0 : la pente du fond de la planche dans le sens de l'écoulement a été choisie constante pour toutes les planches et égale à 0.001, et celle dans le sens transversale nulle.

6 - L'écartement E (m) entre les planches : Sur le terrain nous avons façonné les planches espacées de 8m (c'est la valeur de l'écartement entre les palmiers existants sur la parcelle), seulement le modèle considère pour les calculs l'écartement égal à 1m [].

II-3- METHODE DE MESURE

Nous devons , donc déterminer pour une longueur de planche donnée, un débit et une durée d'alimentation, pour que la plante reçoive la quantité d'eau dont elle à besoin tout le long de la planche de l'amont à l'aval. De ce fait, pour une longueur de la planche donnée, nous devons faire varier le débit d'entrée, et pour un débit donné, nous devons faire varier la longueur, et pour chaque cas nous devons déterminer la quantité d'eau apportée à la plante ou reçue dans le sol pour déduire si l'humidification est suffisante et uniforme.

Il faut plusieurs essais sur terrain pour déterminer les dimensions définitives, et ce sont les résultats des expérimentations et essais sur terrain de la région de Ouargla qui auraient du nous aider à rétrécir le cadre de notre recherche. Seulement dans cette région, ainsi que dans les régions avoisinantes, la façon d'arroser dépend toujours de l'agriculteur qui doit choisir le débit d'alimentation et la durée d'irrigation de façon pragmatique sans avoir les moyens de vérifier la qualité des arrosages.

Les observations sur terrain de plusieurs sites de la région nous ont permis de déduire qu'il n'y a aucune relation entre (débit d'entrée Q , longueur de la planche L , la pente du fond de la planche S_0 et le temps d'irrigation t_{irr}) :

- Le débit d'entrée est toujours égal au débit disponible, soit fort ou faible.
- La longueur de la planche dépend de la disposition du terrain des points d'eau et des pistes, en général, elle varie entre 50 et 80m.
- La largeur de la planche est souvent égale à un ou deux mètres ou un peu moins.
- Le temps d'irrigation est choisi par expérimentation ainsi que la durée entre deux irrigations, lorsque l'eau est disponible. Le premier paramètre est faible en hiver et important en été et vis versa pour le second paramètre .

Nous nous baserons, donc dans notre étude, sur les méthodes qui ont fait leurs preuves aux états unis et en URSS sur les terres salées ou perméables(exemples

concrets dans le cas des sols sableux étudiés dans I-2 et nous prendrons en considération les tableaux suivants II-7 et II-8 :

Tableaux N° II-7 : dimensions recommandées pour les planches en fonction du débit et de la nature du sol pour une pente moyenne de 3p.1000 [23]

Débit utilisé par planche	Sol léger : Perméabilité 30cm/heure			Sol moyen : Perméabilité 10cm/heure			Sol argileux : Perméabilité 3cm/heure			
	En l/s en m ³ /h	Largeur (m)	longueur (m)	surface (ares)	Largeur (m)	longueur (m)	surface (ares)	Largeur (m)	longueur (m)	surface (ares)
14 50								9	176	15.80
28 100				9	106	9.50		12	265	31.80
42 150		8	56	4.50	11	129	14.20	15	318	47.50
56 200		9	66	6.00	13	146	19.00			
70 250		10	75	7.50	14	171	23.80			
83 300		11	82	9.00	15	190	28.50			

Tableaux N° II-8 : paramètres recommandées pour les planches en Oasis[17]

La pente	Le débit (l/s/m)		La longueur (m)	
	optimal	limite	Optimale	limite
0.001	6.5	6.5	70÷80	90
0.003	5.5	6.0	90÷100	120
0.005	4.5	5.0	90÷95	100
0.01	3.5	4.0	70÷80	90
0.02	2.5	3.0	60÷65	80

II-3-1 Protocole expérimental

Les évaluations du fonctionnement de l'irrigation par planches comprennent les observations suivantes : [23]

- débit entrant
- chronométrage de la phase de l'avancement
- teneur en eau avant et après arrosage
- pente longitudinale de la planche

Ces données d'observation sont utilisées pour la détermination de l'infiltration par calcul et par expérimentation ainsi qu'à l'étude de la répartition de l'humidité.

La période expérimentale s'étend du début septembre, à la mi-janvier.

II-3-1-1 : Mesure du débit à l'entrée de la planche

Le choix du débit est un facteur primordial qui conditionne le déroulement et le résultat d'une irrigation. il n'est pas facile d'avoir sa valeur exacte, car il n'y a pas de

critère simple pour le déterminer en fonction des caractéristiques de la parcelle, cependant il doit être :

- supérieur à l'infiltration totale de la planche, pour que l'eau atteigne l'extrémité avale de la planche,
- supérieur au débit érosif, valeur qui provoque une érosion manifeste dans la planche.

Le débit idéal diminue lorsque l'on renouvelle les irrigations, à cause de la distribution de la capacité d'infiltration due au lissage de la planche et à la chute de perméabilité du sol. C'est surtout la première irrigation qui se distingue des autres (dés fois elle exige un débit double de celui des irrigations suivantes).

Le débit en tête de la planche est constant car le niveau de l'eau dans le canal ne varie pas au cours du temps et le débit en fin de la planche est variable car il dépend de l'infiltration.

Il existe plusieurs méthodes de détermination du débit à l'entrée de la planche, dans notre travail, nous l'avons déterminé comme suit :

On place à l'entrée de la planche un réservoir métallique, équipé de vanne pour mesurer le débit nécessaire avec exactitude, et surtout pour le garder constant pendant toute la période expérimentale.

II-3-1 -2: Mesure de l'avancement de l'eau dans la planche :

Après avoir disposé sur toute la largeur en tête de la planche un film plastique pour uniformiser la distribution de l'eau, on place des jalons avant l'arrosage espacés de 10 m sur la longueur de la planche. On arrose une fois par semaine pendant trois mois. Et pendant l'arrosage on mesure le temps t_{av} de passage de l'eau aux niveaux des différents points où on a placé les jalons. (les valeurs sont portées en annexe A11 à A15)

On constate sur le terrain que le front d'avancement a la forme d'une langue (voir fig II-2).

Les valeurs pendant un mois varient peu, on fait donc la moyenne des quatre arrosages mensuels pour chaque mois et on appelle les arrosages d'octobre A1, ceux de novembre A2 et ceux de décembre A3.

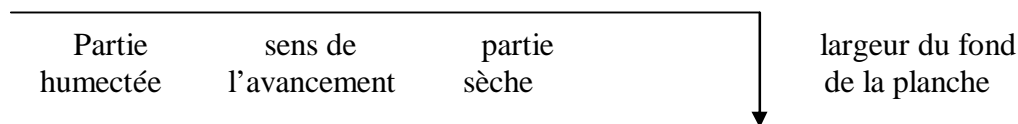


Figure II-2 : forme du front d'avancement

II-3-1 -3 : mesure du stockage

Pour cela on doit déterminer les sections et les hauteurs d'eau au niveau des différentes sections prises en compte. Si la planche est homogène, il suffit de déterminer la forme d'une section moyenne. Si la planche présente des changements de section notables, il faudra distinguer plusieurs tronçons de planche avec des sections différentes. Dans le cas de notre expérimentation les planches sont de section homogène. On mesure donc les hauteurs de l'eau au niveau de chaque jalon à la fin de la phase de l'avancement, et on calcule le volume d'eau stocké.

II-3-1 -4 : mesure de l'humidité du sol

A l'aide d'une tarière on prélève des échantillons de sol aux profondeurs 0÷30cm, 30÷60cm et 60÷100cm avant arrosage et 48h après arrosage [23], puis on détermine au laboratoire l'humidité de ces échantillons pour déterminer la dose d'eau reçue pendant l'arrosage.

II-3-2 : dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est un ensemble de planches comme le montre la figures II-3.

On fait varier la longueur des planches (50, 65, 90m) en gardant le débit constant (6l/s/m).

Puis on fait varier le débit d'entrée (2, 5, 6l/s/m) en gardant la longueur de la planche constante (65m).

On a donc cinq types de planches :

La planche P1 de longueur 90m et dont le débit d'entrée est 6l/s/m

La planche P2 de longueur 50m et dont le débit d'entrée est 6l/s/m

La planche P3 de longueur 65m et dont le débit d'entrée est 6l/s/m

La planche P4 de longueur 65m et dont le débit d'entrée est 5l/s/m

La planche P5 de longueur 65m et dont le débit d'entrée est 2l/s/m

- Le nombre de planches à étudier : trois planches de 65m.

une trois planches de 50m.

une planche de 90m.

- le choix des débits est en fonction de la longueur des planches d'après le tableau II-8.

Les sols de notre site sont sableux et perméables et pour éviter un trop grand déséquilibre entre la profondeur d'infiltration à l'amont et à l'aval nous devons raccourcir l'élément, nous avons donc opté pour des planches courtes c'est à dire inférieur à 100mètres avec des débits relativement faibles. D'autant plus que les planches à faibles dimensions ont les avantages suivants : [23]

• Ne nécessitent pas de procéder à un nivellement parfait car une malfaçon est vite réparée.

• Le débit disposé sera relativement faible donc il n'y aura pas de risque de ravinements. [23]

- La largeur utilisée pour toutes les planches est de 1m.
- Section : les planches sont homogènes de section constante de forme rectangulaire
- La pente des planches est égale à 0.001.
- Culture pratiquée sur le périmètre expérimental est le palmier mais aucune culture n'a été implantée dans les planches expérimentales. C'est donc le cas des planches sans végétation.
- L'écartement entre les planches est égal à l'espace entre deux palmiers qui est 8m. et les planches sont placées au pied des palmiers.
- La distribution en tête de la planche est réalisée par un réservoir équipé de vanne .
- Débit d'alimentation en tête est constant pendant la durée de l'alimentation d'une planche : $Q = 2, 5 \text{ et } 6 \text{ l/s/m}$.
- Durée de l'alimentation en tête t_{irr} est variable, elle dépend de la longueur des planches, du débit d'entrée. Cette durée est déterminée par calcul dans le chapitre III
- le nombre d'arrosages : un arrosage par semaine, pendant trois mois.

II-3-3 : confection des planches

Pour chaque planche, on a effectué des sondages à l'aide de tarière pour vérifier l'inexistence de couches imperméables, croûtes ou nappes d'eau à 2.5m de profondeur.

II-3-4 : le matériel utilisé :

Le matériel utilisé lors des expérimentations est :

- réservoir métallique équipé de vannes
- conduites
- film plastique
- jalons
- mètre ruban
- chronomètre
- réglettes graduées
- le double anneau
- des petits cylindres avec couvercles et une tarière

CONCLUSION DU CHAPITRE II

La climatologie de la région et les caractéristiques du sol expérimental démontre la nécessité de l'irrigation. Le sol doit donc absorber la quantité d'eau nécessaire en tout point d'une manière plus ou moins uniforme.

la détermination de l'infiltration sera effectuée par calcul c'est à dire à l'aide du modèle mathématique et par expérience c'est à dire à l'aide des doses d'eau reçues après chaque expérimentation.

Seulement le modèle mathématique nécessite la détermination de la loi de l'infiltration à l'aide de données expérimentales. La méthode de travail comporte donc trois volets différents et complémentaires:

- l'évaluation de la loi l'infiltration de Kostiakov
- l'étude du modèle mathématique.
- la détermination de la réserve d'eau réellement reçue.

Nous allons donc dans le chapitre suivant, étudier ces trois parties. Nous déterminerons par la suite la différence entre les résultats expérimentaux et ceux prédits par le modèle mathématique choisi pour juger la performance de ce dernier, afin de pouvoir déterminer par la suite l'infiltration directement par calcul.

Figure II-3 : disposition des planches

**CHAPITRE III :
RESULTATS ET ANALYSE**

III-1-EVALUATION DE LA LOI D'INFILTRATION

III-1-1 Etude de l'avancement

On constate que l'écart entre le passage de la pointe du front à une abscisse donnée et la submersion totale du fond de la planche à la même abscisse est de l'ordre de la minute. On arrondit donc arbitrairement les temps de passage aux différents jalons au nombre entier (en minute) supérieur pour tenir compte de ce décalage[16].) On porte ces valeurs sur les tableaux de l'annexe 4 et on récapitule les valeurs moyennes des quatre arrosages mensuels sur le tableau (III-2). Et on construit les courbes d'avancement (figures de III-1-1 à III-1-5).

Ces données permettront de déterminer la loi d'avancement d'après la méthode des deux points. on détermine donc p, r m et n d'après les équations (II-5, II-6, II-7 et II-8 et on récapitule ces valeurs sur le tableau (III-1)

Tableau III-1 : coefficients d'ajustement de la loi de l'avancement

Arrosage	N° plan -che	L m	Q l/s/m	t _{L1} mn	t _L mn	p	r	m	N
	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	50	6	7	15	8.1374	0.6704	0.04380	1.4900
Octobre	3	65	6	8	22	6.7620	0.7321	0.07320	1.3590
	4	65	5	9	26	7.7450	0.6529	0.04348	1.5316

	5	65	2	10	35	7.2400	0.6172	0.04000	1.6202
Novembre	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	50	6	4	10	13.850	0.5574	$8.95 \cdot 10^{-3}$	1.7940
	3	65	6	4	15	13.290	0.5859	0.0121	1.7060
	4	65	5	6	19	9.0210	0.6707	0.0376	1.4909
	5	65	2	9	33	8.114	0.5951	0.0297	1.6800
Décembre	1	90	6	6	32	16.78	0.4846	$3.015 \cdot 10^{-3}$	2.0600
	2	50	6	3	8	16.92	0.5208	$4.37 \cdot 10^{-3}$	1.9200
	3	65	6	3	13	16.78	0.5279	$4.87 \cdot 10^{-3}$	1.8900
	4	65	5	4	16	13.85	0.5577	$8.98 \cdot 10^{-3}$	1.7930
	5	65	2	7	29	10.41	0.5439	0.01347	1.8357

Puis on détermine t_{av} corrigé d'après l'équation II-2 que l'on récapitule sur le tableau III-2. On constate que les valeurs ajustées sont très proches des valeurs observées, sauf pour l'abscisse amont.

Tableau III-2 : valeurs observées (ob) et valeurs ajustées (aj) des temps de l'avancement

P-3/ X(m)	10	20	30	40	50	60	65
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	2	4	8	11	16	20	22
$t_{av}^{(aj)} (mn) A1$	1.69	4.38	7.62	11.29	15.31	19.65	21.92
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	1	2	4	7	10	13	15
$t_{av}^{(aj)} (mn) A2$	0.61	2.00	4.00	6.54	9.57	13.07	14.98
$T_{av}^{(ob)} (mn)$	1	2	3	5	7	11	13
$t_{av}^{(aj)} (mn) A3$	0.37	1.40	3.01	5.19	7.92	11.17	12.99
P-5/ X(m)	10	20	30	40	50	60	65
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	2	5	10	15	23	33	35
$t_{av}^{(aj)} (mn) A1$	1.67	5.13	9.99	15.76	22.63	30.41	34.99
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	2	5	9	15	22	30	33
$t_{av}^{(aj)} (mn) A2$	1.42	4.55	9.00	14.59	21.23	28.84	33.00
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	2	4	7	12	18	27	29
$t_{av}^{(aj)} (mn) A3$	0.93	3.29	6.99	11.75	17.70	24.74	29.00
P-4/ X(m)	10	20	30	40	50	60	65
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	2	4	9	12	17	23	26
$t_{av}^{(aj)} (mn) A1$	1.48	4.27	7.95	12.35	17.39	22.99	26.00
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	1	3	6	9	13	17	19
$t_{av}^{(aj)} (mn) A2$	1.16	3.27	5.99	9.19	12.83	16.83	19.00
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	1	2	4	8	12	15	16
$t_{av}^{(aj)} (mn) A3$	0.56	1.93	4.00	6.69	9.99	13.85	16.00
P-2/ X(m)	10	20	30	40	50		

$t_{av}^{(ob)} (mn)$	3	4	7	10	15				
$t_{av}^{(aj)} (mn) A1$	1.35	3.80	6.98	10.67	14.98				
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	1	2	4	7	10				
$t_{av}^{(aj)} (mn) A2$	0.56	1.93	4.00	6.67	10.00				
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	1	2	3	5	8				
$t_{av}^{(aj)} (mn) A3$	0.37	1.37	3.00	5.20	8.00				
P-1/ X(m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$t_{av}^{(ob)} (mn)$	1	2	3	6	8	12	17	23	32
$t_{av}^{(aj)} (mn) A3$	0.35	1.44	3.32	6.00	9.53	13.87	19.07	25.00	32.00

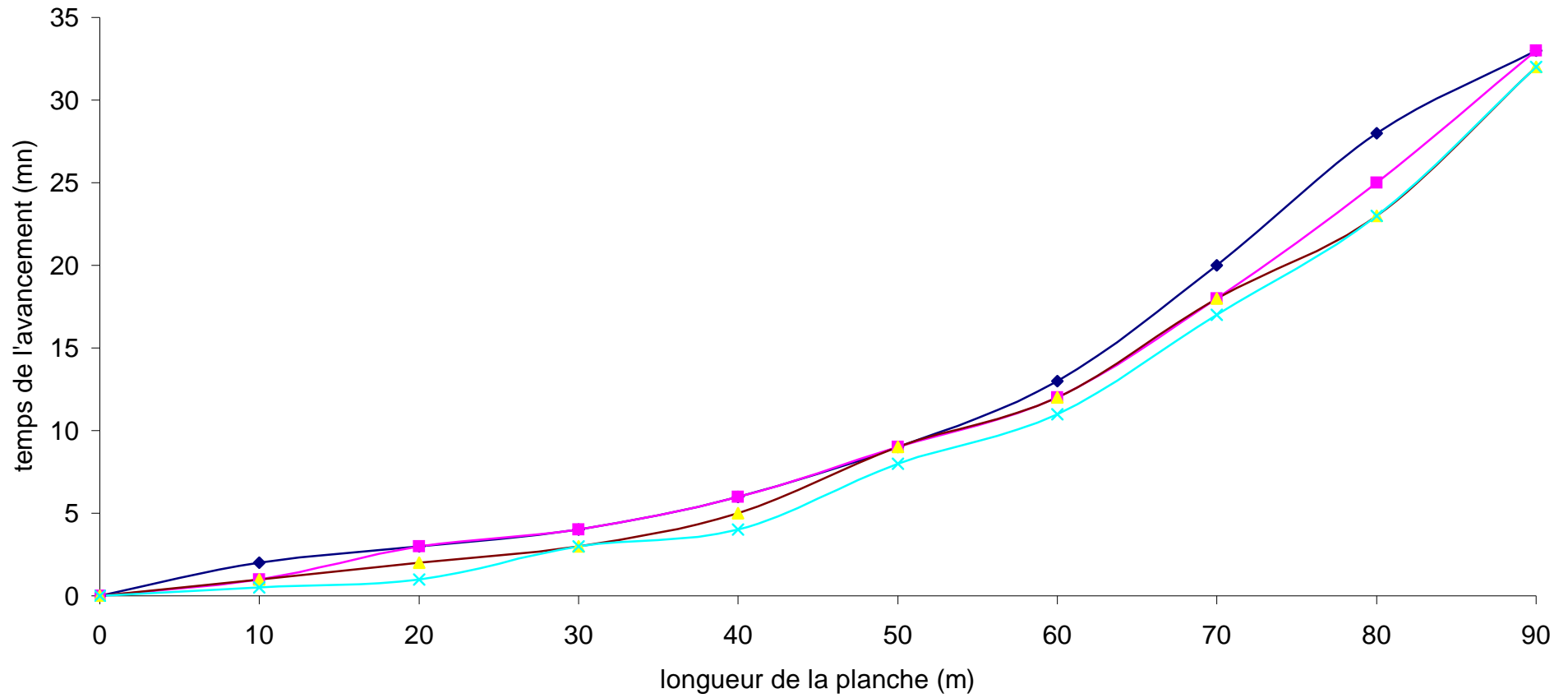


FIGURE III-1-1: AVANCEMENT DE L'EAU DANS LA PLANCHE N°1
 $Q=6l/s/m$ $L=90m$

—◆— arrosage 1 —■— arrosage 2 —▲— arrosage 3 —×— arrosage 4

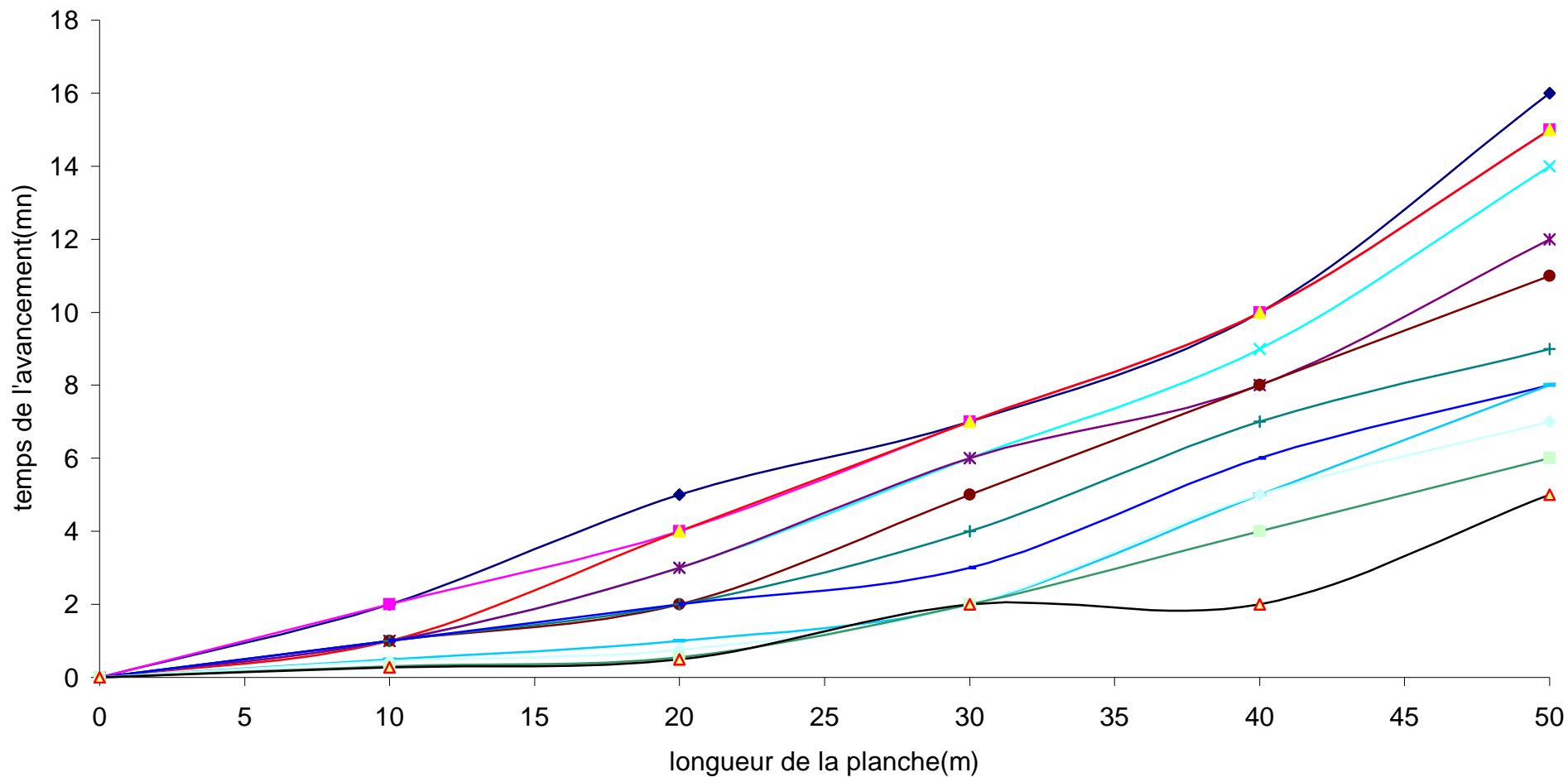


FIGURE III-1-2: AVANCEMENT DE L'EAU DANS LA PLANCHE N°2
 $Q=6l/s/m$ $L=50m$

- ◆ arrosage 1 ■ arrosage 2 ▲ arrosage 3 × arrosage 4 * arrosage 5 ● arrosage 6 + arrosage 7
- arrosage 8 — arrosage 9 — arrosage 10 — arrosage 11 — arrosage 12

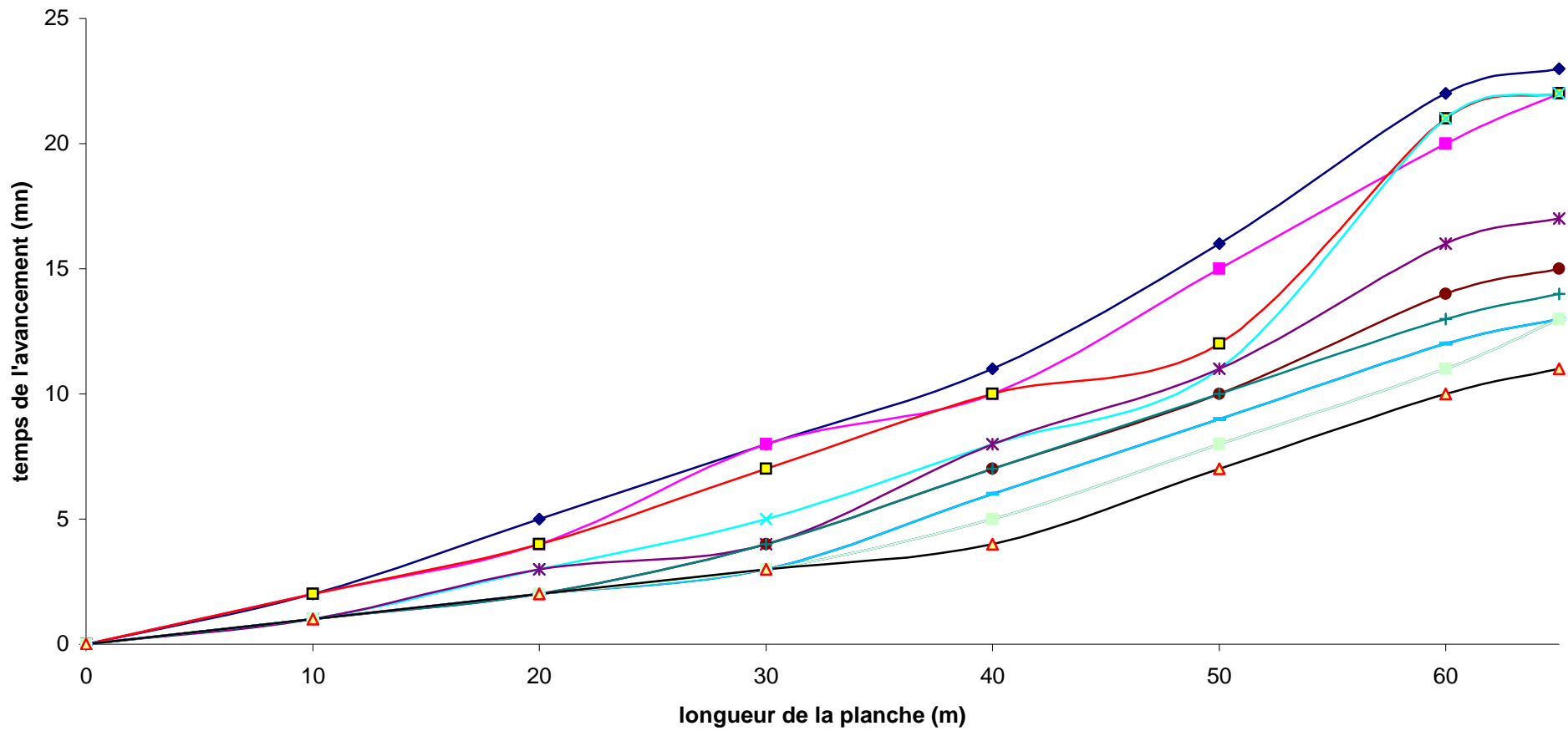


FIGURE III-1-3 :AVANCEMENT DE L'EAU DANS LA PLANCHE N°3
Q=6l/s/m L=65m

- ◆ arrosage 1'' ■ arrosage 2 □ arrosage 3 × arrosage 4 * arrosage 5 ● arrosage 6 + arrosage 7
- ◆ arrosage 8 × arrosage 9 □ arrosage 10 ■ arrosage 11 ▲ arrosage 12

