

IICA-CIDIA



INSTITUT INTERAMÉRICAIN DE COOPERATION POUR L'AGRICULTURE

no de  
Documentación e  
Información Agrícola

31 MAR 1987

IICA - CIDIA

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

☆☆ MARND R  
☆☆ F A M V  
☆☆ I I C A

☆☆ **PREMIER** ☆☆  
☆☆ **COURS NATIONAL** ☆☆  
☆☆ **POST-GRADUE** ☆☆  
☆☆ **SUR L'IRRIGATION,** ☆☆  
☆☆ **LE DRAINAGE** ☆☆  
☆☆ **ET LA GESTION** ☆☆  
☆☆ **DES RESSOURCES** ☆☆  
☆☆ **HYDRIQUES** ☆☆

☆☆ 15 Juillet - 30 Septembre 1955 ☆☆

☆☆ Port-au-Prince, Haïti ☆☆

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

Information de Base des Cultures  
pour l'Aménagement de l'application  
de l'Irrigation

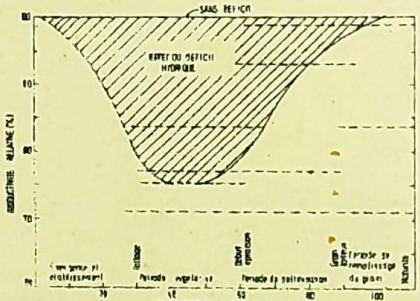


Fig. 11. Effet du déficit précoce d'eau sur la production relative de la culture. (Source: données de l'Institut Interaméricain de Coopération pour l'Agriculture, 1955)

Par:

Agustin A. Millar, Ph.D.  
Spécialiste en Irrigation  
et Drainage  
IICA-République Dominicaine

Traduction et Edition: Humberto Pizarro  
Spécialiste en Irrigation  
et Drainage  
IICA-Haïti

Misc. Publ. 598-ISSN-0534-5391

88



MAR 1987

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

☆☆ MARND R ☆☆  
☆☆ FAM V ☆☆  
☆☆ IICA ☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

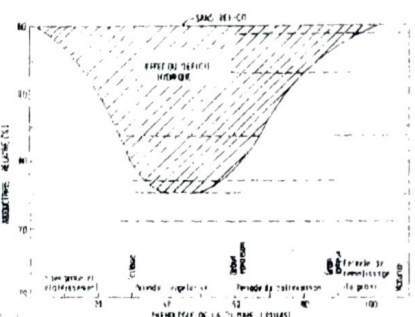
☆☆ **PREMIER** ☆☆  
☆☆ **COURS NATIONAL** ☆☆  
☆☆ **POST-GRADUE** ☆☆  
☆☆ **SUR L'IRRIGATION,** ☆☆  
☆☆ **LE DRAINAGE** ☆☆  
☆☆ **ET LA GESTION** ☆☆  
☆☆ **DES RESSOURCES** ☆☆  
☆☆ **HYDRIQUES** ☆☆

☆☆ 15 Juillet - 30 Septembre 1955 ☆☆

☆☆ Port-au-Prince, Haïti. ☆☆

☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆☆

Information de Base des Cultures pour l'Aménagement de l'application de l'Irrigation



Par:  
Agustín A. Millar, Ph.D.  
Spécialiste en Irrigation  
et Drainage  
IICA-République Dominicaine

Traduction et Edition: Humberto Pizarro  
Spécialiste en Irrigation  
et Drainage  
IICA-Haïti

Misc. Publ. 508-INSN-0534-5391

IICA  
BIBLIOTECA

00008277

~~BV-000192~~

~~00000027~~

PREMIER COURS NATIONAL POST-GRADUE  
SUR L'IRRIGATION, LE DRAINAGE  
ET LA GESTION DES RESSOURCES HYDRIQUES

COORDINATION:

INSTITUT INTERAMERICAIN DE  
COOPERATION POUR L'AGRICULTURE (IICA)  
FACULTE D'AGRONOMIE ET  
MEDECINE VETERINAIRE (FAMV)

SOUTIEN FINANCIER:

AGENCE DE DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL (USAID)  
AGENCE CANADIENNE POUR LE DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL (ACDI)  
INSTITUT INTERAMERICAIN DE COOPERATION POUR L'AGRICULTURE (IICA)  
MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DES RESSOURCES NATURELLES ET  
DEVELOPPEMENT RURAL (MARNOR)  
FACULTE D'AGRONOMIE ET MEDECINE VETERINAIRE (FAMV)

TEXTE :	INFORMATION DE BASE DES CULTURES POUR L'AMENAGEMENT DE L'APPLICATION DE L'IRRIGATION
DACTYLOGRAPHIE	LAURENCE JOACHIM
DESSINS	JEAN ROBERT MOREL
IMPRESSION :	JEAN NICOLAS JOSEPH
ORIGINAL :	ESPAGNOL
TRADUCTION :	HUMBERTO PIZARRO-JULIETTE MOREL
REVISION DE TRADUCTION :	ARIEL AZAEL

## TABLE DE MATIERES

	PAGE
TABLE DE MATIERES	i
LISTE DE TABLEAUX	iii
LISTE DE FIGURES	iv
I INTRODUCTION	1
II INFORMATION GENERALE TROUVEE DANS LA LITTERATURE	1
III ELEMENTS METHODOLOGIQUES	11
3.1 Information sur la productivité	11
3.2 Définition du potentiel du sol et profondeur effective	13
3.3 Définition du niveau de production réelle en fonction du potentiel matriciel du sol	13
3.4 Productivité relative en fonction du potentiel matri- ciel du sol et la phénologie de la culture	13
IV INFORMATION DE BASE DES CULTURES POUR LA GESTION DE L'IRRI- GATION	15
4.1 Blé et l'orge	15
4.2 Mais	20
4.3 Les haricots	25
4.4 Quelques cultures maraichères	28
4.4.1 Oignon	29
4.4.2 Pommes de terre	33
4.4.3 La laitue	37
4.4.4 La tomate	40
4.4.5 Autres Cultures	43
4.5 Plantes fourragères	46
4.5.1 Luzerne	46
4.5.2 Trèfle	48
4.5.3 Fourrages annuels	48
4.5.4 Fourrages permanents	53
4.6 Les cultures Industrielles	55
4.6.1 Le coton	55
4.6.2 La Canne à Sucre	55

	PAGE
4.7 RESUME de la réponse des Cultures à l'aménagement de l'irrigation	58
4.8 Emploi de l'information dans des zones irriguées	62
4.8.1 Données nécessaires	62
4.8.2 Exemple de l'emploi de l'information	64
V BIBLIOGRAPHIE	72

## LISTE DE TABLEAUX

TABLEAU	PAGE
I-1 Potentiel Matriciel (suction) du sol auquel on doit irriguer pour obtenir la productivité maximale des cultures	4
I-2 Périodes critiques au déficit d'humidité de quelques cultures	7
I-3 Niveau de productions des différentes cultures aménagées pour être irriguées d'après le potentiel matriciel du sol	61

## LISTE DE FIGURES

FIGURE	PAGE	
I-1	Rélation entre les niveaux d'eau disponible utilisée et le potentiel matriciel pour différents types de texture du sol (Haise et Hagen 1967)	14
I-2	Productivité relative du blé et l'orge en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation	18
I-3	Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité du blé et l'orge	19
I-4	Productivité relative du Mais ( <i>Zea Mays L.</i> ) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	23
I-5	Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité relative du maïs (Millar 1976)	24
I-6	Productivité relative des haricots en fonction du potentiel matriciel du sol (Magalhaes et Millar 1978)	26
I-7	Productivité relative des haricots en fonction du cycle phénologique (Magalhaes et al.)	27
I-8	Productivité relative des haricots verts en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	30
I-9	Productivité relative de l'oignon ( <i>Allium cepa</i> ) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel est appliqué l'eau (Millar 1976)	31
I-10	Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité relative de l'oignon (Millar 1976)	32
I-11	Productivité relative des pommes de terre en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	35



FIGURE	PAGE
I-12 Effet du déficit phénologique de l'eau sur la productivité des pommes de terre (Millar 1976)	36
I-13 Productivité relative de la Laitue ( <i>Lactuca sativa</i> ) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	38
I-14 Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité de la Laitue et du chou	39
I-15 Productivité relative de la tomate ( <i>Lycopersicum esculentum</i> ), en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation	42
I-16 Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité relative de la tomate industrielle (Choudhury et Millar 1978)	44
I-17 Productivité relative du melon ( <i>Cucumis melo</i> ) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	45
I-18 Productivité relative de la Luzerne ( <i>Medicago sativa</i> ) pour la production de semences et matière sèche en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	47
I-19 Productivité relative du trèfle blanc, rose, latin, en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	49
I-20 Productivité relative des fourrages annuels en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	50
I-21 Productivité des grains de Millet en fonction du potentiel matriciel du sol (Silva et al. 1980)	51