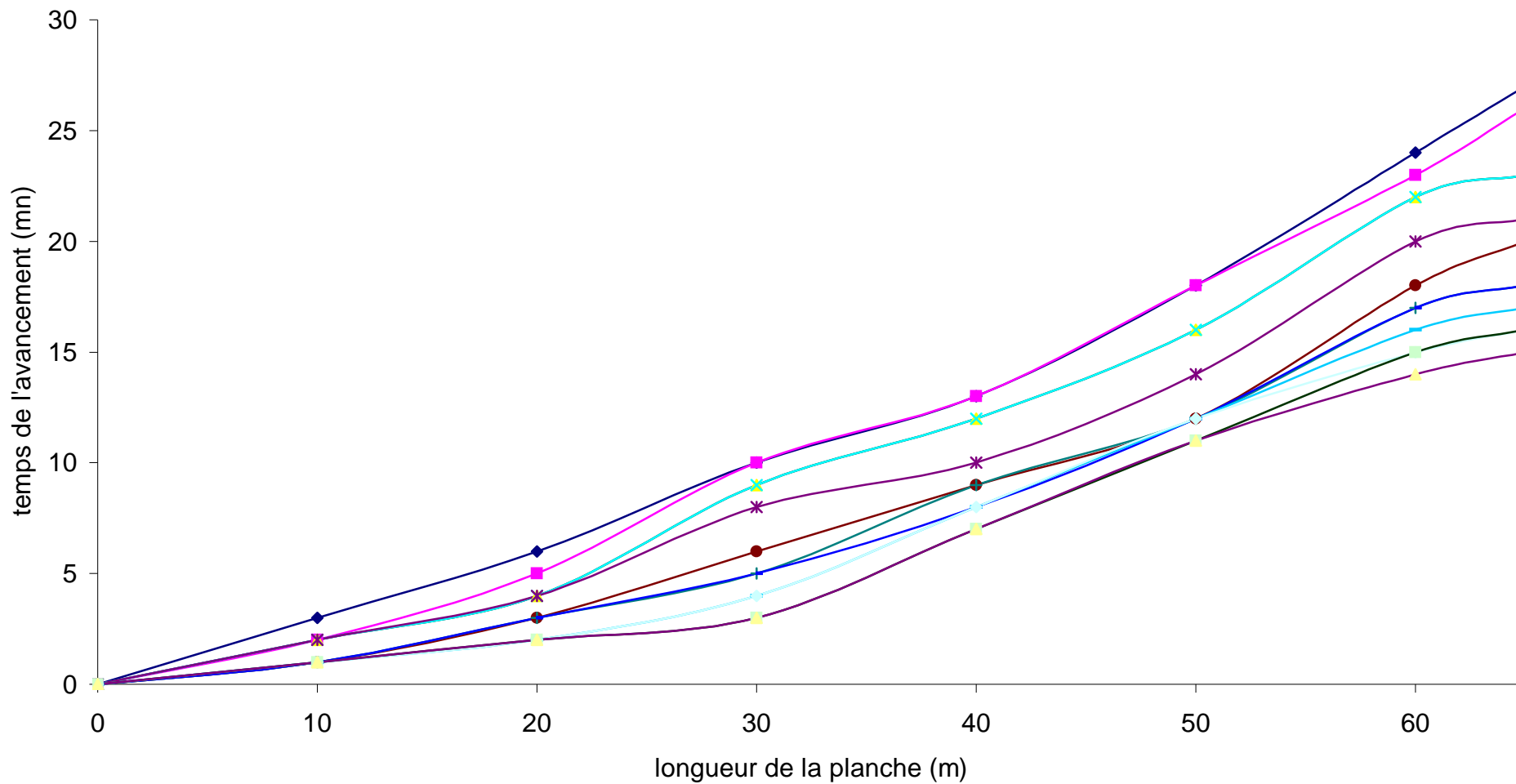


FIGURE III-1-4 : AVANCEMENT DE L'EAU DANS LA PLANCHE N°4
Q=5l/s/m L=65m

- ◆ arrosage 1 ■ arrosage 2 ▲ arrosage 3 ✕ arrosage 4 * arrosage 5 ● arrosage 6 + arrosage 7
- arrosage 8 — arrosage 9 — arrosage 10 — arrosage 11 — arrosage 12

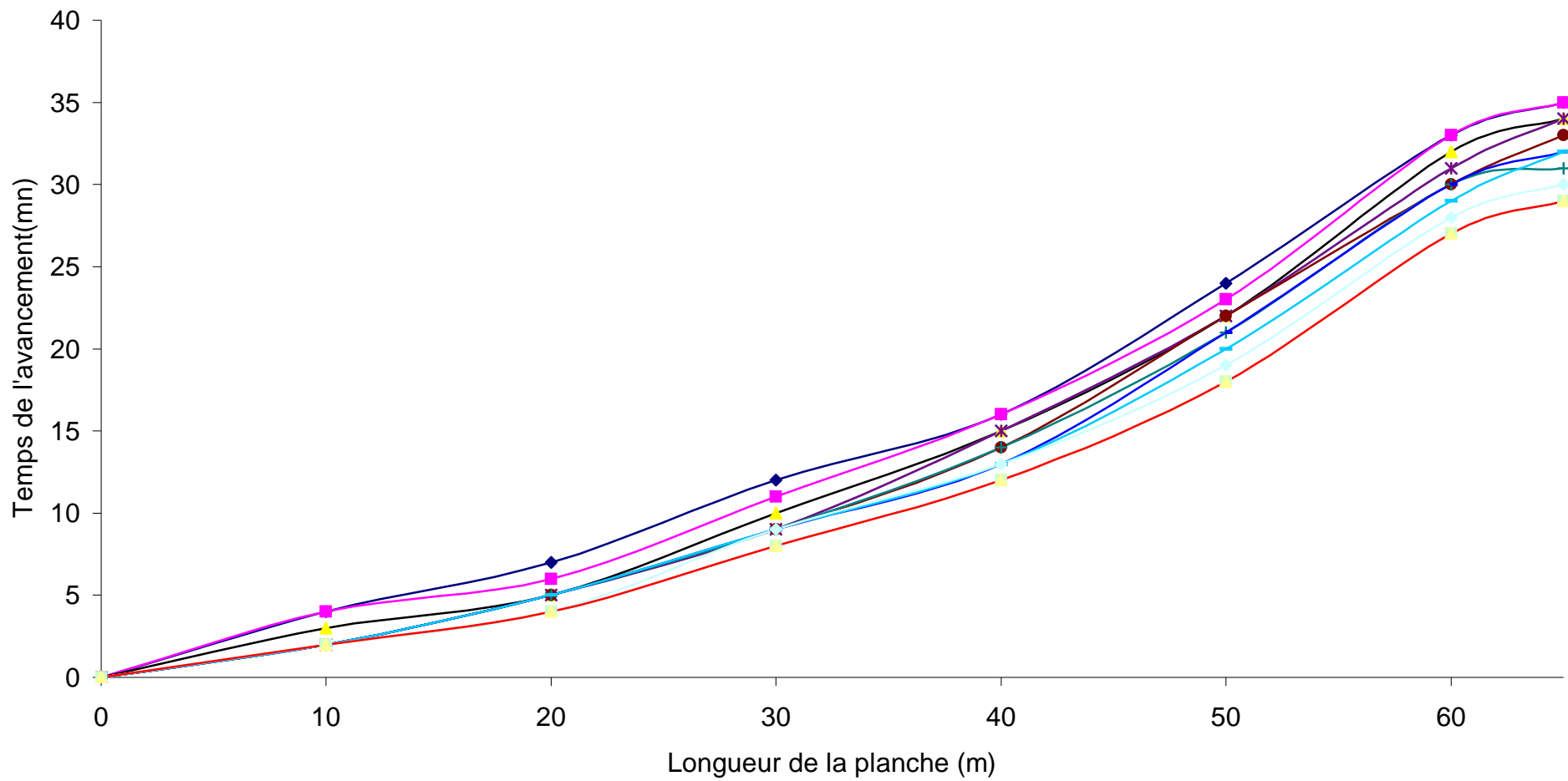


FIGURE III-1-5: AVANCEMENT DE L'EAU DANS LA PLANCHE N°5
 $Q=2l/s/m$ $L=65m$

- ◆ arrosage 1
- arrosage2
- ▲ arrosage3
- ✧ arrosage4
- ✱ arrosage5
- arrosage6
- + arrosage7
- arrosage8
- arrosage9
- ◇ arrosage10
- arrosage11
- ▲ arrosage12

III-1-2 – Stockage superficiel :

Pour estimer le volume du stockage d'après les équations II-9 et II-9b, il est nécessaire de déterminer les paramètres λ et n . Le problème du calcul de λ réside dans la détermination du coefficient de rugosité n que l'on détermine d'abord d'après l'équation de Manning et Strickler (II-10).

Tableau III-3 : coefficient de rugosité n et coefficient λ pour les différentes planches P et pour chaque arrosage A.

N°	P2 A1	P3 A1	P4 A1	P5 A1	P2 A2	P3 A2	P4 A2	P5 A2	P1 A3	P2 A3	P3 A3	P4 A3	P5 A3
n	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	357	357	295	233	247	247	236	233	152	152	152	181	233
	0	0	8	0	0	0	8	0	6	6	6	3	0
Λ	40.	40.	30.	12.	30.	30.	26.	12.	21.	21.	21.	17.	12.
	430	730	808	867	850	850	039	867	440	440	440	047	867

Les valeurs de V_s sont portées sur le tableau III-4

III-1-3- Volumes infiltrés cumulés

Les volumes pendant la phase de l'avancement se déduisent des mesures de volumes cumulés écoulés en colature et des volumes stockés en surface.

On détermine ces volumes cumulés infiltrés à l'aide de l'équation du bilan en volume (II-11)

Tableau III-4 : Volumes infiltrés V_i pendant la phase de l'avancement en fonction des volumes stockés estimés V_s , et des volumes entrés V_e .

P3 A1 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	407.30	814.60	1221.90	1629.20	2036.50	2443.80	2647.45
V_e (l)	720.00	1440.00	2880.00	3960.00	5760.00	7200.00	7920.00
V_i (l)	312.70	625.40	1658.10	2330.80	3723.50	4756.20	5272.55
P3 A2 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	308.50	617.00	925.50	1234.00	1542.50	1851.00	2005.25
V_e (l)	360.00	720.00	1440.00	2520.00	3600.00	4680.00	5400.00
V_i (l)	51.50	103.00	514.50	1286.00	2057.50	2829.00	3394.75
P3 A3 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	214.40	428.80	642.200	857.60	1072.00	1286.00	1396.00
V_e (l)	360.00	720.00	1080.00	1800.00	2520.00	3960.00	4680.00
V_i (l)	145.60	291.20	436.80	942.40	1448.00	2673.00	3286.40
P5 A1 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	128.70	257.40	386.60	514.80	643.35	772.02	836.35
V_e (l)	240.00	600.00	1200.00	1800.00	2760.00	3960.00	4200.00
V_i (l)	111.30	342.60	813.40	1285.20	2116.60	3187.90	3363.65
P5 A2 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	128.70	257.40	386.60	514.80	643.35	772.02	836.35
V_e (l)	240.00	600.00	1080.00	1800.00	2640.00	3600.00	3960.00
V_i (l)	111.30	342.60	693.40	1285.20	1996.60	2827.9	3123.60
P5 A3 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	128.70	257.40	386.60	514.80	643.35	772.02	836.35
V_e (l)	240.00	480.00	840.00	1440.00	2160.00	3240.00	3480.00
V_i (l)	111.30	222.60	453.40	925.20	1516.60	2467.90	2643.64
P4 A1 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	308.08	616.16	924.40	1232.32	1540.40	1848.48	2002.52
V_e (l)	600.00	1200.00	2700.00	3600.00	5100.00	6900.00	7800.00
V_i (l)	291.92	583.84	1774.76	2367.68	3596.60	5051.52	5797.48
P4 A2 X(m)	10	20	30	40	50	60	65
V_s (l)	260.39	520.78	781.17	1041.56	1301.95	1562.34	1692.54
V_e (l)	300.00	900.00	1800.00	2700.00	3900.00	5100.00	5700.00
V_i (l)	39.61	379.22	1018.83	1658.44	2598.05	3537.60	4007.46

Suite du tableau III-4 : Volumes infiltrés V_i pendant la phase de l'avancement en fonction des volumes stockés estimés V_s , et des volumes entrés V_e .

P4 A3 X(m)	10	20	30	40	50	60	65		
V_s (l)	170.05	340.94	511.41	681.88	852.35	1022.82	1108.05		
V_e (l)	300.00	600.00	1200.00	2400.00	3600.00	4500.00	4800.00		
V_i (l)	129.95	259.04	688.59	1718.12	2747.65	3477.18	3691.94		
P2 A1 X(m)	10	20	30	40	50				
V_s (l)	407.30	814.60	1221.90	1629.20	2036.50				
V_e (l)	1080.00	1440.00	2520.00	3600.00	5400.00				
V_i (l)	672.70	625.40	1298.00	1970.80					
P2 A2 X(m)	10	20	30	40	50				
V_s (l)	308.50	617.00	925.50	1234.00	1542.50				
V_e (l)	360.00	720.00	1440.00	2520.00	3600.00				
V_i (l)	51.50	103.00	514.50	1286.00	2057.50				
P2 A3 X(m)	10	20	30	40	50				
V_s (l)	214.40	428.80	643.20	857.60	1072.00				
V_e (l)	360.00	720.00	1080.00	1800.00	2880.00				
V_i (l)	145.60	291.20	436.80	942.40	1808.00				
P1 A3 X(m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
V_s (l)	214.4	428.8	643.20	857.60	1072.0	1286.4	1500.8	1715.2	1929.6
V_e (l)	360.0	720.0	1080.0	2160.0	2880.0	4320.0	6120.0	8280.0	11520.
V_i (l)	145.6	291.2	436.8	1302.4	1808.0	3033.6	4619.2	6564.8	9590.4

III-1-4 Coefficients de la loi d'infiltration

Les valeurs de K et a de la loi de Kostiakov (II-12) se calculent à partir des équations (II-20) et (II-21).

Tableau III-5 : paramètres a et K de la loi d'infiltration

	Octobre				Novembre				Décembre				
Planche	2-1	3-1	4-1	5-1	2-2	3-2	4-2	5-2	1-3	2-3	3-3	4-3	5-3
Ql/s/m	6	6	5	2	6	6	5	2	6	6	6	5	2
L m	50	65	65	65	50	65	65	65	90	50	65	65	65
L/2m	30	30	30	30	30	30	30	30	40	30	30	30	30
tav L	15	22	26	35	10	15	19	33	32	8	13	16	29
t _{av} l/2	7	8	9	10	4	4	6	9	6	3	3	4	7
V _L l	336 3.5	527 2.5 5		336 3.6 4	205 7.5	339 4.7 2		312 3.6	959 0.4	180 8	328 6.4		264 3.6 4
V _{L/2} l	129 8.1 0	165 8.1 0		813 .40	514 .50	514 .50		693 .40	130 2.4 0	436 .80	436 .80		453 .40
R	0.6 704 4	0.7 321 0	0.6 559 0	0.6 172 0	0.5 574 0	0.5 850 0	0.6 707 0	0.5 951 0	0.4 846 0	0.5 208 0	0.5 279 0	0.5 577 0	0.5 439 0
A	67. 270 0	86. 650 0	89. 192 0	51. 758 4	41. 150 0	52. 227 0	61. 650 0	48. 056 0	106 .56 0	36. 160 0	45. 020 0	56. 799 0	
B	43. 270 0	55. 270 0	59. 192 0	27. 132 9	17. 150 0	17. 150 0	33. 961 0	23. 132 9	32. 560 0	14. 560 0	14. 560 0	22. 913 0	15. 133 0
A	0.0 578 9	0.4 300 0	0.3 800 0	0.5 154 0	0.8 420 0	0.6 532 0	0.5 171 7	0.5 627 0	0.7 080 0	0.9 270 0	0.7 717 0	0.6 536 0	0.6 961 0
K l/m/mn ^a	19. 870	30. 178	33. 090	11. 180	8.2 542	12. 573	18. 360	9.1 930	12. 559	7.8 460	8.8 980	12. 937	5.4 900

III-2- ETUDE DU MODELE MATHEMATIQUE

les paramètres nécessaires pour développer le modèle et tester sa capacité de prédiction :

- 1- Le débit entrant unitaire : $Q= 2,5$ et $6l/s/m$.
- 2 - La longueur de la planche $L(m)$: 50, 65 et 90m et la largeur $B(m)$: 1m
- 3 – La profondeur d_n (mm) de l'eau exigée dans la zone racinaire des plantes:
 $280m^3/j/ha$;
- 4 - La durée de l'alimentation t_{irr} : Ce paramètre est calculé d'après l'équation (II-25) :

Les résultats le temps d'irrigation pour chaque longueur et chaque débit, c'est à dire pour les cinq types de planches expérimentales, et portés sur le tableau (III-6)

Tableau N° III-6 : temps d'irrigation

Q (l/s/m)	6	6	6	5	2
L_p (m)	65	50	90	65	65
T_{irr} (mn)	40.45	31.12	56.00	48.50	121.00

5 - La pente du fond de la planche S_0 : la pente du fond de la planche dans le sens de l'écoulement a été choisie constante pour toutes les planches et égale à 0.001, et celle dans le sens transversale nulle.

6 - L'écartement E (m) entre les planches : Sur le terrain nous avons façonné les planches espacées de 8m (c'est la valeur de l'écartement entre les palmiers existants sur la parcelle), seulement le modèle considère pour les calculs l'écartement égal à 1m [34].

III-2-1 : Etude de la phase de l'avancement

L'avancement est déterminé en fonction du temps observé pour chaque type de planche, en appliquant l'équation I-19. Pour cela, il est nécessaire de déterminer les paramètres b , α et h_0 d'après respectivement (I-14), (I-16) et (I-17)

Tableau III-7 : Tableau récapitulatif des paramètres de l'avancement.

P-A	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2	5-3
a	0.7 080	0.5 789	0.4 200	0.9 270	0.4 300	0.6 532	0.7 717	0.3 800	0.5 171	0.6 536	0.5 154	0.5 563	0.6 961
n	0.01 52	0.03 57	0.02 47	0.01 52	0.03 57	0.02 47	0.01 52	0.02 958	0.02 368	0.01 813	0.02 33	0.02 33	0.02 33
b	0.6 539	0.7 060	0.6 034	0.5 573	0.7 700	0.6 750	0.6 290	0.7 930	0.7 330	0.6 755	0.7 340	0.7 13	0.6 580
h0	0.0 30	0.0 50	0.0 40	0.0 30	0.0 50	0.0 40	0.0 30	0.0 40	0.0 35	0.0 30	0.0 20	0.0 20	0.0 20
α	0.6 00	0.6 00	0.6 25	0.6 70	0.6 00	0.6 00	0.6 00	0.5 50	0.5 70	0.6 00	0.6 00	0.6 00	0.6 00

Les valeurs de l'avancement S sont portées sur le tableau IV-1. On porte ensuite ces valeurs sur le graphe (IV-1) pour comparer les valeurs observées sur terrain et les valeurs calculées.

III-2- : Etude de la phase de stockage

En appliquant l'équation I-21, on détermine la hauteur d'eau infiltrée que l'on récapitule sur le tableau III-8. Puis on trace les épures des humidités pour chaque planche. (figures III-1-6).

Tableau III-8 : Hauteurs d'eau infiltrées prédites

Planche 1 ; L=90m ; Q=6l/s/m ; Décembre : $t_{irr}=88mn$; $a=0.708$ et $K=12.559l/m/mn^a$.										
X (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_{av} (mn)	0	1	2	3	6	8	12	17	23	32
H (mm)	37.37	37.36	37.34	37.27	37.01	36.81		34.18	31.67	27.10
Planche 2 L=50m Q=6l/s/m										
Oct $t_{irr}=47mn$ A=0.578 K=19.87	X (m)	0	10	20	30	40	50			
	t_{av} (mn)	0	3	4	7	10	15			
	H (mm)	22.99	22.95	22.80	22.25	21.09	18.41			
Nov $t_{irr}=42mn$ A=0.842 K= 8.2542	X (m)	0	10	20	30	40	50			
	t_{av} (mn)	0	1	2	4	7	10			
	H (mm)	24	23.99	23.91	23.59	22.71	19.09			
Déc $t_{irr}=40mn$ A=0.927 K=7.846	X (m)	0	10	20	30	40	50			
	t_{av} (mn)	0	1	2	3	5	8			
	H (mm)	29.97	29.94	29.74	29.21	27.73	24.37			
Planche 3 L=65m Q=6l/s/m										
Oct $t_{irr}=63mn$ A=0.43 K=30.178	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	2	4	8	11	16	20	22	
	H mm	22.40	22.39	22.34	22.13	21.73	20.83	19.51	18.62	
Nov $t_{irr}=56mn$ A=0.6532 K= 12.573	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	1	2	4	7	10	13	15	
	H mm	21.79	21.78	21.74	21.54	21.10	20.23	18.84	17.77	
Déc $t_{irr}=54mn$ A=0.7717 K=8.898	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	1	2	3	5	7	11	13	
	H mm	24.16	24.15	24.09	23.93	23.49	22.7	20.84	19.53	
Planche 4 L=65m Q=5l/s/m										
Oct $t_{irr}=75mn$ A=0.38 K=33.09	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	2	4	9	12	17	23	26	
	H mm	21.336	21.33	21.29	21.12	20.818	20.16	18.89	18.15	
Nov $t_{irr}=68mn$ A=0.5171 K= 18.36	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	1	3	6	9	13	17	19	
	H mm	20.34	20.33	20.29	20.13	19.79	19.09	17.94	17.17	
Déc $t_{irr}=64mn$ A=0.6532 K=12.937	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	1	2	4	8	12	15	16	
	H mm	24.50	24.49	24.45	24.28	23.72	22.66	21.13	20.30	
Planche 5 L=65m Q=2l/s/m										
Oct $t_{irr}=156$ A= K=	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	2	5	10	15	23	33	35	
	H mm	18.866	18.863	18.836	18.80	18.50	17.98	17.01	16.55	
Nov $t_{irr}=154$	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	2	5	9	15	22	30	33	

A=0.5627 K= 9.193	H mm	19.56	19.55	19.52	19.41	19.14	18.59	17.64	17
Déc t _{irr} =150 A=0.6961 K=5.49	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65
	t _{av} mn	0	2	4	7	12	19	27	29
	H mm	22.45	22.44	22.41	22.29	21.97	21.25	19.98	19.33

Les épures III-1-6 montrent que les hauteurs d'eau diminuent de l'amont à l'aval ; la meilleure répartition des eaux d'irrigation est constatée lorsque la différence entre la hauteur à l'amont H_{am} et la hauteur à l'aval H_{av} est faible. Les résultats sont donnés dans le tableau III-9.

Tableau III-9 : différence entre hauteurs d'eau à l'amont et hauteurs d'eau à l'aval de chaque planche

OCTOBRE					
Débit l/s/m	Longueur m	Temps mn	$H_{am} - H_{av}$ mm	$H_{am} - H_{av} \%$	$H_{am} - H_{av}/L$
6	50	47	4.580	19.20	0.0900
6	65	63	3.775	16.85	0.0580
5	65	75	3.186	14.93	0.0490
2	65	156	2.336	12.38	0.0359
NOVEMBRE					
Débit l/s/m	Longueur m	Temps mn	$H_{am} - H_{av}$ mm	$H_{am} - H_{av} \%$	$H_{am} - H_{av}/L$
6	50	42	4.91	20.45	0.0980
6	65	56	4.02	18.44	0.0618
5	65	68	3.17	15.58	0.0480
2	65	154	2.556	13.00	0.0390
DECEMBRE					
Débit l/s/m	Longueur m	Temps mn	$H_{am} - H_{av}$ mm	$H_{am} - H_{av} \%$	$H_{am} - H_{av}/L$
6	90	88	10.23	27.00	0.110
6	50	40	5.600	18.68	0.112
6	65	54	4.629	19.00	0.070
5	65	64	4.196	17.00	0.060
2	65	150	3.117	13.88	0.0479

Les épures III-1-6 et le tableau III-9 montrent :

- pour une longueur constante, la différence entre la hauteur à l'amont H_{am} et la hauteur à l'aval H_{av} est faible lorsque le débit est faible .
- pour un débit constant, la différence entre la hauteur à l'amont H_{am} et la hauteur à l'aval H_{av} est faible lorsque la longueur est faible

Mais, les valeurs des hauteurs d'eau prédites par ce modèle à l'aide du temps d'irrigation choisi (portées sur le tableau III-8) sont faibles par rapport à la dose

nécessaire qui est de 28mm. Nous devons donc redéterminer le temps d'irrigation de façon à avoir à l'aval 28mm. Pour cela appliquons la formule I-20b.

Les nouvelles valeurs du temps d'irrigation sont portées sur le tableau III-10.

Tableau III-10 : Temps d'irrigation nécessaire

Mois	OCTOBRE				NOVEMBRE				DECEMBRE				
L m	50	65	65	65	50	65	65	65	90	50	65	65	65
Q l/s/m	6	6	5	2	6	6	5	2	6	6	6	5	2
t _{irr} -t _{av} mn	66. 09	105 .85	153 .34	335 .59	50.4 1	82.2 0	126. 15	291. 42	58. 52	37. 17	65. 37	78. 47	205 .99
t _{av} mn	15	22	26	35	10	15	19	33	32	8	13	13	29
t _{irr} mn	81. 09	127 .81	179 .34	370 .59	60.4 1	97.2 0	145. 15	324. 42	90. 52	45. 17	78. 37	94. 472	34. 99

Les nouvelles valeurs des hauteurs d'eau calculées à l'aide de ces temps d'irrigation sont portées dans le tableau III-11.

Les résultats des temps d'irrigation du tableau III-10 sont utilisés dans les expérimentations.