FIGURE	PAGE
I-22 Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité relative du sorgho-graminé basé sur les données de Steward et al. 1974 (Millar 1984)	52
I-23 Productivité relative de fétuque, falaris et dactylis en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)	54
I-24 Productivité relative du coton ( <i>Gossypium hirsutum</i> L.) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation	56
I-25 Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité relative du coton (Millar 1976)	57
I-26 Croissance relative de la tige de la Canne à Sucre ( <i>Saccharum officinarum</i> ) en fonction du potentiel matriciel du sol	59
I-27 Schéma opérationnel pour définir la fréquence d'irrigation au niveau de la parcelle (Millar et Choudhury 1960)	63
I-28 Organigramme du modèle MOFO pour déterminer la fréquence d'opération d'irrigation pour obtenir la productivité maximale (Millar et Choudhury)	
I-29 Variation du potentiel matriciel du sol Vertisol en fonction du temps-après l'irrigation pour différents patrons d'extraction de l'humidité.	66
I-30 Variation du potentiel matriciel du sol Latosol en fonction du temps après l'irrigation pour différents patrons d'extraction de l'humidité (Millar 1984)	67
I-31 Niveau de productivité de différentes cultures dans le sol Vertisol en fonction de la fréquence de l'irrigation à travers du cycle végétatif (Millar 1984)	69

FIGURE	PAGE
I-32 Niveau de productivité des différentes cultures dans le sol oxisol en fonction de la fréquence d'irrigation à travers du cycle végétatif	70

## INFORMATION DE BASE DES CULTURES POUR L'AMENAGEMENT DE L'APPLICATION DE L'IRRIGATION.

### I. INTRODUCTION

La productivité et la qualité des cultures ont augmenté très rapidement depuis 1945, principalement à cause de l'utilisation de variétés améliorées, l'emploi des fertilisants, la meilleure utilisation de l'eau d'irrigation, le contrôle des pestes et maladies, etc... Parmi les facteurs complémentaires de la production agricole, l'eau est celui qui plus fréquemment limite la productivité, de telle manière que le contrôle de l'humidité du sol est critique pour le succès de l'agriculture irriguée. En général, les cultures répondent (dans un niveau plus ou moins grand) aux conditions variables de l'humidité du sol de telle sorte que pour exécuter une gestion adéquate et efficace de l'irrigation, il est indispensable de connaître l'effet qualitatif du déficit hydrique sur la productivité des cultures.

Dans ce chapitre, on présente l'information de base de quelques cultures pour une gestion adéquate et efficiente de l'irrigation. Cette information a été obtenue par Millar (1976). En se servant d'une méthodologie d'analyses qui lui avait permis d'utiliser des données mondiales et déterminer les degrés de gestion de l'irrigation pour différentes cultures afin de maximiser le niveau de productivité réelle.

### II. INFORMATION GENERALE TROUVEE DANS LA LITTERATURE.

Il existe dans la littérature d'abondants résultats d'expériences réalisées qui ont eu pour objectif d'étudier les niveaux d'humidité dans le sol sur la productivité des cultures (Haise et Hagan 1967, Salter et Goode 1967, Taylor 1965). Ces données ont permis de définir le niveau du potentiel matriciel (la succion) du sol auquel il faut appliquer l'eau pour obtenir la productivité maximale des cultures.

Dans le Tableau I-1, on présente les valeurs du potentiel matriciel du sol auxquelles on doit irriguer pour obtenir la productivité maximale des cultures lorsqu'elles croissent dans des sols profonds et dans des conditions de drainage et de fertilité.