Tableau III-11 : Hauteurs d'eau infiltrées prédites temps d'irrigation du tableau III-9)

Planche 1 ; L=90m ; Q=6l/s/m ; Décembre : $t_{irr}=91mn$; $a=0.708$ et $K=12.559l/m/mn^a$.										
X (m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
t_{av} (mn)	0	1	2	3	6	8	12	17	23	32
H (mm)	38.27	38.27	38.26	38.20	37.91	37.52	36.65	35.11	32.63	28.16
Planche 2 L=50m Q=6l/s/m										
Oct $t_{irr}=82mn$ A=0.578 K=19.87	X (m)	0	10	20	30	40	50			
	t_{av} (mn)	0	3	4	7	10	15			
	H (mm)	31.72	31.71	31.57	31.14	30.09	28.22			
Nov $t_{irr}=61mn$ A=0.842 K= 8.2542	X (m)	0	10	20	30	40	50			
	t_{av} (mn)	0	1	2	4	7	10			
	H (mm)	32.87	32.85	32.72	32.21	30.82	28.05			
Déc $t_{irr}=46mn$ A=0.927 K=7.846	X (m)	0	10	20	30	40	50			
	t_{av} (mn)	0	1	2	3	5	8			
	H (mm)	34.11	34.08	33.89	33.36	31.90	28.57			
Planche 3 L=65m Q=6l/s/m										
Oct $t_{irr}=128m$ A=0.43 K=30.178	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	2	4	8	11	16	20	22	
	H mm	30.68	30.67	30.35	300.2 1	29.95	29.38	28.56	28.02	
Nov $t_{irr}=98mn$ A=0.6532 K= 12.573	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	1	2	4	7	10	13	15	
	H mm	31.40	31.39	31.36	31.22	30.85	30.14	29.03	28.18	
Déc $t_{irr}=79mn$ A=0.7717 K=8.898	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	1	2	3	5	7	11	13	
	H mm	32.40	32.39	32.34	32.06	31.80	30.69	29.39	28.20	
Planche 4 L=65m Q=5l/s/m										
Oct $t_{irr}=180$ A=0.38 K=33.09	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	2	4	9	12	17	23	26	
	H mm	21.336	21.33	21.29	21.12	20.818	20.16	18.89	18.15	
Nov $t_{irr}=145$ A=0.5171 K= 18.36	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65	
	t_{av} mn	0	1	3	6	9	13	17	19	
	H mm	30.09	30.08	30.05	29.95	29.71	29.24	28.49	27.98	

Déc $t_{irr}=95mn$ $A=0.6532$ $K=12.937$	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65
	t_{av} mn	0	1	2	4	8	12	15	16
	H mm	31.72	31.71	31.68	31.53	31.05	30.14	28.78	28.12
Planche 5 L=65m Q=2l/s/m									
Oct $t_{irr}=371$ $A=0.5154$ $K=11.18$	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65
	t_{av} mn	0	2	5	10	15	23	33	35
	H mm	29.49	29.48	29.46	29.40	29.25	28.92	28.31	28.02
Nov $t_{irr}=325$ $A=0.5627$ $K=9.193$	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65
	t_{av} mn	0	2	5	9	15	22	30	33
	H mm	29.77	29.76	29.74	29.67	29.47	29.09	28.42	28.03
Déc $t_{irr}=235$ $A=0.6961$ $K=5.49$	X (m)	0	10	20	30	40	50	60	65
	t_{av} mn	0	2	4	7	12	19		29
	H mm	30.68	30.67	30.65	30.55	30.27	29.65	28.56	28.00

III-3- 1-ETUDE DE L'UNIFORMITE DE LA REPARTITION DE L'HUMIDITE

Nous consacrons cette troisième partie, pour étudier la répartition de l'humidité dans le sol. Pour cela, il convient de déterminer sur terrain l'humidité en milieu des planches avant et après chaque arrosage. (Voir annexe 5).

Les valeurs des humidités nous permettent de vérifier si la répartition est uniforme ou pas et de déterminer les doses d'eau réellement infiltrées dans le sol. Ces dernières nous permettent de vérifier si la plante a reçu la dose nécessaire.

Les humidités avant et après chaque arrosage, pour chaque planche et pour chaque horizon sont portées sur les figures III-2.

ces graphiques montrent que pour chaque arrosage et chaque planche que:

- l'humidité décroît de l'amont à l'aval
- l'humidité décroît du niveau du sol vers la profondeur
- La différence entre l'humidité avant l'arrosage et l'humidité après l'arrosage est maximale pour le premier horizon et est minimale pour le dernier horizon.
- Cette différence décroît de l'amont à l'aval.
- Cette différence diminue peu pour le même horizon d'un arrosage à un autre.

III-3- 2- DETERMINATION DE LA RESERVE D'EAU RECUE

La réserve d'eau reçue dans le sol est égale à la différence entre la quantité d'eau contenue dans le sol après arrosage (W_{fin}) et la quantité d'eau contenue dans le sol avant arrosage (W_{ini})

$$R = \sum_{i=1}^3 D_{ai} H_i (h_{fin} - h_{ini}) \quad mm$$

$$R = W_{fin} - W_{in} \quad mm$$

Da → est la densité apparente déterminée au laboratoire pour les différents horizons
Hi (voir chapitre II-1-3-2)

H → est l'épaisseur de la couche active du sol (mm)

Les résultats des différences des humidités avant et après arrosage et les doses reçues déterminées d'après l'équation (III-2) sont portés sur le tableau III- 12

Tableau III- 12 : Résultats des différences entre les humidités avant irrigation et les humidité après irrigation d'après les expérimentations pour chaque horizons, et des doses reçues

PlancheN °1 Q= 1/s/m t _{irr} =91	x (m)	0	20	30	50	70	80	90
	0 ÷ 30cm	5.69	6.18	4.57	3.87	3.96	3.75	3.57
	30 ÷ 60cm	4.27	4.25	3.27	2.78	2.25	2.58	2.15
	60 ÷ 100cm	3.15	2.07	2.95	3.14	2.19	2.07	1.62
	Dose(mm)	49.45	46.16	41.12	37.83	31.95	31.77	27.57
PlancheN °3 Q=6 l/s/m t _{irr} =80mn	x (m)	0	10	20	30	40	50	65
	0 ÷ 30cm	4.05	4.14	4.06	3.28	3.79	3.25	3.80
	30 ÷ 60cm	3.06	3.37	2.29	3.10	2.75	2.69	2.86
	60 ÷ 100cm	2.05	1.72	1.88	1.45	1.97	1.59	1.63
	Dose(mm)	34.37	34.23	31.01	28.98	32.03	28.19	30.86
PlancheN °4 Q= 5l/s/m	x (m)	0	10	20	30	40	50	65
	0 ÷ 30cm	4.01	4.15	3.98	4.09	3.75	3.18	3.07
	30 ÷ 60cm	3.52	3.03	2.75	2.57	2.61	2.47	2.39
	60 ÷ 100cm	2.17	2.35	2.63	2.41	2.32	2.57	2.36

$t_{irr}=95mn$	Dose(mm)	36.36	36.02	35.29	34.55	33.01	31.56	30.03
PlancheN °5 Q=2 l/s/m	x (m)	0	10	20	30	40	50	65
	0 ÷ 30cm	4.89	4.75	4.81	4.71	4.29	3.95	3.86
	30 ÷ 60cm	3.09	2.85	2.69	2.57	2.61	2.27	2.08
	60 ÷ 100cm	2.19	2.67	1.81	1.85	1.72	1.97	1.57
$t_{irr}=4h$	Dose(mm)	40.04	39.03	34.72	34.15	32.17	30.97	28.08
PlancheN °2 Q=6 l/s/m	x (m)	0	10	20	30	40	50	
	0 ÷ 30cm	4.18	4.03	3.79	3.84	3.96	3.75	
	30 ÷ 60cm	3.31	3.29	2.95	2.06	2.12	2.18	
	60 ÷ 100cm	1.67	1.39	1.60	2.25	2.31	1.99	
$t_{irr}=50mn$	Dose(mm)	33.93	32.03	31.00	31.15	31.10	30.03	

on voit que les valeurs des doses reçues décroissent de l'extrémité amont à l'extrémité avale de la planche. la différence entre ces deux valeurs est variable.

- en faisant varier le débit à l'entrée de la planche de 2, 5 et 6l/s/m pour une longueur constante de la planche égale à 65m, cette différence est importante dans le cas du plus faible débit(2l/s/m)
- en faisant varier la longueur de la planche de 50, 65 et 90m pour un débit constant de 6l/s/m, cette différence est importante dans le cas de la plus grande longueur.
- D'ou, d'après ces deux cas , nous pouvons conclure que cette différence est importante dans le cas de la plus grande longueur et plus faible débit.

CONCLUSION DU CHAPITRE III

L'étude de l'avancement de l'eau le long de la planche nous a permis de déterminer la loi de l'infiltration de Kostiakov qui est nécessaire pour le développement du modèle mathématique. Par ailleurs les graphes de l'avancement montrent que le temps de l'avancement diminue après chaque arrosage.

Le développement du modèle nous a permis de déterminer les hauteurs d'eau infiltrées. Les épures de ces dernières montrent que les hauteurs d'eau diminuent de l'amont à l'aval ; la meilleure irrigation et répartition est lorsque la différence entre la hauteur d'eau infiltrée à l'amont H_{am} et la hauteur d'eau infiltrée à l'aval H_{av} est faible. Les épures montrent aussi que plus le débit est faible pour une longueur constante et plus la longueur est faible pour un débit constant mieux est la répartition de l'infiltration.

Les expérimentations sur terrain ont montré que la meilleure répartition est dans le cas des planches courtes avec un débit important.

Nous allons dans le chapitre suivant comparer les résultats prédits par le modèle et ceux observés sur terrain.

CHAPITRE IV : INTERPRETATION DES RESULTATS

Après avoir déterminé l'infiltration, nous nous proposons de faire une évaluation de la qualité des arrosages ; puis de comparer les valeurs observées (sur terrain) et les valeurs calculées (à l'aide du modèle) de l'avancement et des doses d'eau infiltrées, pour conclure la performance du modèle choisi.

IV-1 : EVALUATION DE LA QUALITE DES ARROSAGES

Ayant déterminé à l'aide de la méthode du bilan en volume l'infiltration, donnons un aperçu sommaire sur la qualité des arrosages suivis une fois par semaine pendant toute la durée de l'expérimentation.

Les paramètres de la qualité hydraulique des arrosages retenus sont :

le rendement hydraulique : (R)

le coefficient d'uniformité : (Cu)

les pertes par infiltration en profondeur : (Pi)

Les paramètres R, Cu et Pi sont fonction de la dose brute ou dose moyenne apportée (d_a), de la dose moyenne infiltrée (d_i) et de la dose nette infiltrée (d_n)

IV-1-1- Doses d'arrosage

$$d_a = \frac{Q \cdot t_{irr}}{L} \quad (l/m) \quad (IV-1)$$

- la dose brute ou dose moyenne apportée est définie par l'équation (IV-1) :

Q → est le débit à l'entrée de la planche (en l/mn/m)

t_{irr} → est la durée de l'arrosage ou irrigation (en mn)

L → est la longueur de la planche (en m)

Les valeurs de la dose d_a sont portées sur le tableau IV-1

- La dose moyenne infiltrée est définie par l'équation (IV-2) :

$$d_i = \left(K t_{irr}^a \right) \left(1 - \frac{r}{r+1} \cdot \frac{t_{av}}{t_{irr}} \right) + K \frac{r^2}{1+r} \cdot \frac{t_{av}}{t_{irr}} \quad (l/m) \quad (IV-2)$$

a et k → sont les coefficients de la loi d'avancement

r → est le coefficient puissance de la loi de l'avancement

t_{av} → est la durée de la phase de l'avancement (en mn)

t_{irr} → est la durée de l'arrosage ou irrigation (en mn)

Les valeurs de la dose d_i sont portées sur le tableau IV-1

- La dose nette infiltrée correspondante à la phase d'infiltration (c-a-d entre la fin de la phase d'avancement t_{av} et l'arrêt de l'alimentation en tête t_{irr}) à l'extrémité avale (endroit qui est théoriquement le moins arrosée). Cette valeur doit être égale à la dose à apporter pour alimenter correctement la plante et qui constitue ce qu'on appelle la dose nette (cette dose a été déterminée dans le paragraphe III-2 égale à $280m^3/ha$ ou 28mm). Classiquement, cette dose est celle qui recharge la réserve utile du sol, elle est donc déterminée comme suit :

$$d_n = K(t_{irr} - t_{av})^a \quad (l/m) \quad (IV-3)$$

t_{av} → est la durée de la phase de l'avancement (en mn)

t_{irr} → est la durée de l'arrosage, que l'on détermine donc pour chaque planche de façon à avoir à l'extrémité avale la dose nette d_n égale à 28mm.

Les valeurs de la dose d_n sont portées sur le tableau IV-1

IV-1-2 Paramètres de la qualité hydraulique de l'arrosage

Les différentes doses d'arrosage déterminent les paramètres de la qualité hydraulique de l'arrosage :

- Le rendement hydraulique net est défini par :

$$R_n = \frac{d_n}{d_a} \quad \% \quad (IV-4)$$

- Le coefficient d'uniformité est défini par :

$$Cu = \frac{dn}{di} \% \quad (IV - 5)$$

$$PI = \frac{di - dn}{da} \% \quad (IV - 6)$$

- Les pertes par infiltration en profondeur Pi sont définies par :

Tableau IV-1 : principales caractéristiques des quatre arrosages mensuels, et paramètres de la qualité hydraulique pour les différentes planches.

mois N- P	Octobre				Novembre				Décembre				
	2	3	4	5	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Q l/s	6	6	5	2	6	6	5	2	6	6	6	5	2
L m	50	65	65	65	50	65	65	65	90	50	65	65	65
n	0.0 357	0.0 357	0.0 295	0.0 233	0.0 247	0.0 247	0.0 236	0.0 233	0.0 233	0.0 156	0.0 156	0.0 181	0.0 233
a	0.5 789	0.4 300	0.3 865	0.5 154	0.8 420	0.6 532	0.5 172	0.5 627	0.7 080	0.7 717	0.9 270	0.6 536	0.6 961
K _m / mm ^a	19. 87	30. 178	33. 09	11. 18	8.2 542	12. 573	18. 360	9.1 93	12. 559	7.8 46	8.8 98	12. 937	5.4 90
r	0.6 704	0.7 321	0.6 559	0.6 172	0.5 574	0.5 850	0.6 707	0.5 951	0.4 846	0.5 208	0.5 279	0.5 577	0.5 439
t _{av}	15	22	26	35	10	15	19	33	32	8	13	16	29
t _{irr}	82	128	180	371	61	88	145	325	91	46	79	95	235
d _a l/m	590 .00	708 .90	830 .76	684 .92	439 .20	487 .38	669 .23	607 .38	364 .00	331 .20	437 .52	438 .46	433 .85
d _a mm	73. 80	88. 61	103 .84	76. 00	54. 90	60. 92	83. 65	75. 92	45. 50	41. 40	54. 69	54. 80	54. 23
d _i l/m	252 .73	231 .32	239 .56	229 .78	249 .21	240 .31	231 .50	231 .84	278 .40	269 .65	246 .59	241 .75	236 .40
d _i mm	31. 59	28. 91	29. 94	28. 72	31. 15	30. 04	28. 94	28. 98	34. 76	33. 70	30. 82	30. 22	29. 55
d _n l/m	226 .63	224 .17	224 .36	224 .14	226 .17	207 .28	223 .97	224 .25	225 .27	228 .62	225 .65	224 .97	224 .00
d _n mm	28. 33	28. 02	28. 05	28. 02	28. 27	25. 91	27. 99	28. 03	28. 16	28. 57	28. 21	28. 12	28. 00

R %	38. 41	31. 62	27. 01	32. 72	51. 49	42. 53	33. 47	36. 92	61. 89	69. 00	51. 57	51. 31	51. 63
Cu%	89. 67	96. 91	93. 65	97. 54	90. 75	86. 25	96. 75	96. 73	80. 99	84. 79	91. 51	93. 05	94. 75
P _i %	4.4 2	1.0 1	1.8 3	0.0 8	5.2 5	6.7 7	1.1 2	1.2 5	14. 52	12. 39	4.7 9	3.8 3	2.8 6

- le rendement R dont l'objectif est d'économiser l'eau est moyen 45%,
- le coefficient d'uniformité Cu est important 92% , la répartition de l'eau infiltrée est donc bonne et l'humectation est relativement uniforme le long de la planche.
- **les pertes par infiltration Pi sont minimales 5.26%.**
D'après les résultats obtenus, nous pouvons conclure que la conduite de l'irrigation est bonne.

IV-2 : COMPARAISON ENTRE VALEURS CALCULEES ET VALEURS OBSERVEES

IV-2-1 : Etude de l'avancement

Comparons les résultats observés sur terrain X et les résultats obtenus à l'aide du modèle mathématique S, en calculons l'erreur absolue et l'erreur relative.

-
- l'erreur absolue AAE_i pour chaque point est déterminée comme suit:

$$AAE_i (m) = | \text{valeur observée} - \text{valeur calculée} | \quad (IV-7)$$

$$ARE_i (\%) = \frac{\text{valeur observée} - \text{valeur calculée}}{\text{valeur observée}} \quad (IV-8)$$

- l'erreur relative ARE_i pour chaque point est déterminée comme suit:

Les résultats de AAE_i et ARE_i en chaque point pour chaque planche P_i et pour chaque arrosage A_i sont donnés sur le tableau IV-2.

Déterminons l'erreur absolue moyenne AAE et l'erreur relative moyenne ARE pour chaque planche et chaque arrosage que l'on récapitule sur le tableau IV-3.

Tableau IV-3.valeurs de AAE et ARE

P_i-A_i	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	4-1	4-2	4-3	5-1	5-2	5-3
AAE	1.52	1.45	1.33	3.08	1.15	1.30	1.39	1.72	2.34	2.27	0.63	0.59	1.34
ARE	5.30	9.35	5.42	3.65	4.01	4.88	8.17	5.87	3.30	6.43	1.53	2.11	5.68

L'erreur absolue moyenne AAE(m) et l'erreur relative moyenne ARE(%) pour l'ensemble des planches et arrosage sont donc :

$$ARE(\%) = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} |ARE_i| = 5.05\%$$

$$AAE=1.54 \text{ m}$$

Nous pouvons conclure que le modèle a prédit la fonction de l'avancement logiquement correcte, avec une erreur moyenne de prédiction 5% pour les 87 points d'observations($5 \times 3 + 7 \times 9 + 9$).

Tableau IV-2 : valeurs de l'avancement calculées et observées, et erreurs absolues et relatives en chaque point.

Planche1-arrosage3

t_{av} (mn)	1	2	3	6	8	12	17	23	32
S (m)	12.0	21.09	27.43	41.09	47.92	58.78	69.30	79.35	91.39
X (m)	10	2	030	40	50	60	70	80	90
AAE(m)	2.00	1.09	2.57	1.09	2.08	1.22	0.70	0.65	1.39
ARE %	20	5.45	8.57	2.72	4.16	2.03	1.00	0.81	1.54

Planche2-arrosage1

t_{av} (mn)	2	4	7	11	15
S (m)	13.29	21.47	30.85	40.68	49
X (m)	10	20	30	40	50
AAE(m)	3.29	1.47	0.85	0.68	1.00
ARE %	32..90	7.35	2.80	1.70	2.00

Planche2-arrosage2

t_{av} (mn)	1	2	4	7	10
S (m)	10.80	18.18	28.71	39.62	47.62
X (m)	10	20	30	40	50
AAE(m)	0.80	1.82	1.29	0.38	2.38
ARE %	8.00	9.10	4.30	0.95	4.76

Planche2-arrosage3

t _{av} (mn)	1	2	3	5	8
S (m)	15.50	21.46	27.60	36.45	45.30
X (m)	10	20	30	40	50
AAE(m)	5.55	1.67	2.40	3.55	4.70
ARE %	55.00	8.35	8.00	8.87	9.40

Planche3-arrosage1

t _{av} (mn)	2	4	8	11	16	20	22
S (m)	11.90	20.00	32.72	40.64	52.20	60.42	64.65
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	1.90	0.00	2.72	0.67	2.20	0.42	0.35
ARE %	19.00	0.00	9.07	1.67	4.00	0.70	0.50

Planche3-arrosage2

t _{av} (mn)	1	3	4	7	10	15	17
S (m)	60.39	23.39	28.34	40.28	49.70	62.36	66.73
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	0.39	3.39	1.66	0.28	0.30	2.36	1.73
ARE %	3.90	16.90	5.53	0.70	0.60	3.93	2.66

Planche3-arrosage3

t _{av} (mn)	1	2	3	5	7	11	13
S (m)	13.26	22.65	29.50	39.97	48.10	60.46	65.45
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	3.76	2.65	0.50	0.03	0.90	0.46	0.45
ARE %	37.00	13.25	1.67	0.075	3.80	0.77	0.69

Suite du tableau IV-2 : valeurs de l'avancement calculées et observées, et erreurs absolues et relatives en chaque point.

Planche4-arrosage1

t _{av} (mn)	2	4	9	12	17	23	26
S (m)	11.19	18.66	33.65	40.80	50.77	61.95	67.00
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	1.19	1.34	3.65	0.20	1.77	1.95	2.00
ARE %	11.90	6.70	12.16	0.50	3.54	3.25	3.07

Planche4-arrosage2

t _{av} (mn)	1	3	6	9	13	17	19
S (m)	8.81	19.72	31.39	40.63	50.95	59.95	63.90
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	1.19	0.28	1.39	0.63	0.95	0.16	1.10
ARE %	11.90	1.40	4.60	1.57	1.90	0.27	1.69

Planche4-arrosage3

t _{av} (mn)	1	2	4	8	12	15	16
S (m)	10.59	17.45	27.40	41.22	51.39	57.74	59.66
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	0.59	2.55	2.60	1.22	1.39	2.26	5.34
ARE %	5.90	12.75	8.60	3.05	2.78	3.76	8.20

Planche5-arrosage1

t _{av} (mn)	2	5	10	16	23	33	35
S (m)	10.05	19.21	30.19	40.37	50.16	61.89	64.00
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	0.05	0.79	0.19	0.37	0.16	1.89	1.00
ARE %	0.50	3.95	0.63	0.92	0.32	3.15	1.53

Planche5-arrosage2

t _{av} (mn)	2	5	9	15	22	30	33
S (m)	10.70	20.38	29.67	40.35	50.32	59.84	63.05
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	0.70	0.38	0.33	0.35	0.32	0.16	1.95
ARE %	7.00	1.90	1.10	0.87	0.64	0.27	3.00

Planche5-arrosage3

t _{av} (mn)	2	4	7	12	19	27	29
S (m)	12.42	20.14	28.63	39.00	49.69	59.13	61.19
X (m)	10	20	30	40	50	60	65
AAE(m)	2.42	0.14	1.37	1.00	0.31	0.87	3.81
ARE %	24.20	0.70	4.57	2.50	0.51	1.45	5.86

Nous remarquons sur le tableau IV-2 que les plus grandes valeurs de la ARE sont habituellement au commencement de la phase de l'avancement.

IV-2-2 : Etude du stockage

Déterminons les erreurs absolues AAE_i (mm) et les erreurs relatives ARE_i (%) des doses infiltrées pour tous les points des cinq planches expérimentales que l'on récapitule sur le tableau IV-5.

La AAE moyenne et la ARE moyenne pour chaque planche, sont portées sur le tableau IV-4.

Tableau IV-4 : détermination des erreurs relatives et des erreurs absolues moyennes.

Planche N°	1	2	3	4	5
AAE (mm)	3.81	1.59	1.93	2.99	4.09
ARE (%)	8.85	5.1	6.32	8.68	11.06

Donc la AAE = 2.89mm et la ARE = 8%

Nous pouvons conclure aussi que le modèle a calculé la dose infiltrée correctement, avec une erreur moyenne de prédiction 8% pour l'ensemble des cinq planches.

Tableau IV-5 : valeurs des doses infiltrées calculées et observées, et des erreurs absolues et relatives en chaque point.

Planche 1 : $Q = 6\text{l/s/m}$ $L = 90\text{m}$ $t_{\text{irr}} = 91\text{mn}$							
X (m)	0	20	30	5	70	80	90
d_{cal} (mm)	38.27	38.26	38.23	38.21	35.11	32.63	28.15
d_{ob} (mm)	49.45	46.13	41.12	37.83	31.95	31.77	27.57
AAE mm	10.98	7.87	2.89	0.38	3.16	0.86	0.58
ARE %	22.20	17.06	7.03	1.00	9.89	2.70	2.10
Planche 2 : $Q = 6\text{l/s/m}$ $L = 50\text{m}$; $t_{\text{irr}} = 46\text{mn}$							
X (m)	0	10	20	30	40	50	
d_{cal} (mm)	34.11	34.08	33.89	33.36	31.90	28.57	
d_{ob} (mm)	33.93	32.06	31.00	31.15	31.10	30.03	
AAE mm	0.18	2.02	2.89	2.21	0.80	1.46	
ARE %	0.53	6.30	9.32	7.09	2.50	4.86	
Planche 3 : $Q = 6\text{l/s/m}$ $L = 65\text{m}$; $t_{\text{irr}} = 79\text{mn}$							
X (m)	0	10	20	30	40	50	65
d_{cal} (mm)	32.40	32.39	32.34	32.06	31.79	30.69	28.20

d_{ob} (mm)	34.37	34.23	31.08	28.98	32.03	28.19	30.86
AAE mm	1.97	1.84	1.26	3.08	0.24	2.50	2.66
ARE %	5.73	5.37	4.05	10.62	1.06	8.86	8.61
Planche 4 : $Q = 5l/s/m$ $L = 65m$ $t_{irr} = 95mn$							
X (m)	0	10	20	30	40	50	65
d_{cal} (mm)	31.72	31.71	31.68	31.53	31.05	30.13	28.12
d_{ob} (mm)	36.36	36.02	35.29	34.55	33.01	31.66	30.03
AAE mm	4.64	4.31	3.61	3.02	1.96	1.52	1.91
ARE %	12.76	11.96	10.22	8.75	5.93	4.81	6.36
Planche5: $Q = 2l/s/m$ $L = 65m$ $t_{irr} = 235mn$							
X (m)	0	10	20	30	40	50	65
d_{cal} (mm)	30.68	30.67	30.65	30.55	30.27	29.66	28
d_{ob} (mm)	40.04	39.03	34.72	34.15	32.17	30.97	28.08
AAE mm	9.36	8.36	4.07	3.60	1.90	1.31	0.08
ARE %	23.37	21.42	11.72	10.54	5.90	4.22	0.28

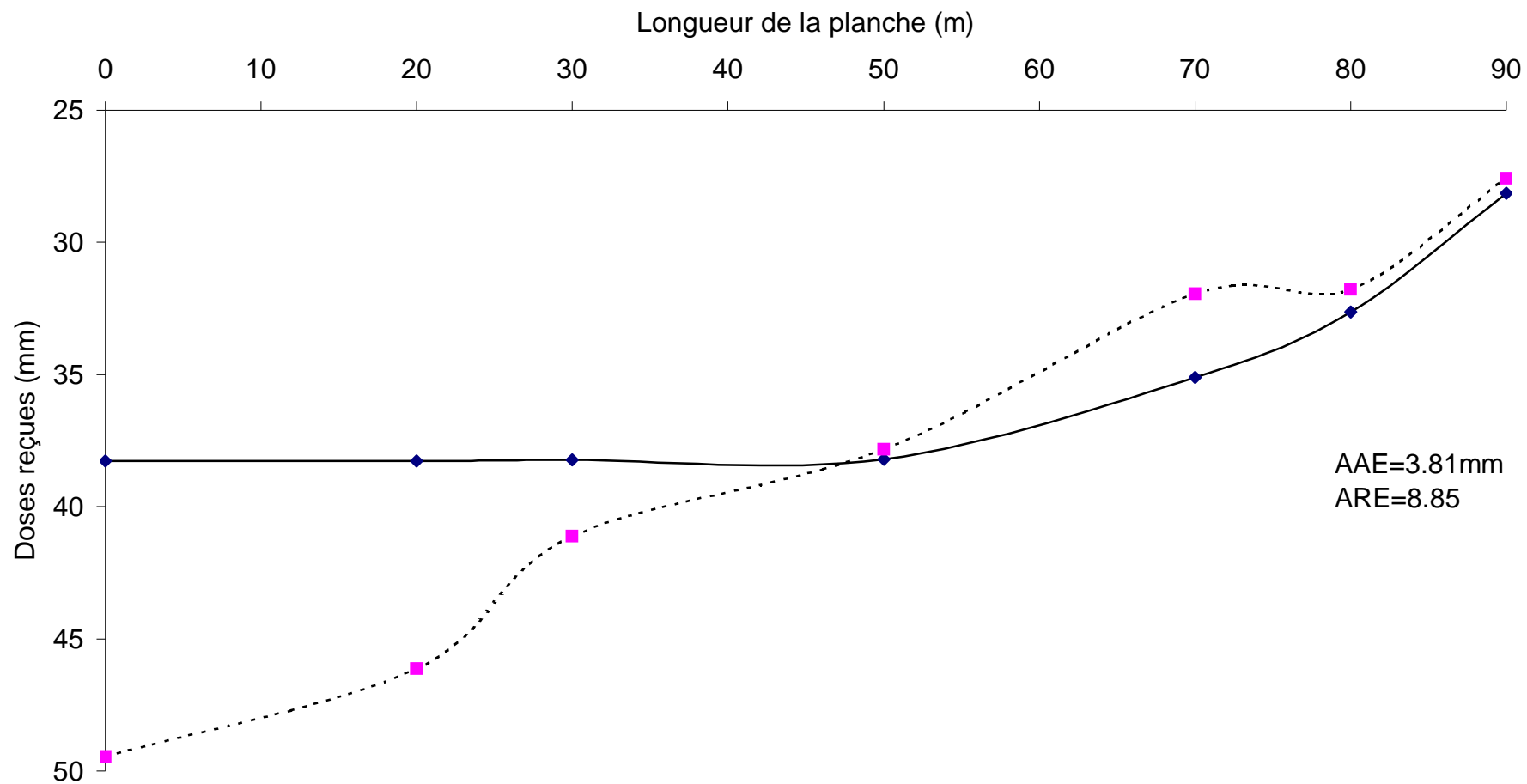
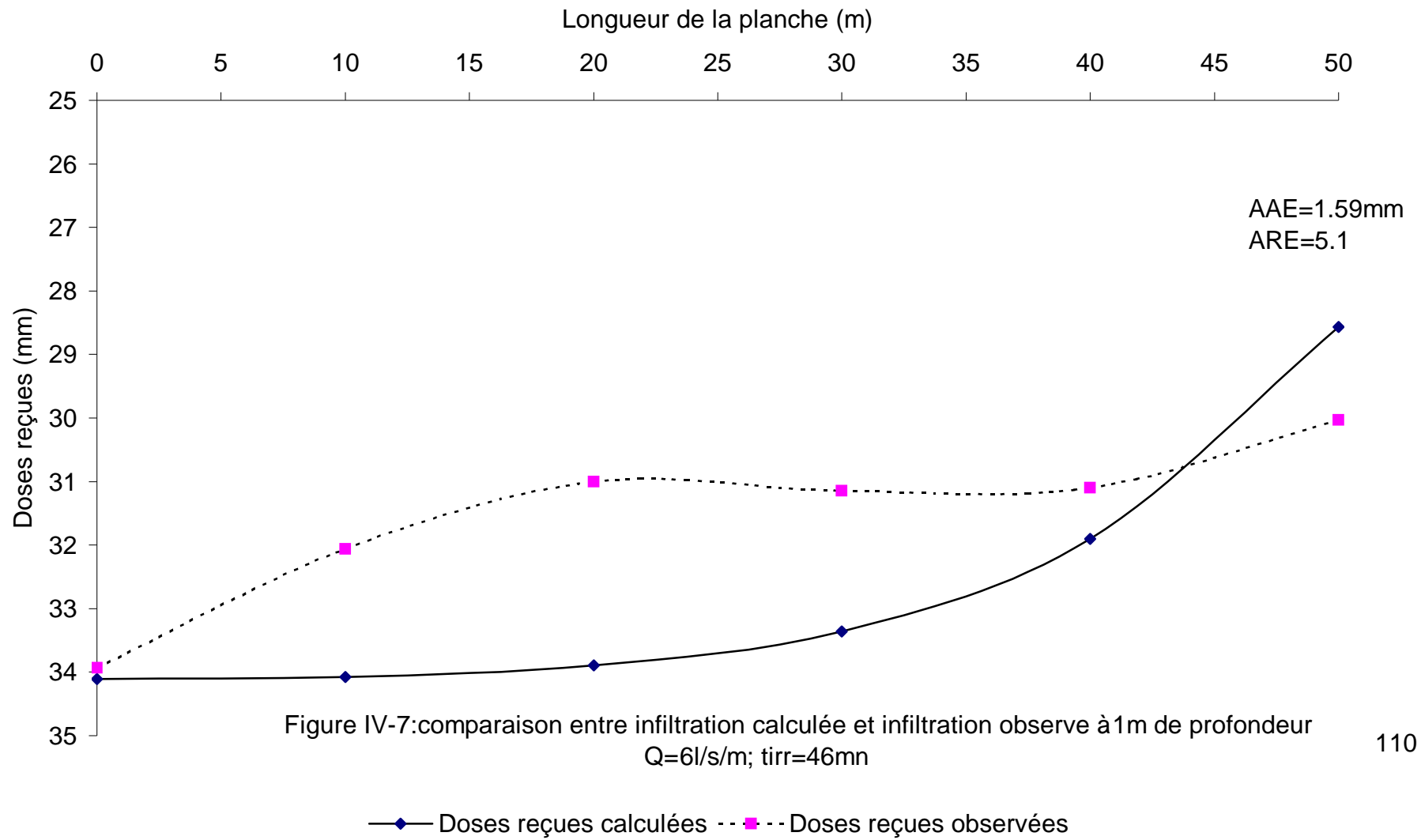


Figure IV-6: comparaison entre infiltration calculée et infiltration observée à 1m de profondeur
 $Q=6l/s/m$; $t_{irr}=91mn$

—◆— doses infiltrées calculées - -■- -doses infiltrées observées



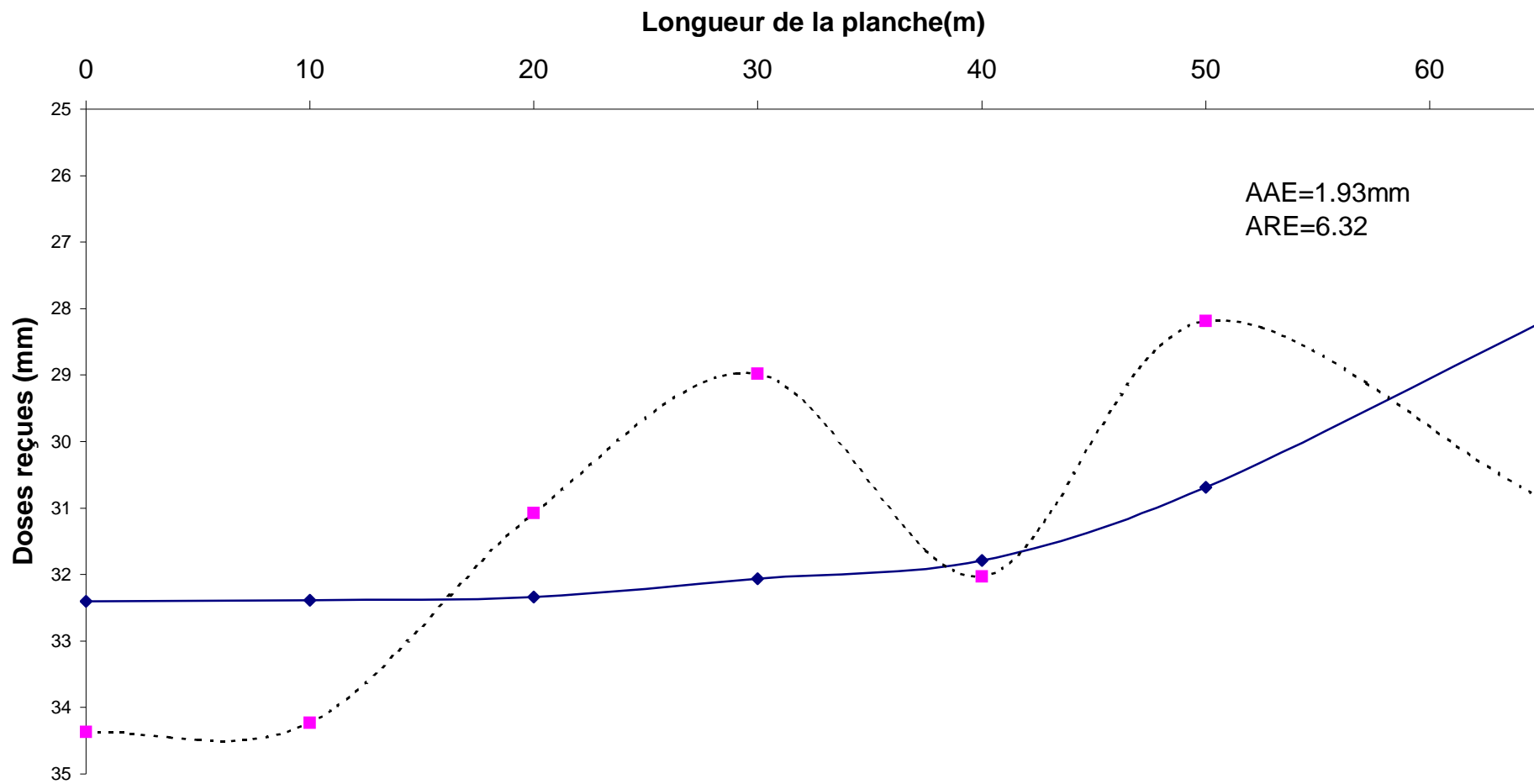


Figure IV-8: comparaison entre infiltration calculée et infiltration observe à 1m de profondeur
 $Q=5l/s/m$; $t_{irr}=79mn$

—◆— Doses reçues calculées ---■--- Doses reçues observées

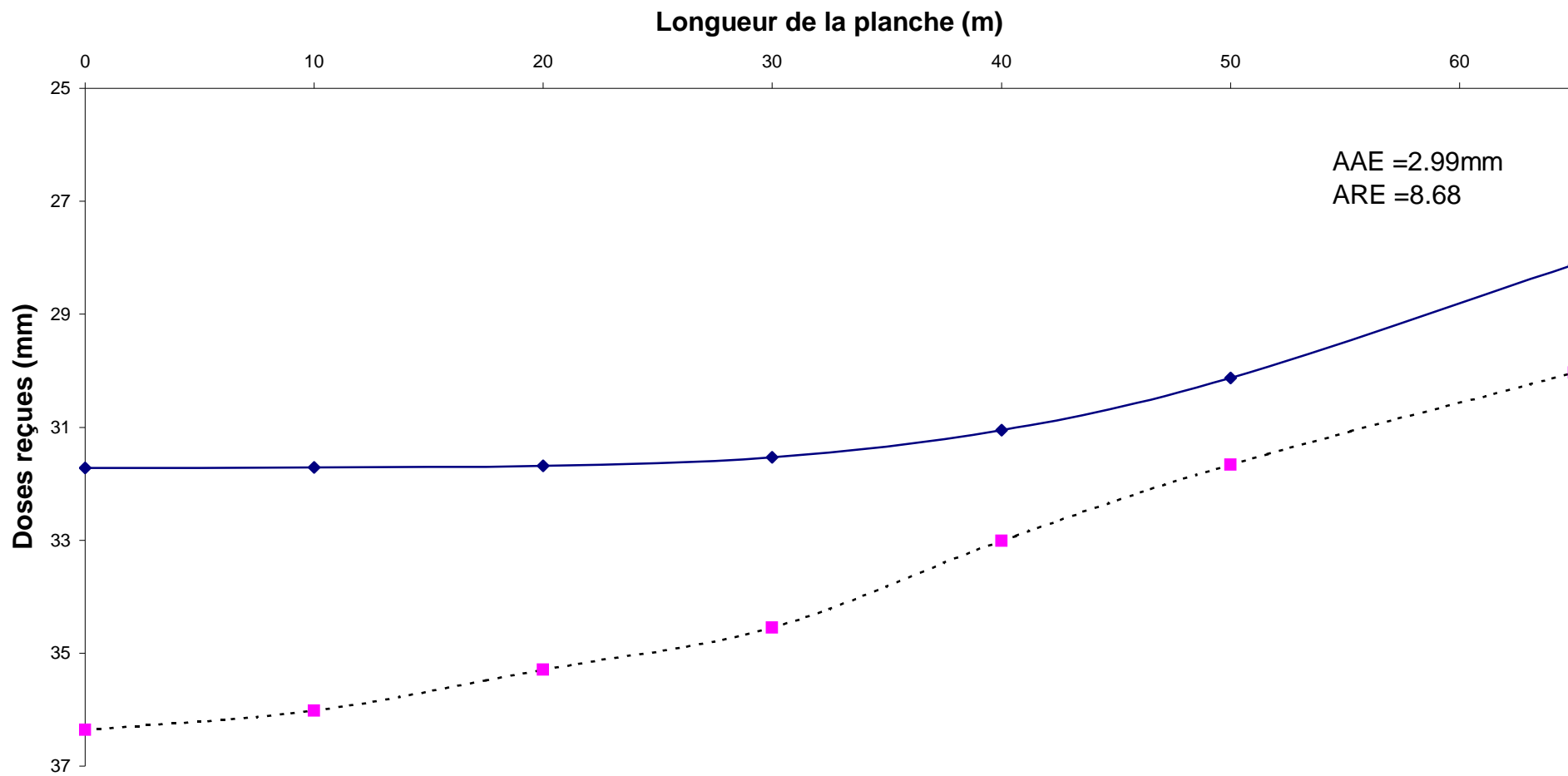


Figure IV-9: comparaison entre infiltration calculée et infiltration observe à 1m de profondeur
 $Q=6\text{l/s/m}$; $t_{irr}=95\text{mn}$

—◆— Doses reçues calculées ---■--- Doses reçues observées

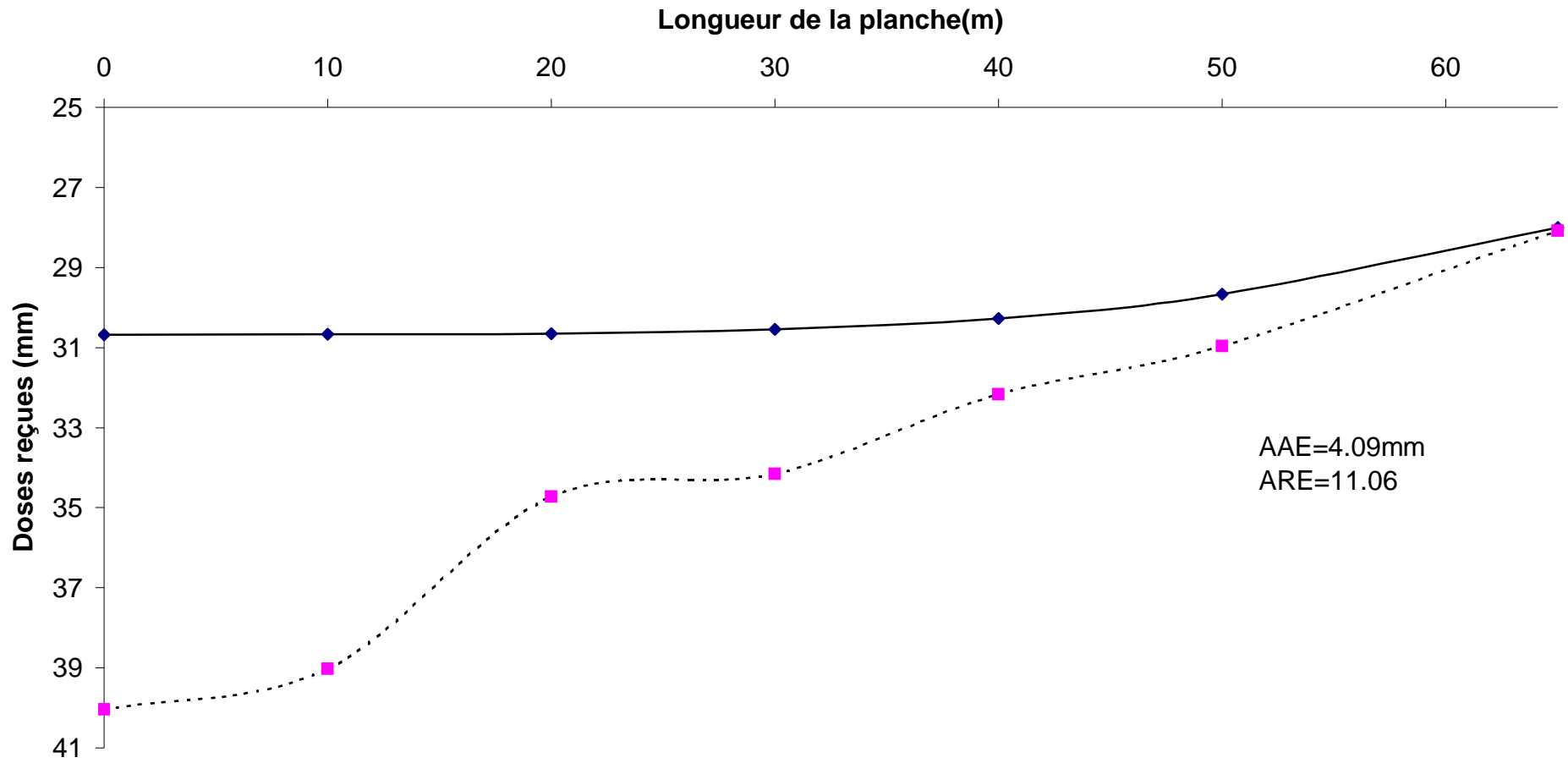


Figure IV-10: comparaison entre infiltration calculée et infiltration observe à 1m de profondeur
 $Q=2l/s/m$; $t_{irr}=235mn$

—◆— Doses reçues calculées - -■- - Doses reçues observées

CONCUSION DU CHAPITRE IV

Les résultats des paramètres de la qualité hydraulique de l'arrosage, prouve que l'irrigation est bonne.

La comparaison entre les valeurs calculées à l'aide du modèle mathématique et celle observées directement sur terrain donne une erreur faible. Nous pouvons donc conclure que le modèle mathématique choisi calcule correctement l'infiltration et que nous pouvons l'utiliser par la suite directement pour connaître l'infiltration sans recourir aux expérimentations difficiles à réaliser.

CONCLUSION GENERALE

La pratique de l'irrigation est un aspect essentiel de l'agriculture en milieu saharien. On sait aujourd'hui calculer et prévoir les paramètres fondamentaux qui la régissent, mais il n'y a pas de recette miracle, les solutions adoptées sont toujours des compromis. De nombreux facteurs doivent intervenir dans le choix, qui tiennent compte des conditions naturelles, du savoir-faire local, du niveau de développement industriel du pays et des performances économiques de la production agricole envisagée. [10]

L'objectif de ce travail est de bien connaître le processus de l'infiltration de l'eau dans le sol dans le cas de l'irrigation par planches, c'est à dire d'essayer de déterminer exactement l'humidité dans le sol ce qui nous permet de connaître la quantité d'eau à apporter à la plante. La problématique est donc de trouver la meilleure combinaison (débit d'entrée, longueur de la planche, pente du fond et durée de l'alimentation) afin d'avoir une répartition de l'humidité uniforme et suffisante le long de la planche.

Une étude bibliographique de la classification des méthodes existantes pour la résolution du problème de l'irrigation superficielle a conduit au choix d'une procédure simplifiée et de bonne exactitude qui est la méthode du bilan en volume.

A la suite de la citation de quelques exemples concrets, le modèle de Yu et Singh basé sur l'équation Kostiakov et l'équation type puissance de l'avancement a été retenu pour la détermination de l'infiltration pendant la phase de l'avancement et la phase de stockage. Ce modèle nécessite l'estimation des paramètres de l'équation de l'infiltration de Kostiakov a et K , que nous avons déterminé à l'aide de la méthode des deux points.

Une fois l'équation de Kostiakov déterminée, nous avons calculé l'infiltration pour chaque type de planche et tracé les graphiques de l'infiltration le long de la planche. nous avons déduit de cette étude que plus le débit est faible pour une longueur constante et plus la longueur est faible pour un débit constant moins est importante la différence entre l'infiltration à l'amont et celle à l'aval. Nous pouvons donc conclure que les planches qui donnent une bonne répartition sont les planches courtes à débit faible.

La troisième étape de notre travail a consisté à la détermination de l'infiltration expérimentalement. A cet effet, nous avons déterminé les humidités du sol avant et après chaque arrosage le long de chaque planche jusqu'à un mètre de profondeur.

Les graphiques des humidités montrent que les planches qui donnent des bons résultats sont les planches de longueur moyenne et de débit moyen.

Dans la dernière étape nous avons comparé l'avancement et les infiltrations prédits et ceux calculés pour tester la capacité du modèle choisi. Nous avons obtenu une erreur relative de 5% pour l'avancement et 8% pour l'infiltration. Nous avons donc conclu que le modèle prédit correctement la phase de l'avancement et celle du stockage. Nous avons aussi étudié la qualité des arrosages en déterminant le rendement hydraulique net et le coefficient d'uniformité.

Dans notre étude, nos expérimentations se sont limitées à 5 combinaisons :

- nous avons fait varier le débit (2 ; 5 et 6 l/s/m) pour une longueur constante(65m)
- puis nous avons fait la longueur de la planche(50, 65 et 90m) pour un débit constant(6l/s/m)en gardant la pente constante(0.001).

Car il a été très difficile de trouver une source d'eau à proximité des planches à façonner. En plus les expérimentations sont très difficiles à réaliser vu les problèmes suivants :

- les planches ont été façonnées manuellement.
- à cause des vents de sables fréquents, on a été obligé de reniveller avant chaque arrosage(terrain se situant au pied de dunes non protégé).
- n'ayant pas de sonde pour le prélèvement des humidités, nous avons été obligés de prélever des échantillons de sol jusqu'à un mètre de la planche chaque 10m le long de celle ce, avant et après chaque arrosage.
- des pannes fréquentes de pompes suivis de coupures d'eau.

Cette étude est avant tout expérimentale et a pour ambition de répondre à des applications pratiques mais pas immédiatement car il est nécessaire de poursuivre les expérimentations avec plusieurs autres combinaisons.

REFERENCES BIBLIORGRAPHIQUES

- 1- Alzba. A. A(Associate Member,ASCE), and Fangmeir D.D (Member, ASCE) :
Hydrograph shape and border irrigation efficiency. (journal of irrigation and drainage Engineering, vol.121, N°6,November/December,1995.452-457)
- 2- Alzba.A.A, and Strelkoff (Member, ASCE) : Correct form of hall technique for border irrigation advance : (journal of irrigation and drainage Engineering, vol.120,N°2,Mars/April,1994. 292-307)
- 3- Baise Denis (directeur de recherche à l'INRA : service étude des sols et de la carte pédologique de France) guide des analyses courantes en pedologie
- 4-Blair.A.W(Associate Member , ASCE) and Smerdon E.T (Member , ASCE) :
infiltration from infiltration advance data. II : experimental ; (journal of irrigation and drainage Engineering, vol.1144 N°1, February,1988. 18-29)
- 5- B lair.A.W(Associate Member , ASCE) and Smerdon E.T., Member ASCE
unimodal surface irrigation efficiency; (journal of irrigation and drainage Engineering, vol.114, N°1 February,1988 156-168)
- 6- Boserup E, Evolution agraire et pression demographique. Flammarion , (paris 1970)
- 7- CARLIER.M : Hydraulique générale et appliquée ; (Eyrolles 1980 : collection de la direction des études et recherches d'électricité de France)
- 8- Conac.Françoise Passé et actualité de l'irrigation dans le monde :(traité d'irrigation :coordonnateur : Jean Tiercelin ; pages758-803)
- 9- Cemagref (Eddition 1990) : Guide pratique de l'irrigation
- 10- Direction de l'hydraulique et de l'équipement
(service des études scientifiques : 1959)
- 11- Dubief Jean : Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara ;direction de l'hydraulique

- 12- Dubost Daniel: Pratique de l'irrigation au Sahara : (Extrait de :Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes : thèse de l'université de Tours 1991)
- 13- Fang X.YU and Vijay P.Singh (Member,ASCE) : Analytical model for border irrigation (journal of irrigation and drainage Engineering, vol.115, N°6 December,1989: 982-999)
- 14- Flannery KV. Archeological systems theory and early Mesoamerica. In (1971) Anthropological archeology in the America, Anthropological society of Washington, Washington DC 67-87.
- 15- Fok, Y.S., and Bishop, A.A (1965) « Analysis of water advance in surface irrigation » J.Irrig. Drain. Div., ASCE, 91(1), 99-116
- 16- Galbiiati. G and Savi. F(Institute of Agricultural Hydraulics, University of Milan, Via Celoria 2, 20133 Milano, Italy) : Evaluation of the comparative influence of soil hydraulic properties and roughness on overland at the local scale : (journal of irrigation and drainage Engineering Research 61(3) 1995 : 183-190
- 17- Hartley.D.M (Member,ASCE) :Interpretation of kostiakov infiltration parameters for border : (journal of irrigation and drainage Engineering 118(1) : 56-165)
- 18 – Hollzapfel. E A,M.A,Chavez—Morales.J :Border irrigation model selection (Transactions of the Asaf American Society of Agricultural Engeneering 1984 27(6) : 811-1816)
- 19- Houhou M.C, La salinite et l'utilisation des modeles de simulation en irrigation gravitaire.(Communication de séminaire national sur l'hydraulique. Biskra décembre 1994)
- 20 - I-T-D-A-S de Biskra : (Communication de séminaire national sur l'hydraulique. Biskra décembre 1994)
- 21- Katapodes, N.D., and Strelkoff,. T. (1977). « Hydrodynamics of border irrigation- Complet model. » J.Irrig. Drain. Div., ASCE, 103(3), 309-324
- 22- Khadraoui.A : Contribution des etudes agro-pedologiques et hydro-dynamiques des sols aux projets d'amenagement hydro-agricoles. (Communication de séminaire national sur l'hydraulique. Biskra décembre 1994)
- 23- Luis Santos Pereira, Pedro Leao de Souza : Irrigation de surface : (traité d'irrigation :coordonnateur : jean tiercelin ; 450-459)
- 24- Mac C, Adams R(1974-1981). Historic patterns of Mesopotamian irrigation agriculture. In (1974) Irrigation impact on society. (1981) Heartland of cities, Surveys of ancien Settlement and land use of the Central Floodplain of the Euphrates.