D'après le Tableau I-1, on conclut que la plupart des cultures doivent être irriguées avant que le potentiel matriciel du sol arrive à  $-0.7$  bar, pour obtenir une productivité maximale. Dans quelques cas tels que fraise, céleri et canne à sucre, il est nécessaire d'irriguer aux valeurs élevées du potentiel matriciel (baisse succion). Les indications du Tableau I-1 permettent de définir les niveaux optimaux auxquels on doit irriguer. Cependant, en général, les conditions d'opération (équipement, modalité d'irrigation, climat et main-d'oeuvre) empêchent la réalisation d'une gestion de l'irrigation dans des conditions optimales. Malgré qu'elle soit une information de base qui permet de définir le niveau potentiel de productivité, il est très important de connaître l'effet du niveau d'humidité en dehors de l'optimum afin d'être en mesure de définir le niveau de gestion de l'irrigation auquel le planteur peut s'adapter pour obtenir une productivité maximale tout en tenant compte de ses possibilités ainsi que des conditions d'opération et de climat. Ce renseignement n'est peut pas être obtenu du Tableau I-1; cependant Millar (1976) a défini une méthodologie et une procédure d'analyse des résultats de recherches qui permettent de déterminer la gestion de l'irrigation pour toute situation opérationnelle. Ces résultats sont montrés dans ce Chapitre.

Par ailleurs, de nombreux travaux ont permis de définir les périodes du cycle végétatif des cultures, pendant lesquelles le déficit d'eau produit une baisse importante de la productivité. Cette période est dénommée "Période critique de la Culture". L'information existante dans la littérature qui permet de définir ces périodes pour différente

cultures, se présente dans le Tableau I-2. Pour la gestion de l'irrigation et la prise de décision, cette information est très valable mais pas complète.

Afin de disposer de tous les renseignements requis, il est nécessaire aussi de connaître l'effet du déficit hydrique avant et après la période critique. Le déficit hydrique dans d'autres étapes du cycle végétatif de la culture diminue la productivité, au taux plus faible, mais que dans la gestion des cultures irriguées constitue un renseignement important.

Cette dernière information est obtenue à travers de la méthodologie employée par Millar (1976), laquelle permet de définir de façon quantitative le niveau de diminution de la productivité de la culture dans toutes les étapes du cycle végétatif.

Tableau I-1. Potentiel matriciel (succion) du sol auquel on doit irriguer pour obtenir la productivité maximale des cultures.

CULTURE	POTENTIEL MATRICIEL (BAR)	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
CULTURES MARAICHÈRES		
Chou	-(0,60-0,70)	Vittum et al. (1963) Pew (1958)
Pois	-(0,30-0,50)	Taylor (1965)
Celeri	-(0,20-0,30)	Haise y Hagan (1967)
Laitue	-(0,40-0,60)	Vissar (1959), Pew (1958)
Mais sucré	-(0,50-1,0 )	Vittum et al. (1963)
Oignon	-(0,45-0,65)	Pew (1958)
Pomme de terre	-(0,30-0,50)	Vittum et al. (1963) Pew (1958)
Carotte	-(0,55-0,65)	Pew (1958)
Chou-fleur	-(0,60-0,70)	Pew (1958)
Tomate	-(0,80-1,50)	Vittum et al. (1958) Vittum et al. (1963)
Cocombre	-(1,0 -3,0 )	Doorenbos y Pruitt (1975)
Carotte pour semences	-(4,0 -6,0 )	Hawthorne (1951)
Oignons pour semences	1,50	Haise y Hagan (1967)
SEMENCES		
Blé	-(0,50-1,50)	Doorenbos y Pruitt (1965)
Blé (maturité)	-(3,0 -4,0 )	Doorenbos y Pruitt (1975)

CULTURE	POTENTIEL MATRICIEL (BAR)	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
Mais vert	- 0,50	Taylor (1965)
Mais (maturité)	-(8,0 -12,0)	Taylor (1965)
Céréales verts	-(0,40- 0,50)	Taylor (1965)
Haricot	-(0,75- 2,0)	Vittum et al. (1963)
FRUITS ET ARBRES FRUITIERS		
Fraise	-(0,20- 0,30)	Haise y Hagan (1967)
Cantaloupe	-(0,35- 0,40)	Marsh (1961), Few (1958)
Banane	-(0,30- 1,50)	Schmueli (1953)
Vigne (plantation établie)	-(0,40- 0,50)	Haise y Hagan (1967)
Vigne (transplantée)	- 1,0	Haise y Hagan (1967)
Citronier	- 4,0	Haise y Hagan (1967)
Oranger	-(0,20- 1,0 )	Stolzy et al. (1963)
Avocatier	- 0,50	Richards et al. (1962)
Melon	-(0,30- 0,80)	Doorenbos y Pruitt (1975)
PLANTES FOURRAGERES		
Petit mil	-(0,60- 1,3 )	Doorenbos y Pruitt (1975)
Luzerne	- 1.50	Taylor (1965)
LUZERNE POUR SEMENCES		
Préfloraison	- 3,0	Taylor et al. (1958)
Floraison	-(4,0 - 8,0 )	Taylor et al. (1958)
Maturité	-4,0 -15,0 )	Taylor et al. (1958)