- 25- Maheshari.bbb.L; McMahon. T.A and Turner.A.K
 Departement of civil and Agricultural Engineering University of Melbourne,
 parkville. Vic 3052(Australia). Sensivity analysis of parameters of border irrigation
 model :(Agricultural Water Management 18(1990): 277-287 Elsevier Science
 publishers B.V Amesterdam)
- 26- Messahel El Mekki : Méthodes de travail et de calcul pour la détermination de la
 loi d'infiltration(Institut génie-rural : Université de Blida)
- 27- Meza Nourredine, Cours d'irrigation. (Ed : université de Ouargla 1995/96)
- 28- Millon R (1969). Urbanization at Teoti huacan mapping project. In : (1969) El
 proceso de urbanization en America des de sus origines hastas nuestros dias,105-120.
- 29- Musy André et Soutter Marc. Physique du sol: (presses polytechniques et
 universitaires romandes 1991)
- 30- Nikolaoas D. Katopodos : Observability of surface irrigation advance : (journal of
 irrigation and drainage Engineering volume 116 number5 septembre/ october1990
 656-675)
- 31- Nikolaoas D. Katopodos , Jyh-Haw Tang :Self-adaptive control of surface
 irrigation advance;(journal of irrigation and drainage Engineering volume 116
 number 5 septembre/ october1990 697-713)
- 32- Nikolaoas D. Katopodos , Jyh-Haw Tang and Albert J.Clemmens : Estimation of
 surface irrigation parameters : (journal of irrigation and drainage Engineering volume
 116 number5 septembre/ october1990 pages 676-696)
- 33- Ollier . CH et Poiree.M : Irrigation- les réseaux d'irrigation, théorie, techniques et
 économie des arrosages : (edition- eyrolles 1983)
- 34- Palerm A (1973). Obras hidraulicas prehispanicas en el systema en el sistema la
 centre del valle de Mexico, Mexico, SEP-INAB
- 35- Ram, R. S., and Lal, R. (1971). « Recession flow in border irrigation » J.Agric.
 Engrg., ASCE, 8(3),62-67
- 36- Philip JR (1957) Numerical solution of equations of diffusion type with diffusivity
 concentration-dependent II. Australian J Physics 10 : 29-42
- 37- Rebour.H et Deloye. M : Méthodes modernes des irrigations de surface et par
 aspersion1971.
- 38-Sakkas.J.G ; Bellos.C.V ; Departement of civil engineering, Democritus :
 University of Thrace 67100 Xanthi, Grece : Mathematical model for design of border
 irrigation : (water ressources management 5 289-303,1991

- 39- Sakkas.J.G ; Bellos.C.V ; Klonaraki.M.N : (Departement of Civil Engineering Democritus University of Thrace, GR-671000Xanthi. Greece): Numerical computation of surface irrigation
- 40- Scaloppi .J.E; Merkley. G.P; Member,ASCE ; and Willardson . L.S ; Member,ASCE : Intake parameters from advance and wetting phases of surface irrigation : (journal of irrigation and drainage Engineering volume 121 number 1 January/February1995 57-69)
- 41- Schneebeli. G : Hydraulique souterraine : (edition Eyrolles 1987 : collection de la direction des études et recherches d'électricité de France)
- 42-Strelkoff T(1977) Algebraic computation of flow in border irrigation. ASCE J Irrig Drain Div 103 : 325-342
- 43- Valiantas. John D : Simple method for identification of border infiltration and roughness characteristics ; (journal of irrigation and drainage Engineering 12052°1994 233-249)
- 44- Vijay P.Singh and Fang X.YU : (Departement of Civil Engineering , Louisiana State University, Baton rouge, LA 70803 (U.S.A)) : An analytical closed border irrigation model : I. Theory ;(Agricultural Water Management, 15(1989) : 223-242 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam-Printed in the Netherlands)
- 45- Vijay P.Singh and Fang X.YU :(Departement of Civil Engineering , Louisiana State University, Baton rouge, LA 70803 (U.S.A)); An analytical closed border irrigation model : II.Experimental verification : (Agricultural Water Management, 15(1989) : 243-252 ; Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam-Printed in the Netherlands)

ANNEXE 1

Courbes granulometriques

Graphe N°1/ Echantillon 1 : profondeur 0 - 20cm
20 - 40 cm
40 - 60cm

Graphe N°2/ Echantillon 1 : profondeur 60 - 80cm
80 – 100cm

Graphe N°3/ Echantillon 2 : profondeur 0 - 20cm
20 - 40 cm
40 - 60cm

Graphe N°4/ Echantillon 2 : profondeur 60 - 80cm
80 – 100cm

Graphe N°5/ Echantillon 3 : profondeur 0 - 20cm
20 - 40 cm
40 - 60cm

Graphe N°6/ Echantillon 3 : profondeur 60 - 80cm
80 – 100cm

Graphe N°7/ Echantillon 4 : profondeur 0 - 20cm
20 - 40 cm
40 - 60cm

Graphe N°8/ Echantillon 4 : profondeur 60 - 80cm
80 – 100cm

ANNEXE 2

60-80	5	0.0	100	10	0.0	100	5	0.0	100	5	0.0	100
	2	5.6	98	5	4.1	99	2	4.1	99	2	7.1	98
	1	24.9	92	2	6.2	98	1	18.8	94	1	19.8	93
	0.4	71.6	76	1	9.3	97	0.4	58.4	81	0.4	55.9	81
	0.2	149.0	50	0.4	41.9	86	0.2	141.4	53	0.2	121.0	60
	0.1	223.8	25	0.2	106.9	64	0.1	229.1	25	0.1	206.0	31
	0.08	239.0	20	0.1	202.9	32	0.08	238.5	21	0.08	218.3	27
				0.08	220.4	26						
80-100	10	0.0	100	5	0.0	100	5	0.0	100	5	0.0	100
	5	2.6	99	2	1.6	99	2	2.5	99	2	7.1	98
	2	5.4	98	1	3.3	98	1	7.5	97	1	19.8	93
	1	12.9	96	0.4	37.3	87	0.4	37.6	87	0.4	55.9	81
	0.4	45.3	85	0.2	116.5	61	0.2	111.0	63	0.2	121.0	60
	0.2	121.9	59	0.1	213.5	29	0.1	201.8	33	0.1	206.0	31
	0.1	221.6	26	0.08	226.6	24	0.08	214.2	29	0.08	218.3	27
	0.08	238.9	20									

N.B :(le poids des echantillons est de 300g)

ANNEXE 3

DENSITE APPARENTE ET DENSITE REELLE

échantillon	Profondeur (cm)	Densité apparente (g/cm ³)	Densité réelle (g/cm ³)
1	0 ÷ 30	1.118	2.256
	30 ÷ 60	1.018	2.235
	60 ÷ 100	1.150	2.391
2	0 ÷ 30	1.234	2.285
	30 ÷ 60	1.229	2.287
	60 ÷ 100	1.171	2.401
3	0 ÷ 30	1.247	2.298
	30 ÷ 60	1.135	2.263
	60 ÷ 100	1.018	2.372
4	0 ÷ 30	1.171	2.247
	30 ÷ 60	1.164	2.273
	60 ÷ 100	1.219	2.418

ANNEXE 4

TEMPS DE L'AVANCEMENT LE LONG DES PLANCHES.

- Tableau N°1 : temps de l'avancement le long de la planche 1
- Tableau N°2 : temps de l'avancement le long de la planche 2
- Tableau N°3 : temps de l'avancement le long de la planche 3
- Tableau N°4 : temps de l'avancement le long de la planche 4
- Tableau N°5 : temps de l'avancement le long de la planche 5

Tableau N°1 : temps de l'avancement le long de la planche 1.

Débit d'entrée $Q = 6l /s/m$
 Longueur de la planche $L = 90m$
 Temps d'irrigation $t_{irr} = 120mn$

Arrosage du 2/12/00									
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Temps(mn)	2	3	4	6	9	13	20	28	33
Arrosage du 9/12/00									
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Temps(mn)	1	3	4	6	9	12	18	25	33
Arrosage du 16/12/00									
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Temps(mn)	1	2	3	5	9	12	18	23	32
Arrosage du 23/12/00									
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Temps(mn)		1	3	4	8	11	17	23	32

leau N°2 : temps de l'avancement le long de la planche 2.

Débit d'entrée $Q = 6 \text{ l/s/m}$
 Longueur de la planche $L = 50\text{m}$
 Temps d'irrigation $t_{\text{irr}} = 50\text{mn}$

Arrosage du 11/10/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	2	5	7	10	16
Arrosage du 18/10/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	2	4	7	10	15
Arrosage du 25/10/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	1	4	7	10	15
Arrosage du 1/11/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	1	3	6	9	14
Arrosage du 8/11/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	1	3	6	8	12
Arrosage du 15/11/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	1	2	5	8	11
Arrosage du 22/11/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	<1	1	4	7	9
Arrosage du 29/11/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	<1	1	3	6	8
Arrosage du 6/12/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	<1	1	2	5	8
Arrosage du 13/12/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	<1	<1	2	5	7
Arrosage du 20/12/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	<	<1	2	4	6
Arrosage du 27/12/00					
Distance(m)	10	20	30	40	50
Temps(mn)	<	<	2	4	6

Tableau N°3 : temps de l'avancement le long de la planche 3

Débit d'entrée $Q = 6 \text{ l/s/m}$
 Longueur de la planche $L = 65\text{m}$
 Temps d'irrigation $t_{\text{irr}} = 80\text{mn}$

Arrosages du 9/10/00							
Distance(mn)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	8	11	16	22	23
Arrosage du 16/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	8	10	15	20	22
Arrosage du 23/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	7	10	12	21	22
Arrosage du 30/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	3	5	8	11	21	22
Arrosage du 6/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	3	4	8	11	16	17
Arrosage du 13/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	4	7	10	14	15
Arrosage du 20/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	4	7	10	13	14
Arrosage du 27/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	3	6	9	12	13
Arrosage du 4/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	3	6	9	12	13
Arrosage du 11/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	3	5	8	11	13
Arrosage du 18/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	3	5	8	11	13
Arrosage du 25/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	3	4	7	10	11

Tableau N°4 : temps de l'avancement le long de la planche 4.

Débit d'entrée $Q = 5 \text{ /s/m}$
 Longueur de la planche $L = 65 \text{ m}$
 Temps d'irrigation $t_{\text{irr}} = 95\text{mn}$

Arrosages du 10/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	3	6	10	13	18	24	27
Arrosage du 17/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	10	13	18	23	26
Arrosage du 23/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	9	12	16	22	23
Arrosage du 31/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	9	12	16	22	23
Arrosage du 7/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	8	10	14	20	21
Arrosage du 14/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	3	6	9	12	18	20
Arrosage du 21/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	3	5	9	12	17	18
Arrosage du 28/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	3	5	8	12	17	18
Arrosage du 5/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	4	8	12	16	17
Arrosage du 12/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	4	8	12	16	16
Arrosage du 19/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	3	7	11	15	16
Arrosage du 26/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	1	2	3	7	11	15	15

Tableau N°5 : temps de l'avancement le long de la planche 5.

Débit d'entrée $Q = 2\text{l/s/m}$
 Longueur de la planche = 65m
 Temps d'irrigation $t_{\text{irr}} = 240\text{mn}$

Arrosages du 8/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	4	7	12	16	24	33	35
Arrosage du 15/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	4	6	11	16	23	33	34
Arrosage du 22/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	3	5	10	15	22	32	34
Arrosage du 29/10/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	9	15	22	31	34
Arrosage du 5/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	9	15	22	31	33
Arrosage du 12/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	9	14	22	30	33
Arrosage du 19/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	9	14	21	30	31
Arrosage du 26/11/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	9	13	21	30	32
Arrosage du 3/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	5	9	13	20	29	31
Arrosage du 10/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	9	13	19	28	30
Arrosage du 17/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	8	12	18	27	29
Arrosage du 24/12/00							
Distance(m)	10	20	30	40	50	60	65
Temps(mn)	2	4	8	12	18	27	29

ANNEXE 5

HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES ARROSAGE (%)

Tableau 1: humidité du sol avant arrosage (%) planche 1

Tableau 2: humidité du sol avant arrosage (%) planche 1

Tableau 3: humidité du sol avant arrosage (%) planche 2

Tableau 4: humidité du sol avant arrosage (%) planche 2

Tableau 5: humidité du sol avant arrosage (%) planche 3

Tableau 6: humidité du sol avant arrosage (%) planche 3

Tableau 7: humidité du sol avant arrosage (%) planche 4

Tableau 8: humidité du sol avant arrosage (%) planche 4

Tableau 9: humidité du sol avant arrosage (%) planche 5

Tableau 10: humidité du sol avant arrosage (%) planche 5

Q= 6l/s/m ; L=50m ; t_{irr} =50mn

Tableau 1: Humidité du sol avant arrosage (%)

Date de l'arrosage	horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m
6/12/00	0÷30cm	12.0	11.5	10.9	11.3	10.7	11.7
	30÷60cm	11.7	11.0	11.2	11.6	10.2	11.3
	60÷100cm	11.2	10.1	10.5	11.2	10.6	10.2
13/12/00	0÷30cm	15.9	15.2	14.8	14.3	13.8	14.5
	30÷60cm	14.3	13.8	13.7	12.9	11.7	12.6
	60÷100cm	12.8	10.7	11.6	12.2	12.0	11.7
20/12/00	0÷30cm	18.2	18.4	17.9	16.7	16.3	16.9
	30÷60cm	16.3	15.7	14.9	13.5	12.1	13.1
	60÷100cm	13.7	11.4	12.3	13.7	12.9	12.4
27/12/00	0÷30cm	19.7	20.7	19.3	19.5	19.7	19.9
	30÷60cm	18.9	16.8	15.7	14.3	13.4	12.2
	60÷100cm	14.8	12.0	12.9	14.4	13.7	12.9

Tableau 2: Humidité du sol après arrosage (%)

date	horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m
8/12/00	0÷30cm	16.8	16.1	15.3	15.4	14.9	16.1
	30÷60cm	15.2	14.8	14.5	13.9	12.9	13.7
	60÷100cm	13.2	11.8	12.4	13.5	13.1	12.4
15/12/00	0÷30cm	19.9	19.0	18.7	17.9	17.6	18.2
	30÷60cm	17.7	17.0	16.6	15.0	17.6	18.4
	60÷100cm	14.6	12.2	13.3	14.3	14.2	13.5
22/12/00	0÷30cm	21.7	22.5	21.6	20.9	20.4	20.5
	30÷60cm	19.6	18.9	17.9	15.4	14.3	15.5
	60÷100cm	15.3	12.6	13.9	16.2	15.1	14.4
29/12/00	0÷30cm	24.1	24.3	22.5	22.9	23.4	23.2
	30÷60cm	21.9	19.7	18.3	16.2	15.2	14.3
	60÷100cm	16.1	13.1	14.1	16.5	15.9	14.8

Q= 5l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =95mn

Tableau 3: Humidité du sol avant arrosage (%)

Date de l'arrosage	Horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m	65
5/12/00	0÷30cm	12.2	11.5	10.9	11.8	10.6	11.8	12.0
	30÷60cm	12.4	11.8	11.2	11.7	10.9	11.9	11.5
	60÷100cm	12.7	12.3	11.3	12.4	11.2	11.2	11.4
12/12/00	0÷30cm	15.3	15.9	14.5	14.1	12.8	13.5	13.7
	30÷60cm	14.9	14.2	13.1	13.5	12.9	13.4	13.2
	60÷100cm	14.0	13.7	13.1	13.9	13.0	12.9	12.7
19/12/00	0÷30cm	18.7	18.1	16.3	16.8	16.2	16.8	15.7
	30÷60cm	17.1	16.3	15.8	15.4	14.5	14.8	15.0
	60÷100cm	15.8	14.8	14.2	14.7	15.1	14.7	14.9
26/12/00	0÷30cm	20.4	20.1	19.7	19.1	18.5	19.1	17.7
	30÷60cm	19.1	18.8	18.0	17.5	16.7	16.5	16.3
	60÷100cm	17.1	16.9	16.3	15.9	16.3	16.5	17.0

Tableau 4: Humidité du sol après arrosage (%)

date	Horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m	65
7/12/00	0÷30cm	16.5	16.9	15.2	15.4	13.9	14.8	14.5
	30÷60cm	15.9	14.9	14.0	14.3	13.8	14.3	14.0
	60÷100cm	14.9	14.7	14.2	14.9	13.9	13.7	13.5
14/12/00	0÷30cm	19.7	18.7	17.1	18.9	16.9	16.7	16.9
	30÷60cm	17.8	16.9	16.2	15.9	15.5	15.7	15.6
	60÷100cm	16.4	15.9	15.4	16.0	15.4	15.7	15.3
21/12/00	0÷30cm	21.9	22.3	20.5	20.9	20.1	19.9	18.6
	30÷60cm	20.7	19.1	18.4	18.2	17.2	17.3	17.2
	60÷100cm	17.9	17.3	16.9	17.3	17.2	17.4	17.7
28/12/00	0÷30cm	24.6	24.6	24.5	22.9	22.9	22.5	21.0
	30÷60cm	23.2	22.3	20.5	20.0	18.9	19.2	18.8
	60÷100cm	19.1	14.6	18.9	18.3	18.3	18.8	18.9

Q= 6l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =80mn

Tableau 5: Humidité du sol avant arrosage (%)

Date de l'arrosage	horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m	65m
4/12/00	0÷30cm	12.4	13.5	15.2	28.7	27.9	26.8	20.3
	30÷60cm	18.2	17.1	24.3	17.2	22.7	20.9	26.9
	60÷100cm	18.2	20.1	19.9	18.8	19.3	17.7	22.4
11/12/00	0÷30cm	17.2	18.4	22.4	29.9	31.9	29.2	22.1
	30÷60cm	21.0	19.5	25.2	18.9	24.1	23.6	29.2
	60÷100cm	18.9	21.4	21.3	19.5	20.1	18.7	23.1
18/12/00	0÷30cm	18.2	19.5	24.6	30.4	34.3	29.7	24.1
	30÷60cm	23.7	21.9	27.1	22.4	25.5	24.4	31.9
	60÷100cm	20.7	22.5	21.9	20.5	21.7	19.5	23.5
25/12/00	0÷30cm	20.8	22.5	26.3	31.7	36.5	32.5	27.7
	30÷60cm	25.3	24.4	27.8	24.1	26.3	24.9	32.8
	60÷100cm	21.2	22.7	22.7	20.9	22.9	20.1	24.1

Tableau 6: Humidité du sol après arrosage (%)

date	Horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m	65
6/12/00	0÷30cm	18.9	19.2	23.1	33.2	32.4	31.2	23.2
	30÷60cm	21.9	20.4	26.8	20.9	26.5	24.2	29.8
	60÷100cm	20.7	22.4	22.0	20.1	21.3	19.5	23.9
13/12/00	0÷30cm	20.5	22.5	26.1	32.4	35.2	31.7	25.9
	30÷60cm	24.2	22.7	28.8	21.2	26.9	26.1	32.0
	60÷100cm	21.0	23.1	22.8	21.1	22.2	20.3	24.8
20/12/00	0÷30cm	21.8	23.1	27.4	33.8	37.7	33.1	28.7
	30÷60cm	21.0	25.3	29.1	25.7	27.9	26.5	34.4
	60÷100cm	22.0	23.9	23.8	21.9	23.4	20.9	25.1
27/12/00	0÷30cm	23.6	25.7	27.2	34.4	39.2	39.8	31.6
	30÷60cm	28.2	27.9	30.3	27.2	28.3	26.1	36.0
	60÷100cm	23.5	24.2	24.7	22.4	24.8	21.7	25.8

Q= 2l/s/m ; L=65m ; $t_{irr} = 4h$

Tableau 7: Humidité du sol avant arrosage (%)

Date de l'arrosage	Horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m	65m
3/12/00	0÷30cm	14.76	9.08	13.41	9.58	12.17	13.80	12.26
	30÷60cm	14.81	12.1	9.93	10.59	10.46	10.13	10.01
	60÷100cm	13.75	11.85	11.18	10.49	10.89	10.05	13.97
10/12/00	0÷30cm	18.1	12.7	17.7	13.9	14.7	16.6	15.9
	30÷60cm	16.4	14.9	12.6	12.2	12.7	12.6	11.8
	60÷100cm	14.8	13.3	12.6	11.4	11.5	12.2	14.8
17/12/00	0÷30cm	20.5	15.7	20.3	17.8	17.9	19.7	18.1
	30÷60cm	18.3	16.8	14.2	13.8	14.2	15.1	12.5
	60÷100cm	15.9	18.6	13.8	12.7	12.6	13.7	15.1
24/12/00	0÷30cm	18.8	18.8	23.7	20.3	21.3	21.9	20.4
	30÷60cm	18.6	18.6	16.1	15.4	15.8	17.2	13.8
	60÷100cm	15.9	15.9	14.3	13.6	13.4	14.1	15.7

Tableau 8: Humidité du sol après arrosage (%)

date	Horizons	0m	10m	20m	30m	40m	50m	65 m
5/12/00	0÷30cm	20.00	14.38	18.55	14.62	16.83	18.00	19.70
	30÷60cm	18.67	15.6	13.09	13.87	13.52	14.33	12.43
	60÷100cm	16.31	14.93	13.22	12.29	12.87	13.33	16.05
12/12/00	0÷30cm	22.9	17.6	22.4	18.7	19.1	20.7	21.5
	30÷60cm	19.4	17.9	15.4	14.9	15.6	16.7	13.9
	60÷100cm	17.2	16.2	14.5	13.4	13.3	14.1	16.4
19/12/00	0÷30cm	25.6	20.2	25.1	22.4	22.1	23.5	21.5
	30÷60cm	21.1	19.4	16.7	16.1	16.4	18.9	14.6
	60÷100cm	17.9	20.9	15.5	14.6	14.2	15.6	16.5
26/12/00	0÷30cm	28.1	23.1	28.3	24.7	25.2	25.6	23.9
	30÷60cm	23.4	20.9	18.4	17.4	18.1	20.9	15.5
	60÷100cm	18.3	18.1	15.9	15.3	14.9	15.9	16.9

Q= 6l/s/m ; L=90m ; t_{irr} =120 mn

Tableau 9: Humidité du sol avant arrosage (%)

Date de l'arrosage	Horizons	0m	20m	30m	50m	70m	80m	90m
2/12/00	0÷30cm	9.71	8.65	9.45	9.43	10.12	10.08	10.10
	30÷60cm	10.32	10.57	10.89	10.7	10.00	9.97	10.15
	60÷100cm	9.35	10.08	10.23	9.34	9.21	9.07	9.27
9/12/00	0÷30cm	14.7	13.9	13.2	12.8	13.1	13.5	12.9
	30÷60cm	14.6	14.1	13.6	12.9	11.9	12.1	11.9
	60÷100cm	12.1	11.9	11.7	11.2	11.3	10.2	10.4
16/12/00	0÷30cm	16.3	18.5	16.7	15.3	15.4	16.2	15.7
	30÷60cm	17.1	16.9	15.9	14.3	13.5	12.9	13.3
	60÷100cm	13.8	12.1	12.4	12.9	12.7	11.8	11.1
23/12/00	0÷30cm	19.5	20.8	19.9	18.6	18.9	18.2	17.6
	30÷60cm	19.5	18.2	16.7	14.3	14.6	14.7	14.6
	60÷100cm	14.9	12.8	14.1	12.9	13.6	12.9	11.9

Tableau 10: Humidité du sol après arrosage (%)

date	Horizons	0m	20m	30m	50m	70m	80m	90m
4/12/00	0÷30cm	15.77	14.97	14.63	13.73	14.26	14.18	14.08
	30÷60cm	15.4	15.47	14.87	13.82	12.7	12.89	12.65
	60÷100cm	13.45	13.16	13.53	12.90	12.27	11.85	11.25
11/12/00	0÷30cm	20.6	20.1	17.7	16.5	17.1	17.4	16.7
	30÷60cm	18.8	18.6	17.3	15.8	14.1	14.8	14.1
	60÷100cm	15.3	13.9	14.6	14.3	13.3	12.3	12.1
18/12/00	0÷30cm	21.8	24.8	21.1	19.1	19.5	19.81	19.0
	30÷60cm	21.1	20.8	18.7	16.9	15.6	15.4	15.3
	60÷100cm	16.2	13.9	15.1	15.9	14.6	13.7	12.6
25/12/00	0÷30cm	24.8	26.7	24.1	22.2	22.5	21.6	20.8
	30÷60cm	23.3	21.9	19.3	17.7	16.6	16.9	16.5
	60÷100cm	17.8	14.2	17.0	17.3	15.4	14.4	13.2

NNEXE 6

HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES ARROSAGE (%)

Figure III-2-1-a: humidité du sol avant et après le premier arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=90m ; t_{irr} =91mn

Figure III-2-1-b : humidité du sol avant et après le deuxième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=90m ; t_{irr} =91mn

Figure III-2-1-c : humidité du sol avant et après le troisième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=90m ; t_{irr} =91mn

Figure III-2-1-d : humidité du sol avant et après le quatrième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=90m ; t_{irr} =91mn

Figure III-2-2-a: humidité du sol avant et après le premier arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=50m ; t_{irr} =46mn

Figure III-2-2-b : humidité du sol avant et après le deuxième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=50m ; t_{irr} =46mn

Figure III-2-2-c : humidité du sol avant et après le troisième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=50m ; t_{irr} =46mn

Figure III-2-2-d : humidité du sol avant et après le quatrième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=50m ; t_{irr} =46mn

Figure III-2-3-a: humidité du sol avant et après le premier arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =80mn

Figure III-2-3-b : humidité du sol avant et après le deuxième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =80mn

Figure III-2-3-c : humidité du sol avant et après le troisième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =80mn

Figure III-2-3-d : humidité du sol avant et après le quatrième arrosage trois horizons
Q= 6l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =80mn

Figure III-2-4-a: humidité du sol avant et après le premier arrosage trois horizons
Q= 5l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =50mn

Figure III-2-4-b : humidité du sol avant et après le deuxième arrosage trois horizons
Q= 5l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =50mn

Figure III-2-4-c : humidité du sol avant et après le troisième arrosage trois horizons
Q= 5l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =50mn

Figure III-2-4-d : humidité du sol avant et après le quatrième arrosage trois horizons
Q= 5l/s/m ; L=65m ; t_{irr} =50mn

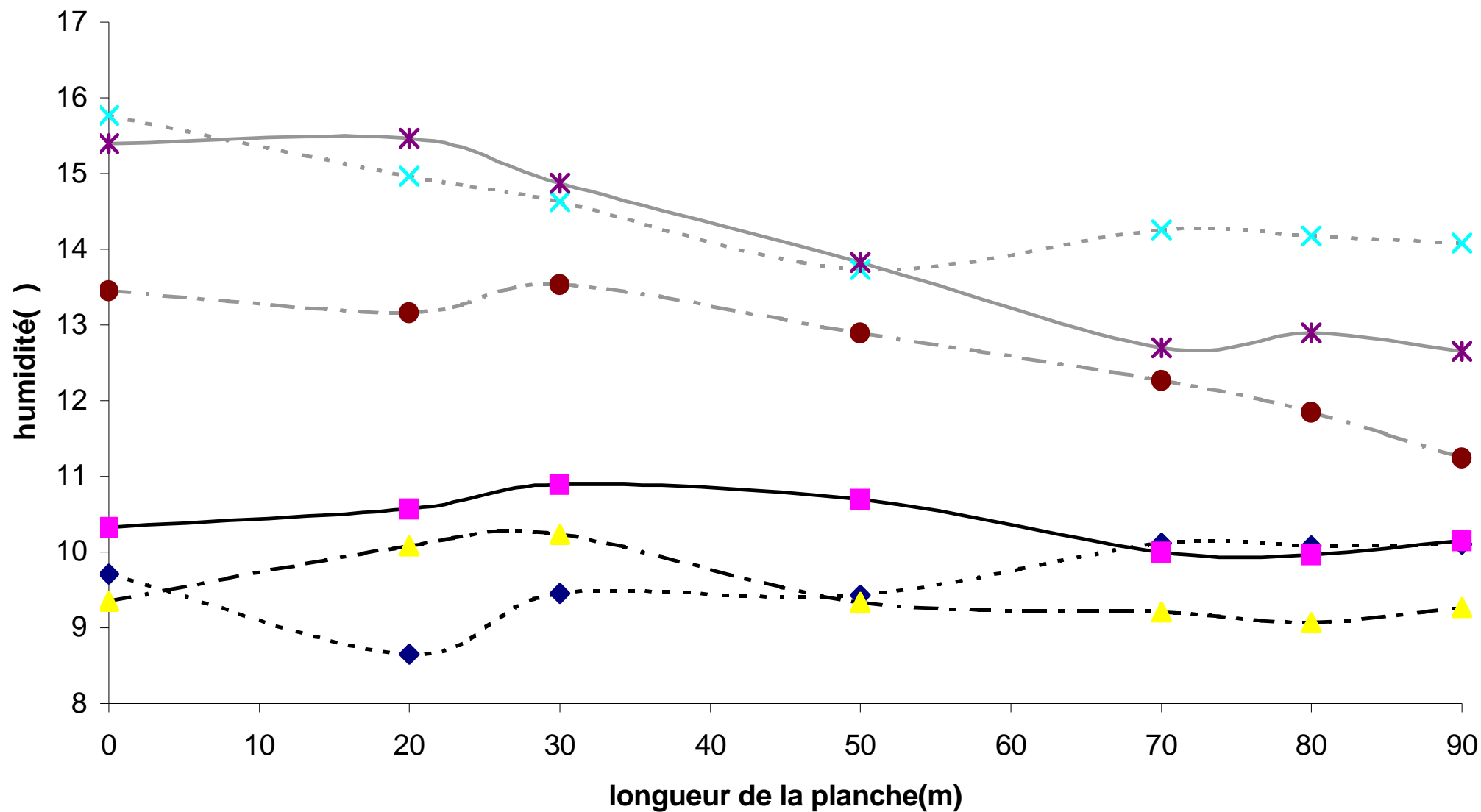


FIGURE III-2-1a:Humidité avant et après le premier arrosage des trois horizons:
 $Q=6l/s/m$; $t=91mn$

- - ◆ - - avant arrosage:horizon1 — ■ — avant arrosage:horizon2 - - ▲ - - avant arrosage:horizon3
- - × - - après arrosage horizon1 — * — après arrosage:horizon2 - - ● - - après arrosage:horizon3

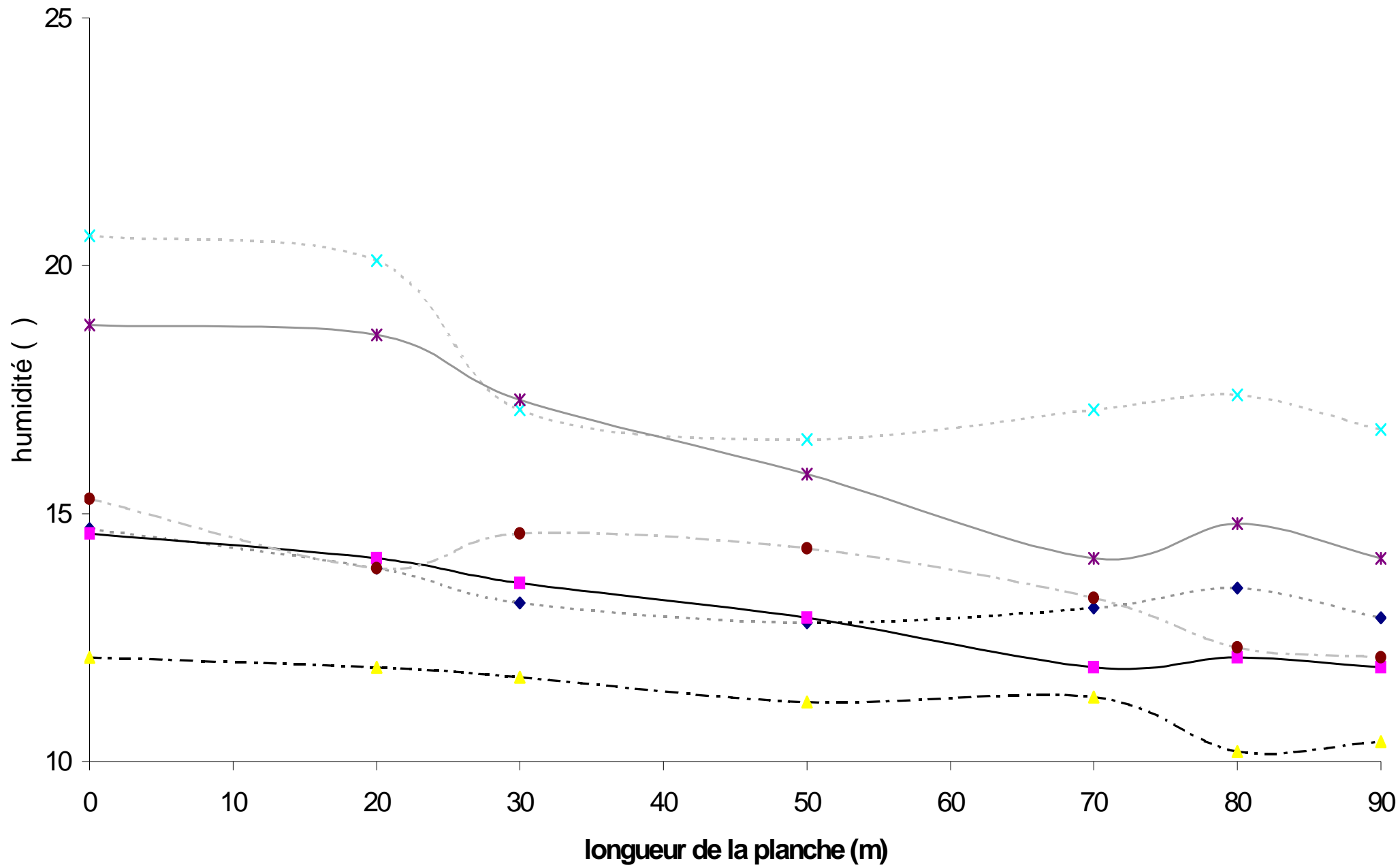


FIGURE III-2-1b: Humidité avant et après le deuxième arrosage des trois horizons:
 $Q=6l/s/m$; 91mm

---◆--- avant arrosage: horizon1 —■— horizon2 -▲- horizon3 ---×--- après arrosage: horizon1 —*— horizon2 —●--- horizon3

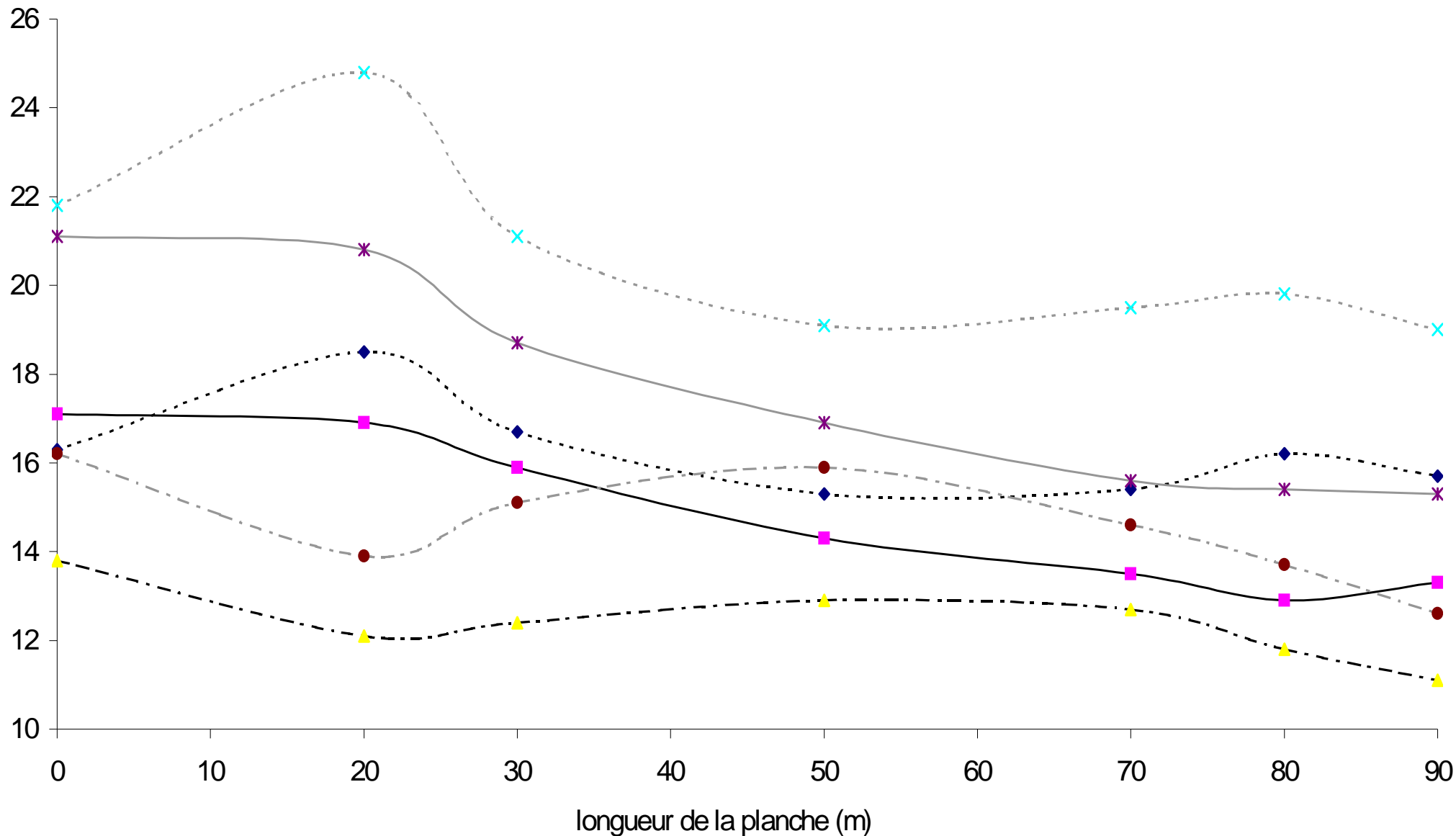


FIGURE III-2-1c : Humidité du sol des trois horizons avant et après le troisième arrosage:

$Q=6l/s/m; t=91m$

- ◆·· avant arrosage:horizon1 —■— avant arrosage:horizon2 -▲- avant arrosage:horizon3
- ×·· après arrosage:horizon1 —*— après arrosage:horizon2 -●- après arrosage:horizon3

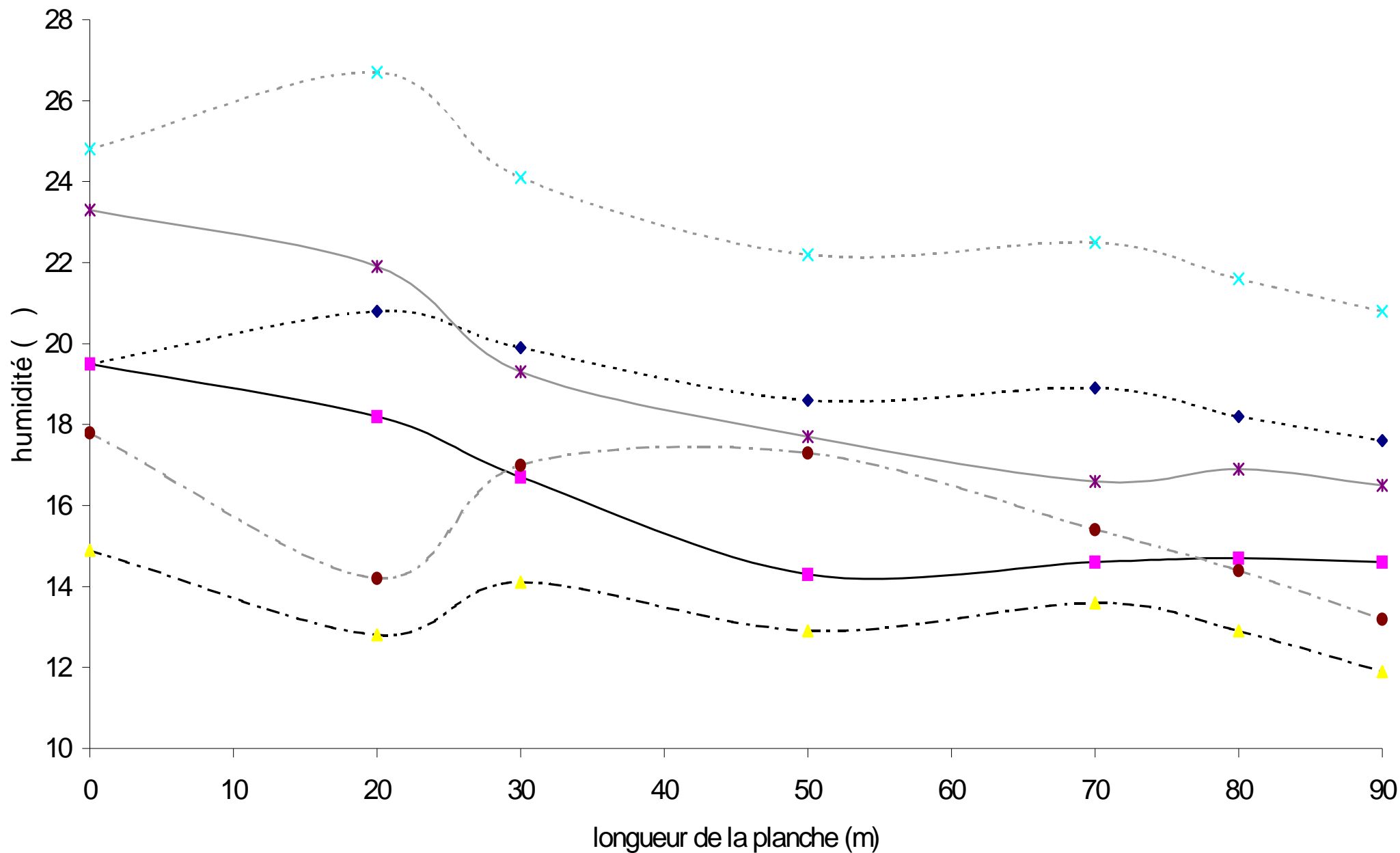


FIGURE III-2-1d° :Humidité du sol des trois horizons avant et après le quatrième arrosage:
 $Q=6l/s/m$; $t=91mn$

- ◆--- avant arrosage: horizon1 —■— avant arrosage: horizon2 -▲- avant arrosage: horizon3
- ×--- après arrosage:horizon1 —*— après arrosage:horizon2 -●- après arrosage:horizon3

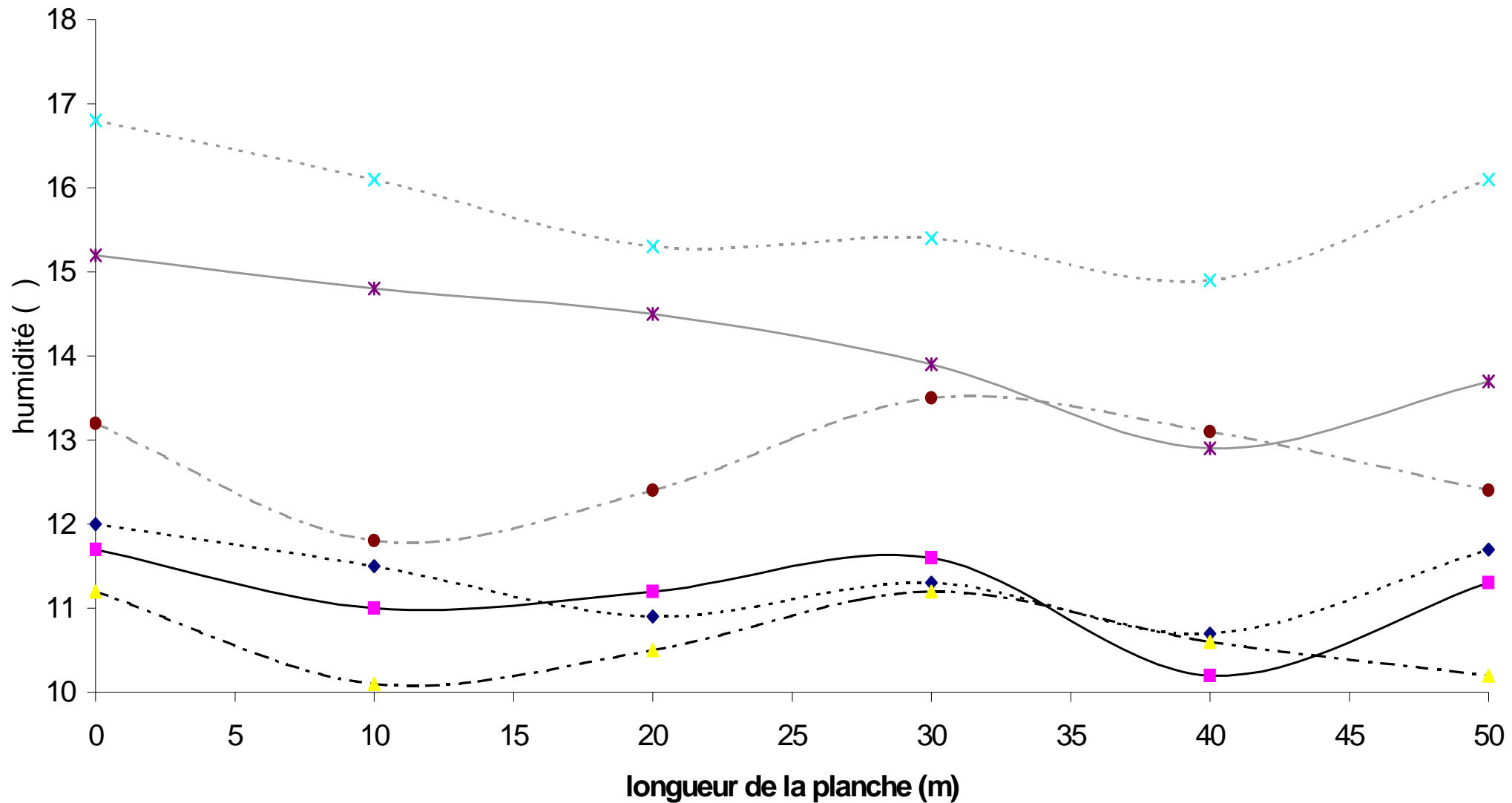


FIGURE III-2-2-a :HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES PREMIER ARROSAGE:
 $Q=6l/s/m$; $t=46mn$

..◆... avant arrosage horizon 1 —■— avant arrosage horizon 2 -▲- avant arrosage horizon 3
 ..×... après arrosage horizon 1 —*— après arrosage horizon 2 -●- après arrosage horizon 3

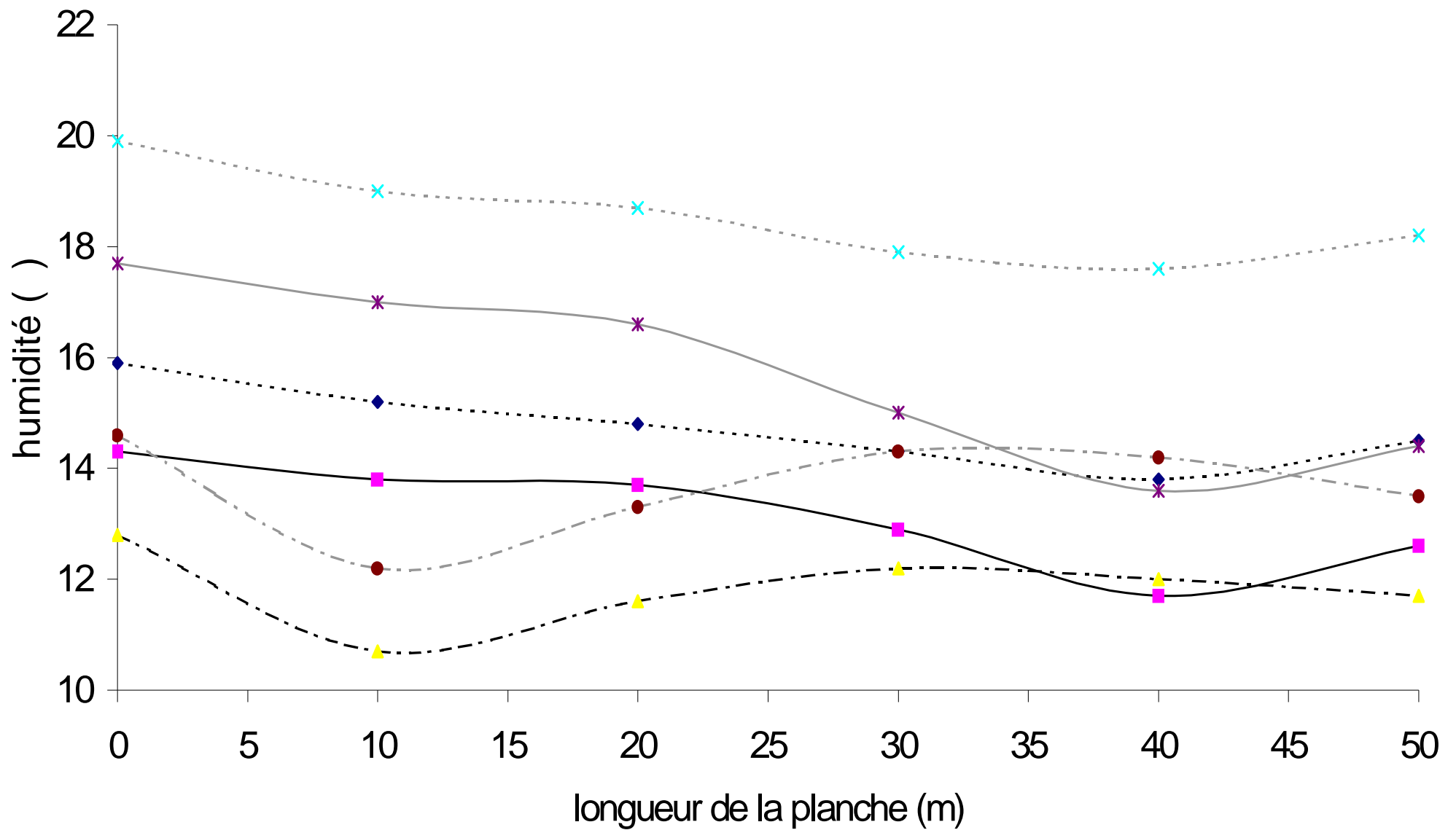


FIGURE III-2-2-b :HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES DEUXIEME ARROSAGE:

$Q=6l/s/m$; $t=46mm$

- - ◆ - - avant arrosage: horizon 1 — ■ — avant arrosage: horizon 2 - - ▲ - - avant arrosage: horizon 3
 - - × - - après arrosage: horizon 1 — * — après arrosage: horizon 2 - - ● - - après arrosage: horizon 3

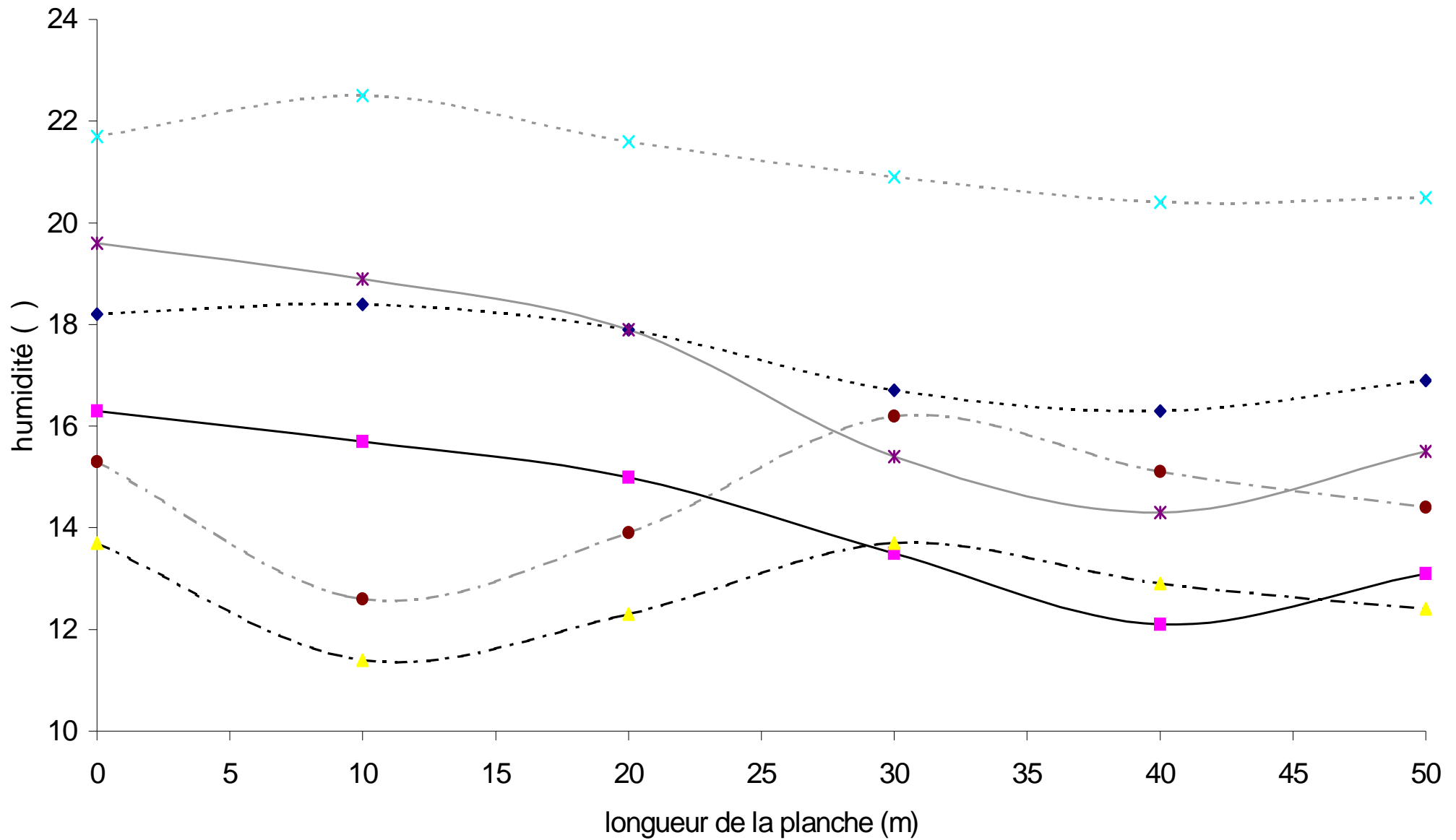


FIGURE III-2-c :HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES TROISIEME ARROSAGE:
 $Q=6l/s/m$; $t=46mn$