CULTURE	POTENTIEL MATRICIEL (BAR)	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
Fourrage	-(0,30- 1,0 )	Vissar (1959)
Trèfle	-(0,30- 0,60)	Doorenbos y Pruitt (1975)
CULTURES INDUSTRIELLES		
Tabac	-(0,30- 0,80)	Jones et al. (1960)
Canne à sucre	-(0,25- 0,30) -(0,50- 1,50)	Anonime (1954) Doorenbos y Pruitt (1975)
Betterave sucrière	-(0,40- 0,60)	Taylor (1965)
Coton	-(1,0 - 3,0 )	Doorenbos y Pruitt (1975)
Cartam	-(1,0 - 2,0 )	Doorenbos y Pruitt (1975)
Soya	-(0,50- 1,50)	Doorenbos y Pruitt (1975)

Tableau I-2. Périodes critiques au déficit d'humidité de quelques cultures

CULTURE	PERIODE CRITIQUE	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
CULTURES MARAICHERES		
Chou	Pendant la pomaison et le renflement des pommes	James y Drinkwater (1959) Vittus et al. (1963) Drew (1966)
Petit Pois	Début floraison et pendant le gonflement du grain	Salter (1962-1963)
Laitue	Avant la récolte Pendant la formation de la tête	Sale (1966) Singh y Alderfer (1966)
Oignon (bulbe)	Pendant la formation du bulbe	Lis et al. (1967), Singh y Alderfer (1966)
Oignon (semence)	Floraison	Salter y Goode (1967)
Pommes de terre	Après la formation du tubercule	Winter (1960), Tyalor y Rognerud (1959)
	Stolonisation et début de la tubérisation	Setruchtemeyer (1960) Lis et al. (1964)
	Floraison et tubérisation	Nijensohn et al (1964)
	Floraison à récolte	Doorenbos y Pruitt (1975)
Chou-Fleur	Sans période critique, Irrigation fréquente dès la plantation	Salter (1961) Doorenbos y Pruitt (1975)
Tomate	Floraison Formation de fleurs et croissance rapide des fruits	Erassi et al. (1967) Salter y Goode (1967)
Radis	Pendant la formation et la croissance de la racine	Singh y Alderfer (1966) (1966)

CULTURE	PERIODE CRITIQUE	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
<b>GRAINS</b>		
Blé	Epi et formation de grains Deux semaines avant la pollinisation	Lahane y Staple (1962) Doorenbos y Pruitt (1975)
Orge	Epi à grains laitoux Grain laitoux	Jensen, Millar y Bauer (1967) Wells y Dubetz (1966)
Avoine	Début de l'épiaison Emergence épi à fin épiaison.	Van der Raam (1949) Doorenbos y Pruitt (1975)
Mais	Avant la pollinisation pendant la formation de l'épi du maïs	Denmead y Shaw (1960) Robins y Domingo (1953) Runge y Odell (1958) Home y Rhoades (1955)
	La période de pollinisation très critique s'il n'y avait pas un déficit avant	Doorenbos y Pruitt (1975)
Haricot	Floraison et formation des gousses Floraison et formation des gousses > déficit avant maturité Maturité > tôt s'il n'y avait pas déficit avant	Kattan y Fleming (1956) Doorenbos y Pruitt (1975)
<b>FRUITS ET ARBRES FRUITIERS</b>		
Fraise	Développement du fruit à la maturité	Doorenbos y Pruitt (1975)
Melon	Floraison à récolte	Doorenbos y Pruitt (1975)
Vigne	Début de la croissance. Après la formation des grains	Kasinatis (1967) Vaadia y Kasinatis (1961)

CULTURE	PERIODE CRITIQUE	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
Agrumes	Floraison et formation du fruit Une forte floraison peut être obtenue par un déficit avant la floraison (citron)	Salter y Goode (1967) Doorenbos y Pruitt (1975)
Abricot	Floraison et développement des bourgeons	Uriu (1964)
Cerise et pêche	Période de croissance rapide avant la maturité	Hildreth, Magnesa y Mitchell (1941)
FOURRAGES		
Luzerne	Juste après la coupe pour fourrage sec	Doorenbos y Pruitt (1975)
Luzerne (semence)	Début floraison	Doorenbos y Pruitt (1975)
Sorghum	Enracinement secondaire et Tallage jusqu'à la montaison, épinaison, floraison et formation du grain remplissage du grain	Doorenbos y Pruitt (1975)
PLANTES INDUSTRIELLES		
Canne à sucre	Période de croissance végétative maximum	Doorenbos y Pruitt (1975)
Betterave (semence)	Floraison et croissance de la semence 3-4 semaines après l'émergence	Salter y Goode (1967) Doorenbos y Pruitt (1975)
Lin (tissu)	Période végétative de pré-floraison	Salter y Goode (1967)
Lin (semence)	Pendant et après la floraison	Salter y Goode (1967)
Coton	Floraison et formation des capsules Phases antérieures après formation des capsules Début de floraison Pré-floraison	Doorenbos y Pruitt (1975) Marani y Horwitz (1963) Salter y Goode (1967)

---

CULTURE	PERIODE CRITIQUE	REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE
Tournesol	Floraison et maturité des semences	Salter y Goode (1967)
Soya	Période de plus forte croissance végétative et floraison	Salter y Goode (1967)
Olives	Juste avant la floraison et pendant la croissance du fruit Dernières périodes de la maturité des fruits	Doorenbos y Pruitt (1975) Spiegel (1955)

---

### III. ELEMENTS METHODOLOGIQUES

#### 3.1 Information sur la Productivité

Afin d'obtenir l'information de manière qu'elle constitue un élément de décision pour ceux qui programment et opèrent l'irrigation, on a exprimé les données expérimentales disponibles, aussi bien pour les niveaux d'humidité comme pour les cycles végétatifs en forme de productivité relative. La productivité relative est la productivité sous conditions déterminées (productivité réelle), par rapport aux conditions optimales (productivité potentielle). La productivité optimale correspond à celle obtenue dans des conditions optimales d'humidité, normalement dans des conditions de capacité au champ.

L'information de productivité exprimée de façon relative, offre des avantages parce qu'elle permet d'utiliser les données exprimées dans de différentes unités (kg/Ha, gramme/parcelle, etc...) de plusieurs variétés produites dans divers climats et dans des périodes différentes.

Dans le cas de la relation productivité relative et le potentiel matriciel du sol, toute l'information doit suivre une même relation indépendante du climat et de la variété. Cependant, dans quelques cas il y a dispersion, ceci est dû principalement à ce que près du niveau de l'humidité fixé à l'avance (indication de l'application de l'irrigation), il y a coïncidence avec une partie de la période critique, ce qui produit une diminution additionnelle de la productivité.

La définition du cycle phénologique aussi bien dans le temps que dans des périodes, pour élaborer la relation productivité relative cycle phénologique a été obtenue sur la base des données existantes.

Ceci ne veut pas dire que cette information soit absolue, parce que pour des raisons de variétés, latitude et climat, on aura des différences dans le temps pour obtenir une période donnée ou compléter le cycle. Ce qui est important, dans ce cas, est que en dehors des facteurs qui affectent le cycle, la culture avant et après doit suivre toutes les différentes périodes de son cycle végétatif.

### 3.2 Définition du potentiel matriciel du sol et profondeur effective

L'infiltration des niveaux d'humidité auxquels on doit appliquer l'eau, n'est pas toujours exprimée en termes de succion ou potentiel matriciel. En général, l'information est présentée sous forme de pourcentage de l'humidité utilisable obtenue avant l'irrigation. Dans ces cas, lorsqu'on présente la courbe de rétention d'humidité du sol, on fait la conversion du niveau utilisable à valeurs de potentiel matriciel. (succion)

Dans les cas, où l'on connaît les niveaux d'humidité utilisables et fixés au préalable pour l'irrigation, on peut utiliser la figure 30 - 2 de Haise et Hagan, (1967) qui lie les niveaux d'humidité utilisables et le potentiel matriciel pour différents types de texture du sol. (Figure I-1)

La profondeur effective considérée correspond à celle où se concentre la plus grande proportion des racines.