- - ◆ - - avant arrosage: horizon 1 - - ■ - - avant arrosage: horizon 2 - - ▲ - - avant arrosage: horizon 3
 - - ✕ - - après arrosage: horizon 1 - - ✕ - - après arrosage: horizon 2 - - ● - - après arrosage: horizon 3

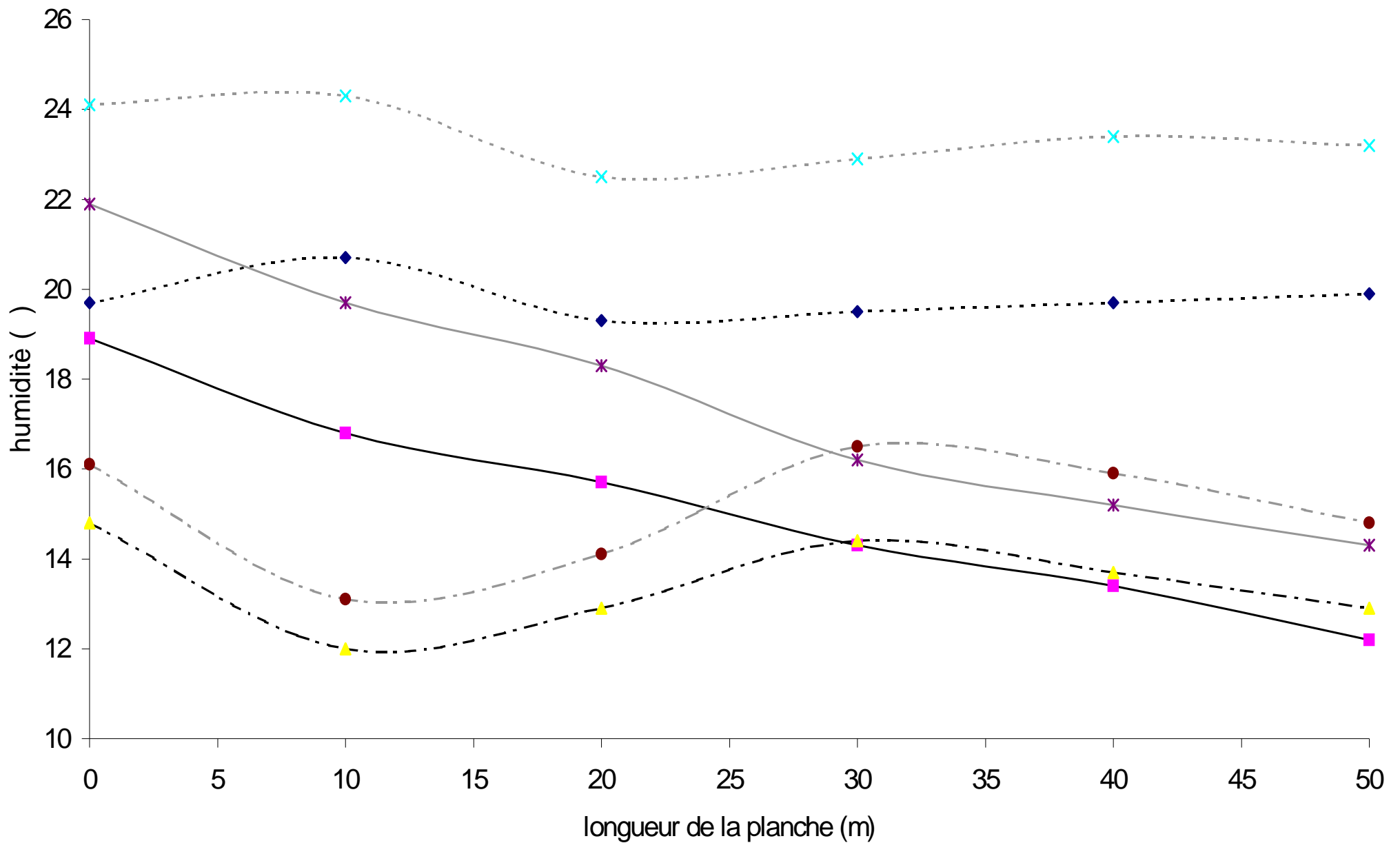


FIGURE III-2-d :HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES QUATRIEME ARROSAGE:
 $Q=6l/s/m$; $t=46mn$

..◆... avant arrosage: horizon 1 —■— avant arrosage: horizon 2 -▲- avant arrosage: horizon 3
 ..×... après arrosage: horizon 1 —*— après arrosage: horizon 2 -●- après arrosage: horizon 3

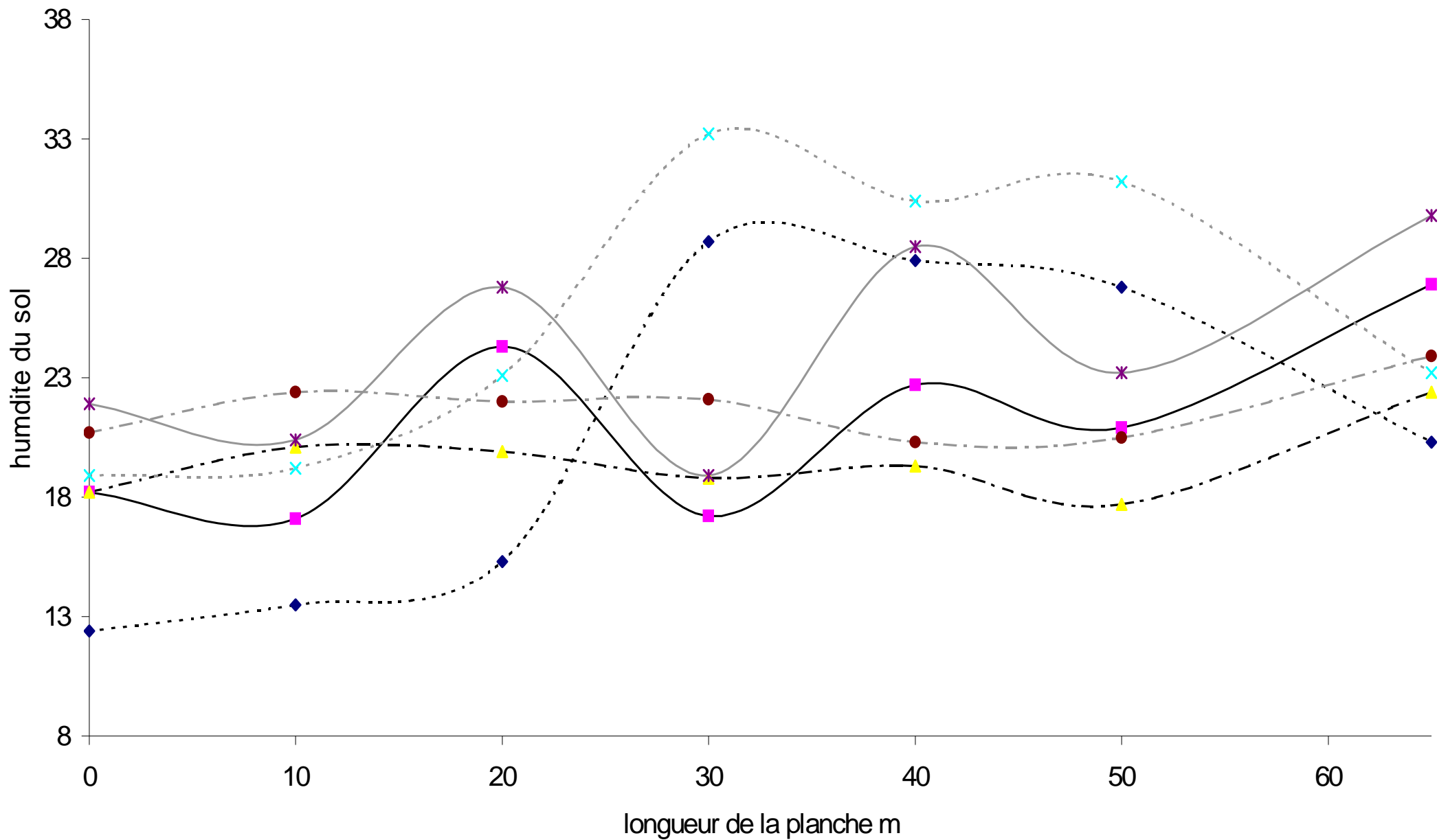


FIGURE III-2-3a. Humidité du sol avant et après le premier arrosage
 $Q=6\text{l/s/m}$, $t=80\text{mn}$

- ◆·· avant arrosage Horizon 1 —■— avant arrosage Horizon 2 -▲- avant arrosage Horizon 3
- ×·· Après arrosage Horizon 1 —*— Après arrosage Horizon 2 -●- Après arrosage Horizon 3

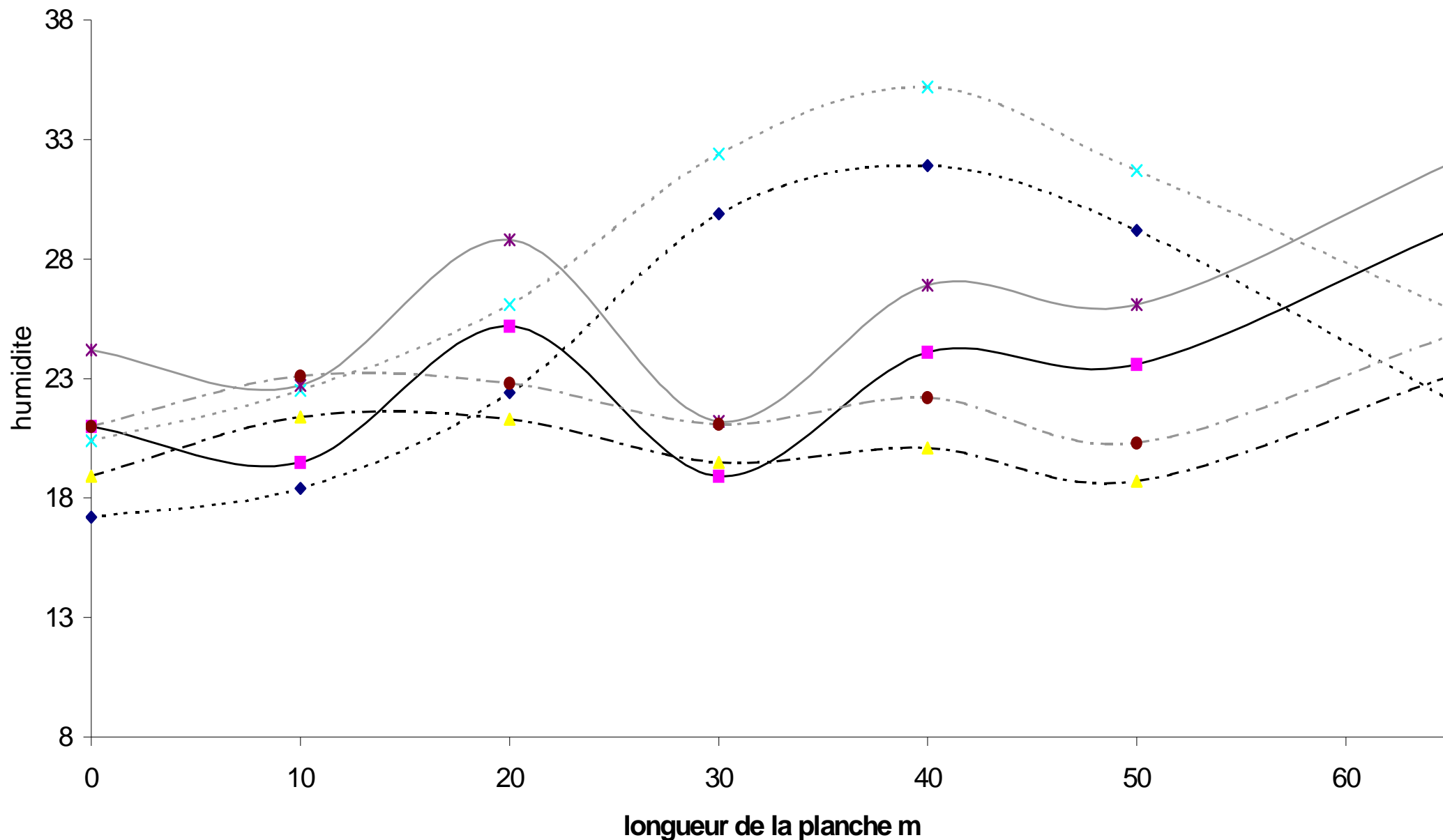


FIGURE III-2-3b. Humidite du sol avant et deuieme arrosage

$Q= 6l/s/m$; $t=80mn$

- ◆--- avant arrosage horizon 1
- avant arrosage horizon 2
- ▲- avant arrosage horizon 3
- ×--- apres arrosage horizon 1
- *— apres arrosage horizon 2
- apres arrosage horizon 3

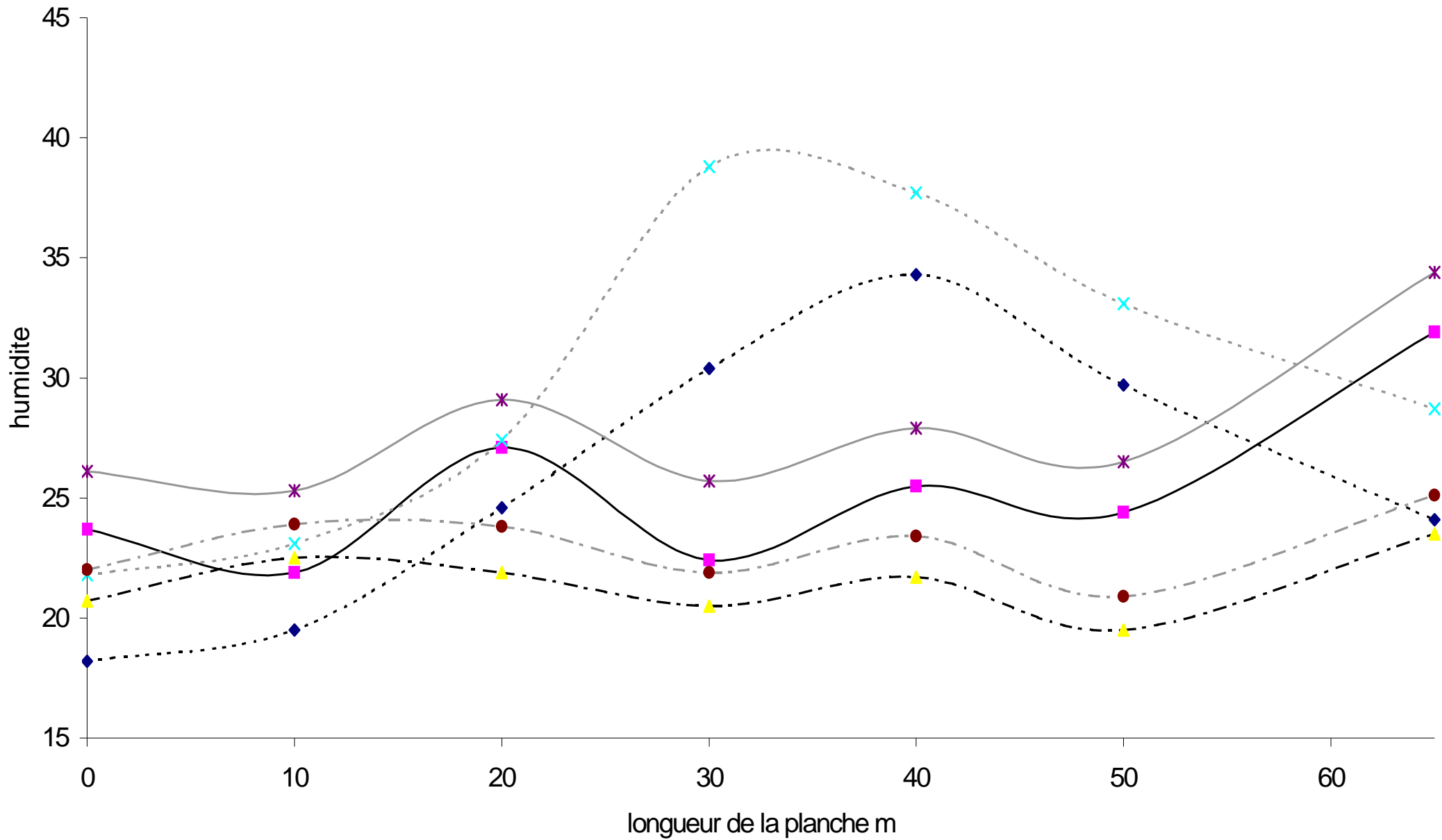


FIGURE III-2-3c. HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES TROISIEME ARROSAGE

$Q=6l/s/m$; $t=80mn$

- ◆·· avant arrosage horizon 1 —■— avant arrosage horizon 2 -▲- avant arrosage horizon 3
- ×·· apres arrosage horizon 1 —*— apres arrosage horizon 2 -●- apres arrosage horizon 3

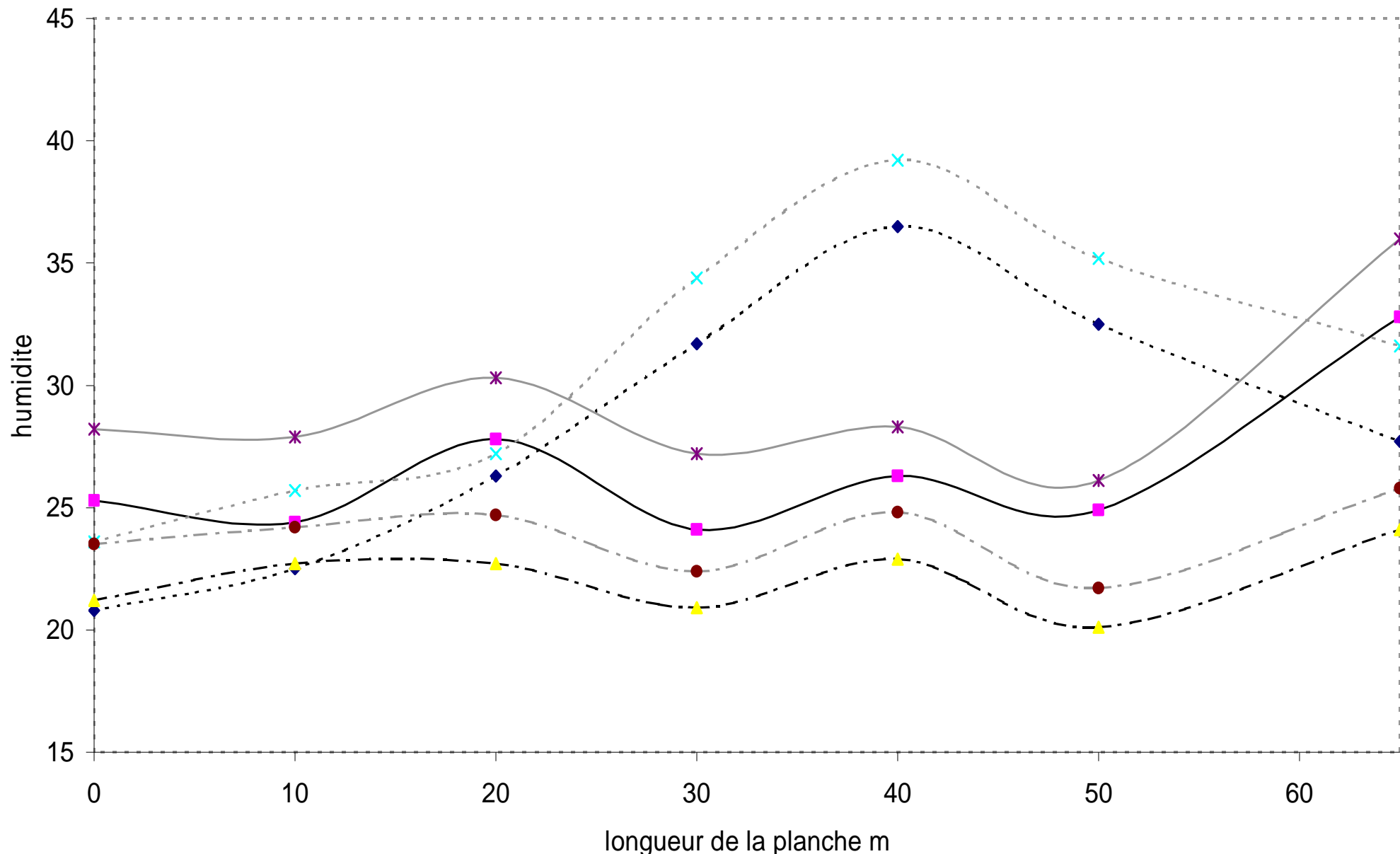


FIGURE III-2-3 d. HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES QUATRIEME ARROSAGE
 $Q=6l/s/m$; $t=80mn$

- ◆·· avant arrosage horizon 1
- avant arrosage horizon 2
- ▲- avant arrosage horizon 3
- ×·· apres arrosage horizon 1
- *— apres arrosage horizon 2
- apres arrosage horizon 3

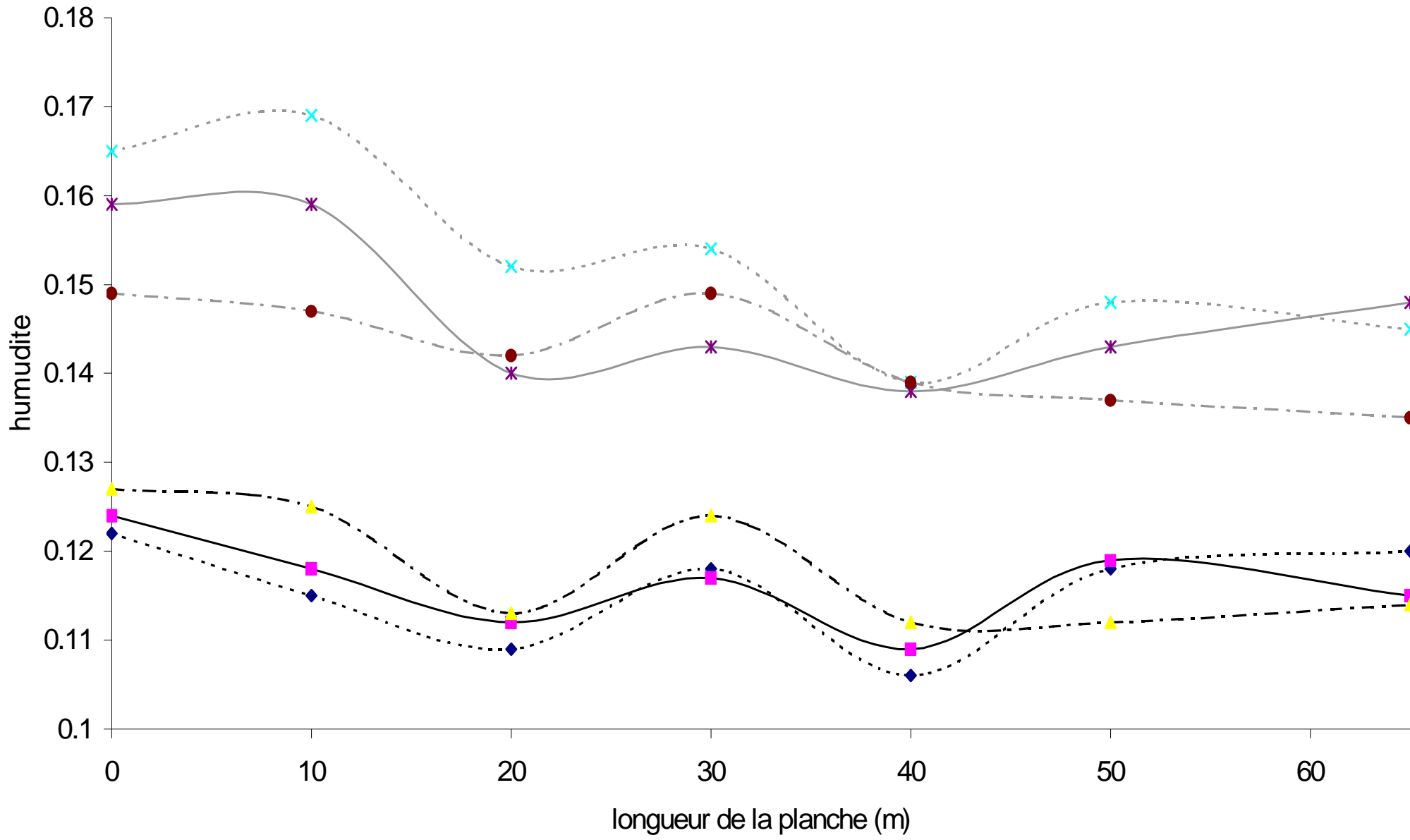


FIGURE III-2-4a: HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES PREMIER ARROSAGE
Q=5l/s/m

- ◆·· avant arrosage: horizon 1 —■— avant arrosage: horizon 2 -▲- avant arrosage: horizon 3
- ×·· après arrosage: horizon 1 —*— après arrosage: horizon 2 -●- après arrosage: horizon 3