### 3.3 Définition du niveau de production réelle en fonction du potentiel matriciel du sol (niveau de la gestion de l'irrigation)

A partir de la relation entre la productivité relative et le potentiel matriciel du sol, on définit les potentiels matriciels pour chaque culture auxquels on doit appliquer l'eau pour assurer un niveau de productivité, déterminée au préalable, en 100 (potentiel) 90, 80, 70, 60 ou 50%.

### 3.4 Productivité relative en fonction du potentiel matriciel du sol et de la phénologie de la culture.

L'analyse systématique des résultats de la recherche réalisée dans plusieurs pays et employée par Millar (1976) pour étudier les niveaux d'eau dans le sol vis à vis de la productivité et du déficit d'eau dans des périodes particuliers du cycle phénologique des cultures, permet de définir de façon quantitative le renseignement suivant:



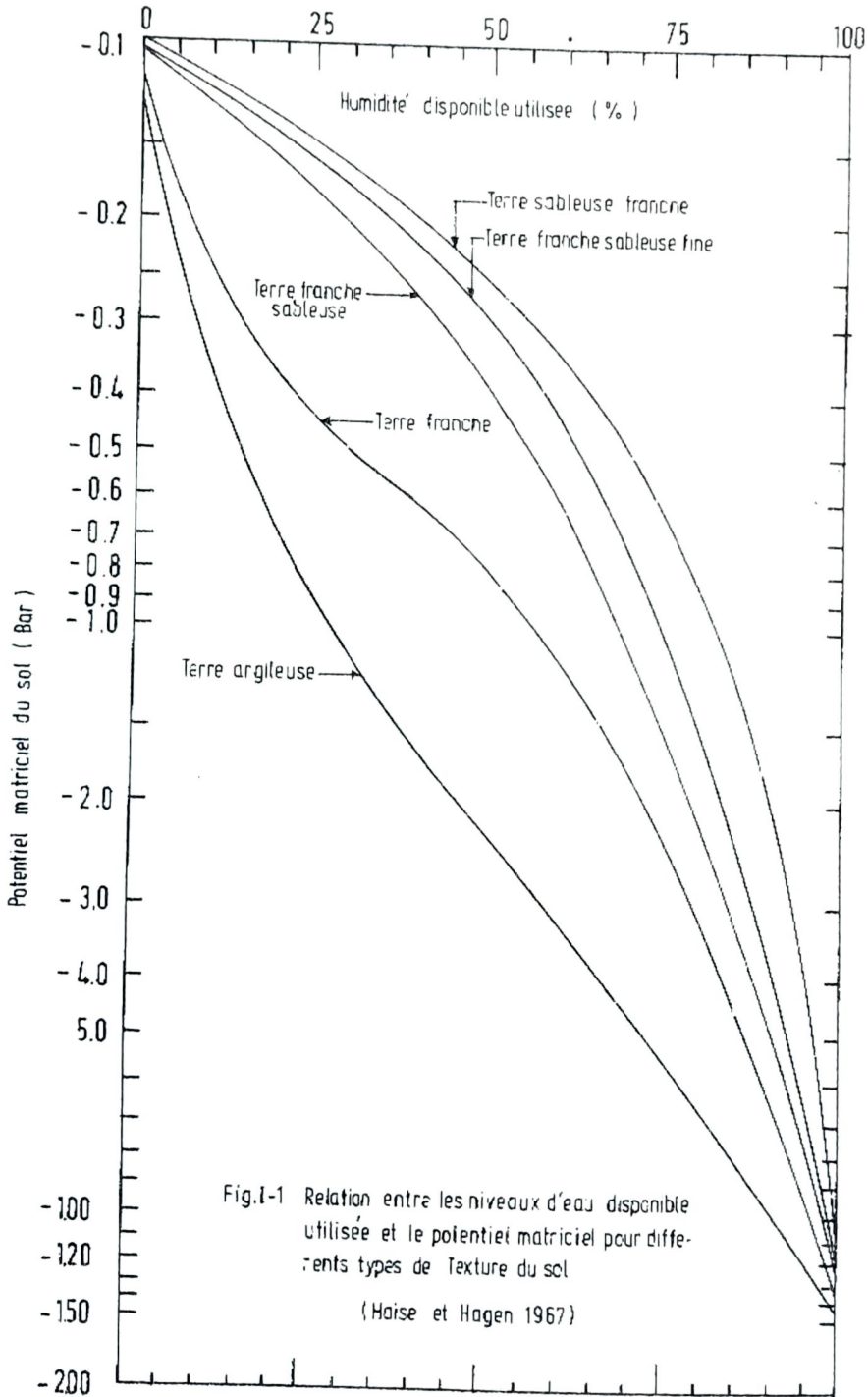


Fig. I-1 Relation entre les niveaux d'eau disponible utilisée et le potentiel matriciel pour différents types de Texture du sol (Haise et Hagen 1967)

- a- Diminution de la productivité à n'importe quel niveau du potentiel matriciel entre 0 et -10 bars
- b- Diminution de la productivité due au déficit phénologique d'eau dans n'importe quelle période du cycle végétatif de la culture.
- c- Niveau de production réelle par rapport à la productivité potentielle que l'on peut obtenir sous conditions atmosphériques données (climat).
- d- Fréquence d'irrigation, basée sur la demande de la culture et sur le potentiel matriciel pour définir le niveau de production réelle auquel on peut faire la gestion de l'irrigation.

A partir de cette information il est possible de prendre des décisions pour obtenir la meilleure utilisation de l'eau, de l'équipement et de la main d'oeuvre disponibles de manière à être en mesure de présenter sous forme d'équation la distribution et la gestion de l'irrigation pour atteindre le niveau maximum de la production réelle.

#### IV- INFORMATION DE BASE DES CULTURES POUR LA GESTION DE L'IRRIGATION

##### 4.1 Blé et l'orge

La productivité relative du blé et l'orge en fonction du potentiel matriciel se présente dans la figure 1-2. On montre que la productivité diminue au-fur-et-à-mesure que l'irrigation est appliquée aux bas niveaux du potentiel matriciel (plus grande succion). Ainsi pour obtenir 90% de la productivité potentielle il est nécessaire d'appliquer l'irrigation lorsque le potentiel matriciel du sol monte à -2 bars. Le niveau potentiel de productivité sera obtenu en faisant la gestion de l'irrigation à -0.5 bar du potentiel matriciel, ce qui est difficile à obtenir avec les méthodes communes d'irrigation. De la figure