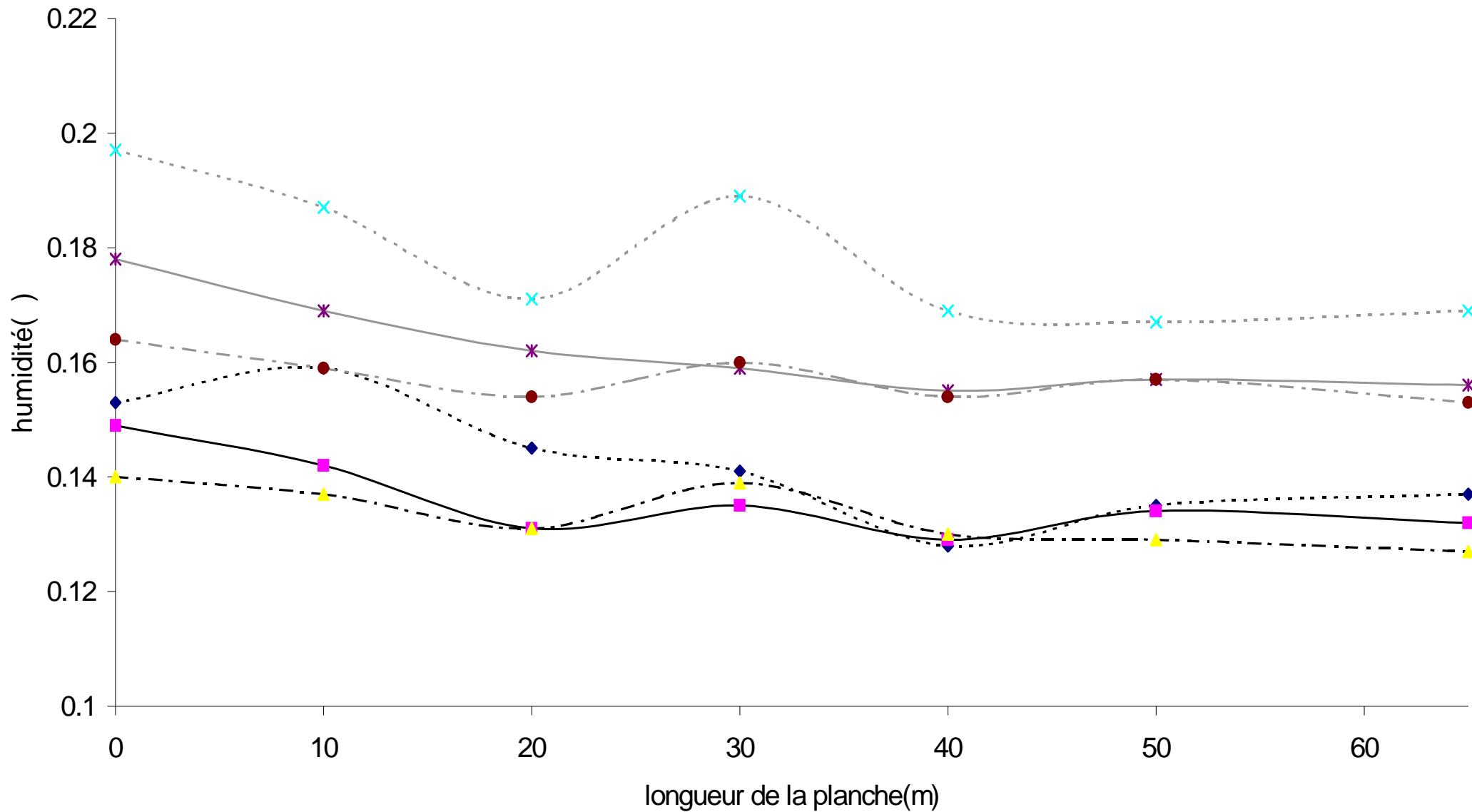


FIGURE III-2-4b: HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES DEUXIEME ARROSAGE:
 $Q=5l/s/m$ $T_{irr}=50mn$

- - ◆ - - avant arrosage:horizon1 - ■ - avant arrosage:horizon2 - ▲ - avant arrosage:horizon3
 - - ✕ - - après arrosage:horizon1 - * - après arrosage:horizon2 - ● - après arrosage:horizon3

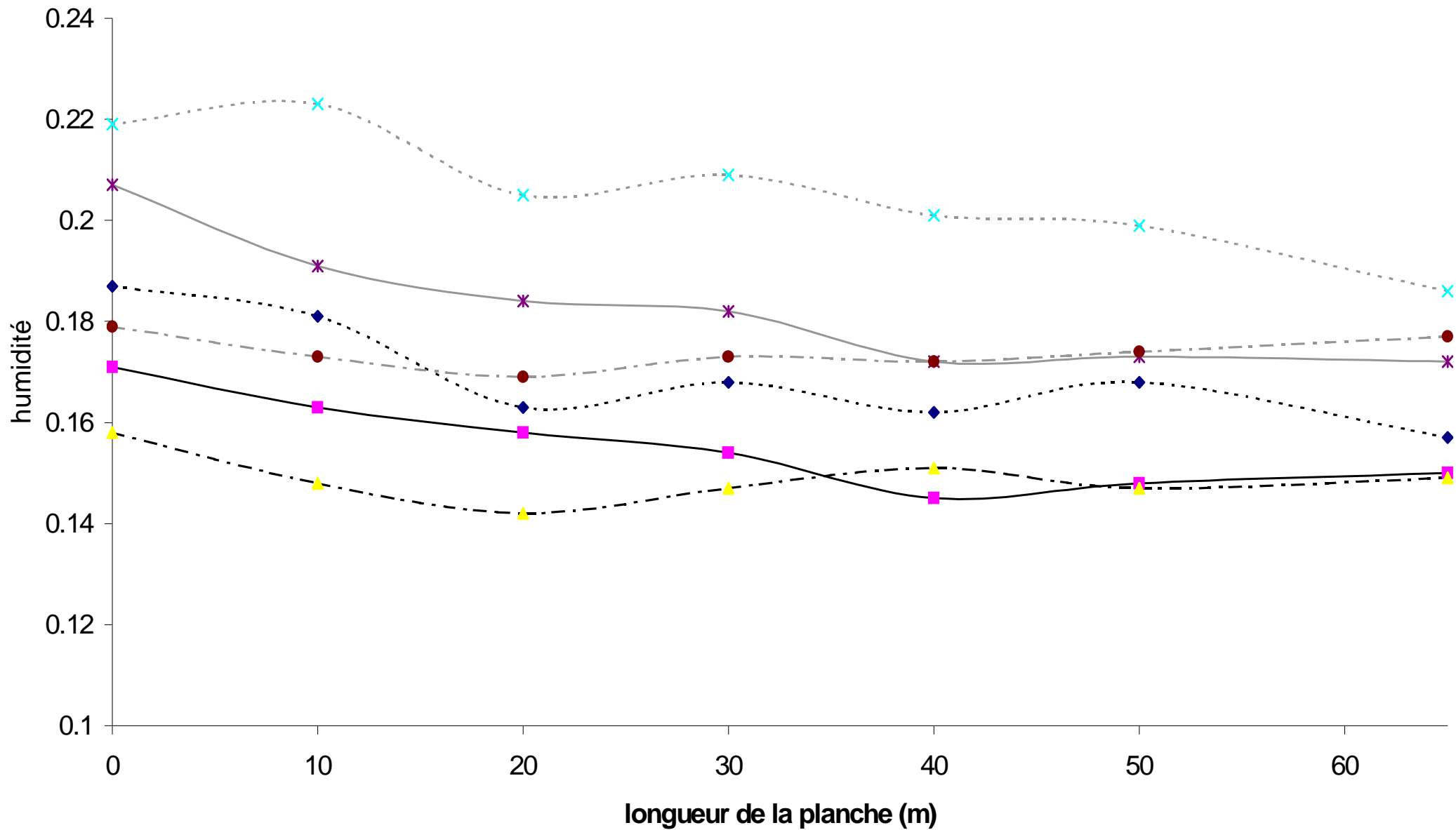


FIGURE III-2-4C: HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES TROISIEME ARROSAGE
 $Q=5l/s/m$ $T_{irr}=50mn$

- - ◆ - - avant arrosage: horizon 1 - ■ - avant arrosage: horizon 2 - ▲ - avant arrosage: horizon 3
 - - ✕ - - après arrosage: horizon 1 - * - après arrosage: horizon 2 - ● - après arrosage: horizon 3

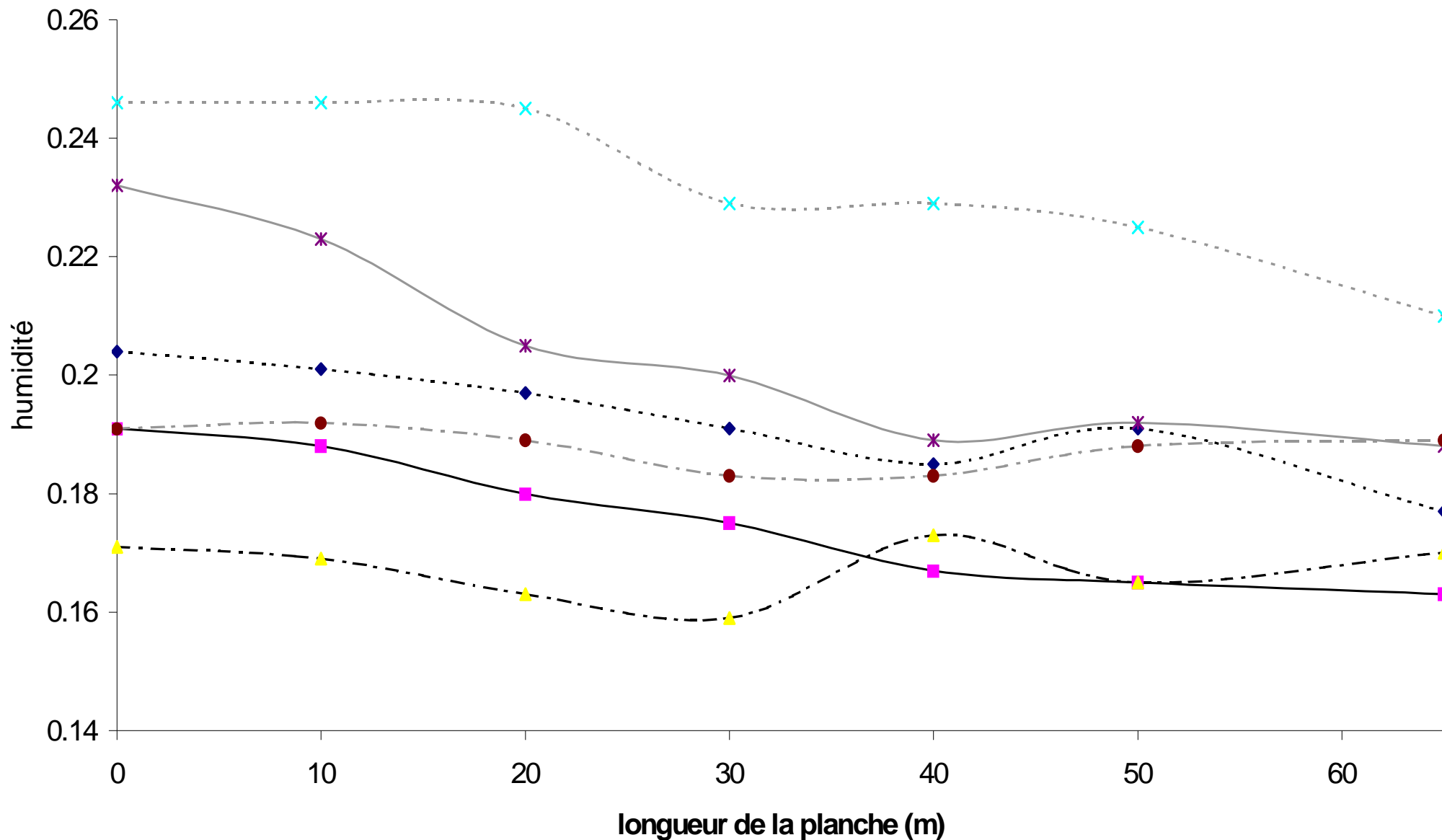


FIGURE III-2-4d: HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES QUATRIEME ARROSAGE
 $Q=5l/s/m$ $T_{irr}=50mm$

..◆... avant arrosage: horizon 1 —■— avant arrosage: horizon 2 -▲- avant arrosage: horizon 3
 ..×... après arrosage: horizon 1 —*— après arrosage: horizon 2 -●- après arrosage: horizon 3

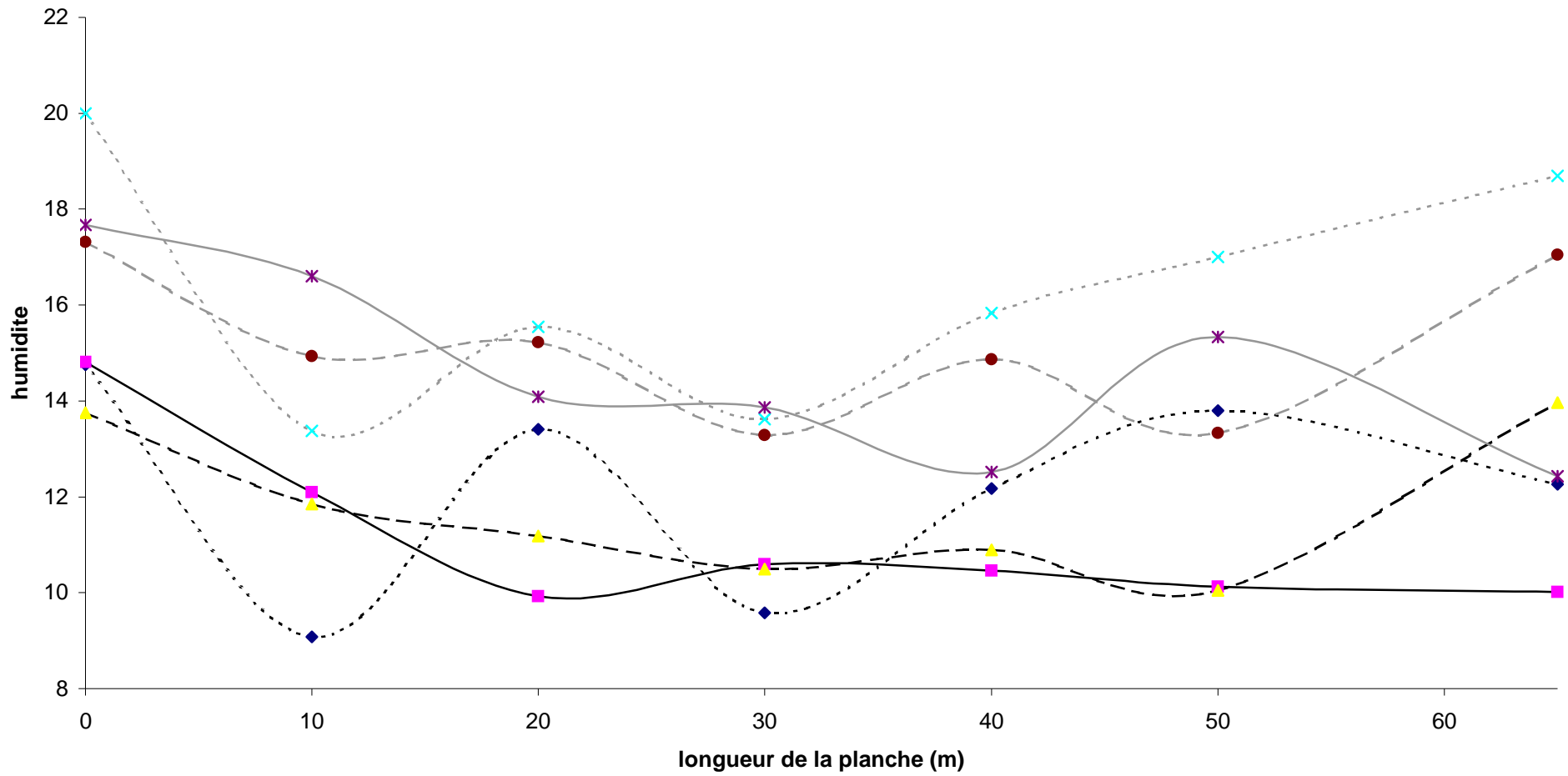


FIGURE III-1-5-a:HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES LE PREMIER ARROSAGE

--◆-- avant arrosage:horizon1 —■— avant arrosage:horizon2 -▲- avant arrosage:horizon3
 --×-- apres arrosage:horizon1 *— apres arrosage:horizon2 -●- apres arrosage:horizon3

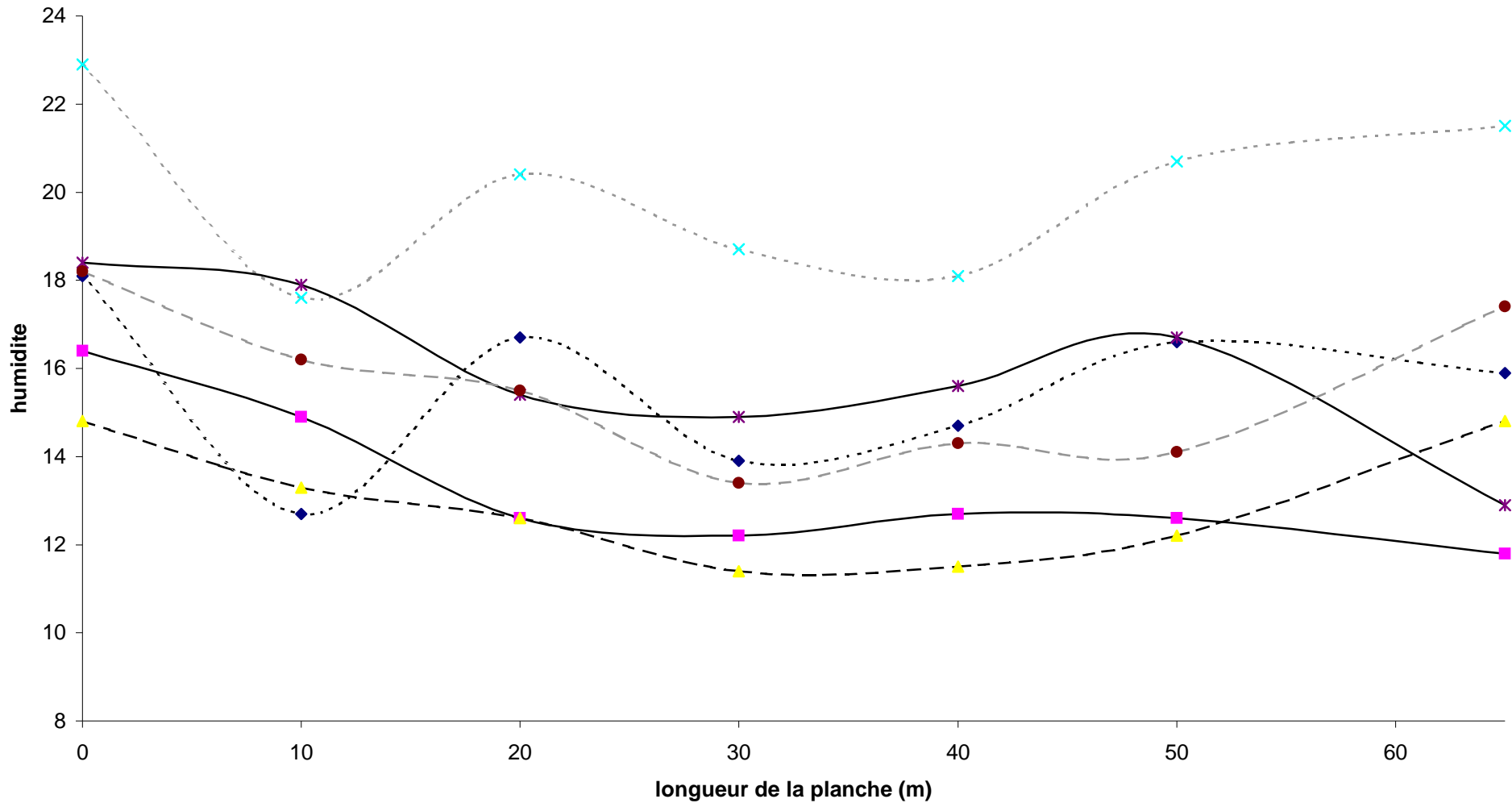


FIGURE III-2-5-b:HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES LE DEUXIEME ARROSAGE

--◆-- avant arrosage:horizon1 —■— avant arrosage:horizon2 -▲- avant arrosage:horizon3 -×- apres arrosage:horizon1
 —*— apres arrosage:horizon2 -●- apres arrosage:horizon3 —+— سلسلة 7

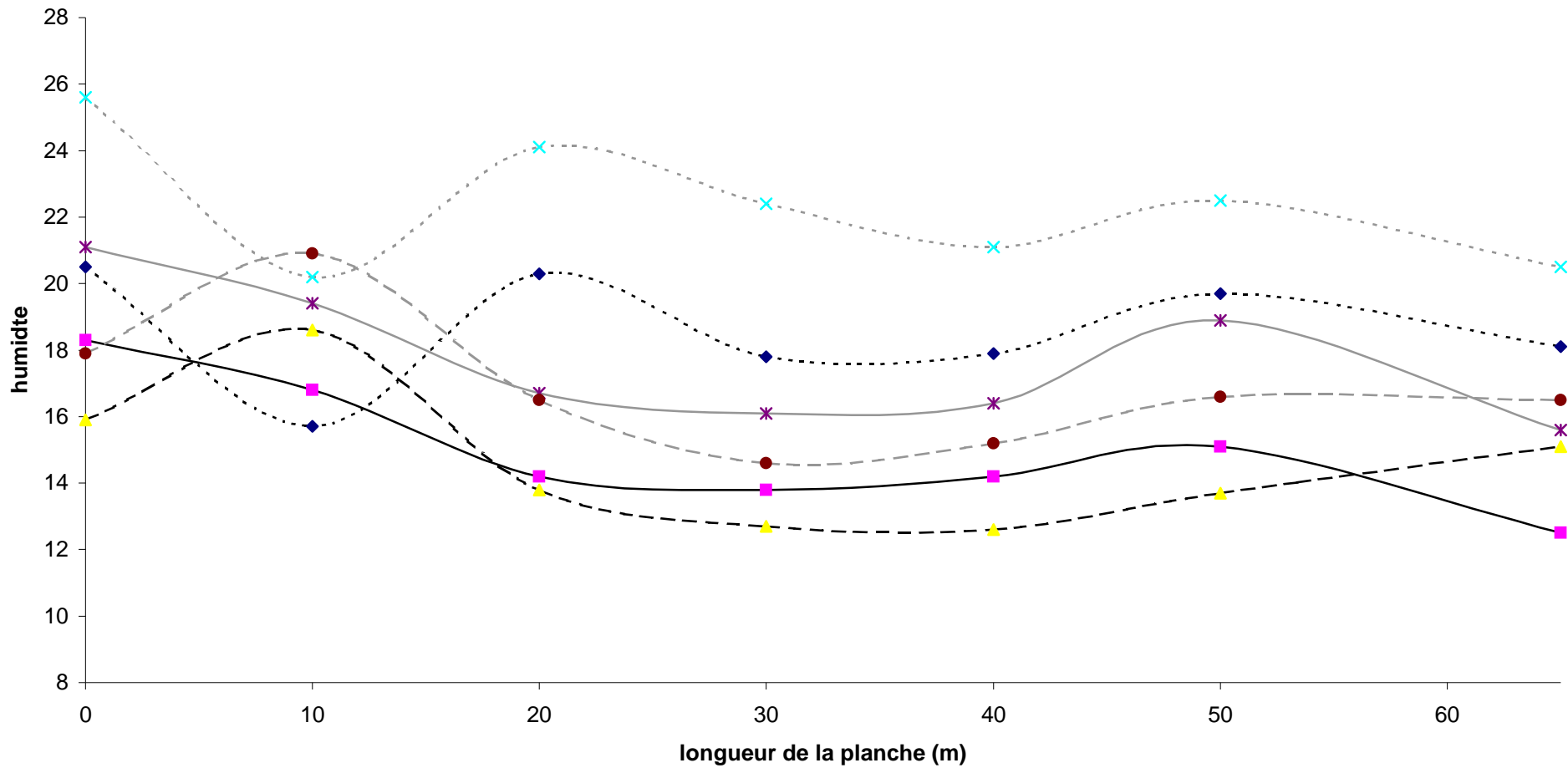


FIGURE III-2-5-c:HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES LE TROISIEME ARROSAGE

--◆-- avant arrosage:horizon1 —■— avant arrosage:horizon2 -▲- avant arrosage:horizon3
 --×-- apres arrosage:horizon1 —*— apres arrosage:horizon2 -●- apres arrosage:horizon3

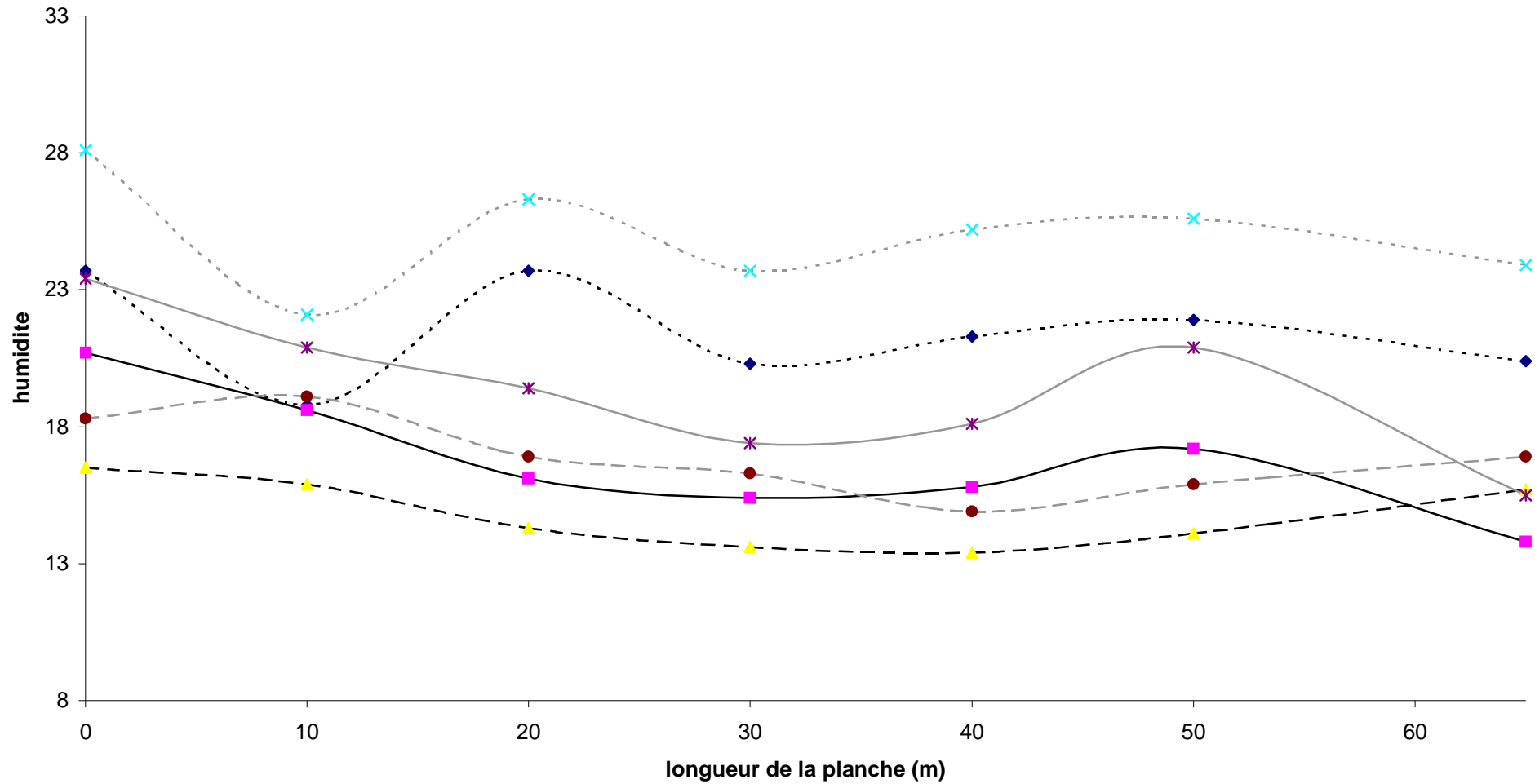


FIGURE III-2-5-d:HUMIDITE DU SOL AVANT ET APRES LE QUATRIEME ARROSAGE

--◆-- avant arrosage:horizon1 —■— avant arrosage:horizon2 -▲- avant arrosage:horizon3
 --×-- apres arrosage:horizon1 —*— apres arrosage:horizon2 -●- apres arrosage:horizon3