I-2 on conclut que 80% de la production potentielle peut être obtenue si l'on irrigue au niveau de -3 bars; 70% à -4,6 bars; 60% à -6,3 et 50% à -8,5 bars. Cette affirmation est valable dans le cas que les derniers jours avant d'arriver au niveau correspondant à l'application de l'eau ne coïncide pas avec une partie de la période critique.

Maximov, cité par Henckel (1964), a établi que les cultures céréalières ont deux périodes critiques en ce qui concerne le déficit hydrique, dès le tallage à la formation de l'épi et dès cela à la fin de l'état laiteux du grain. Alekseev, aussi cité par Henckel (1964), a trouvé une diminution maximale dans la productivité lorsque la culture était soumise à déficit d'eau pendant l'époque de formation de l'épi.

L'information qui a été recueillie par Robin et Domingo (1962), montre que le poids moyen des graines diminue d'une valeur importante à cause des déficits d'eau avant et après l'étape de maturité. Par ailleurs, Jensen, Millar et Bauer (1967), ont trouvé que la productivité des graines d'orge diminue de valeurs importantes lorsque le déficit a eu lieu entre la phase de croissance complète du grain jusqu'à la maturité. Les études réalisées par Aspinall et al. (1964), sur les déficits d'eau dans l'orge ont permis de tirer les conclusions suivantes:

Un déficit d'eau dans les premiers jours du cycle a des effets seulement dans le tallage.

Les parties de la plante qui croissent plus vite, sont celles qui sont affectées les plus, pendant le déficit d'humidité

Le déficit d'eau pendant la reproduction produit une diminution dans le remplissage du grain, dans la taille de celui-ci et quelque fois il produit le froissement du grain.

Salter et Goode (1967), ont résumé la réponse des cultures céréalières au manque d'eau, dans les conclusions suivantes:

Ces cultures montrent une sensibilité importante au manque d'eau pendant la floraison.

Les déficits d'eau pendant les périodes indiquées diminuent de manière considérable la productivité des grains par la diminution de nombre de grains par épi.

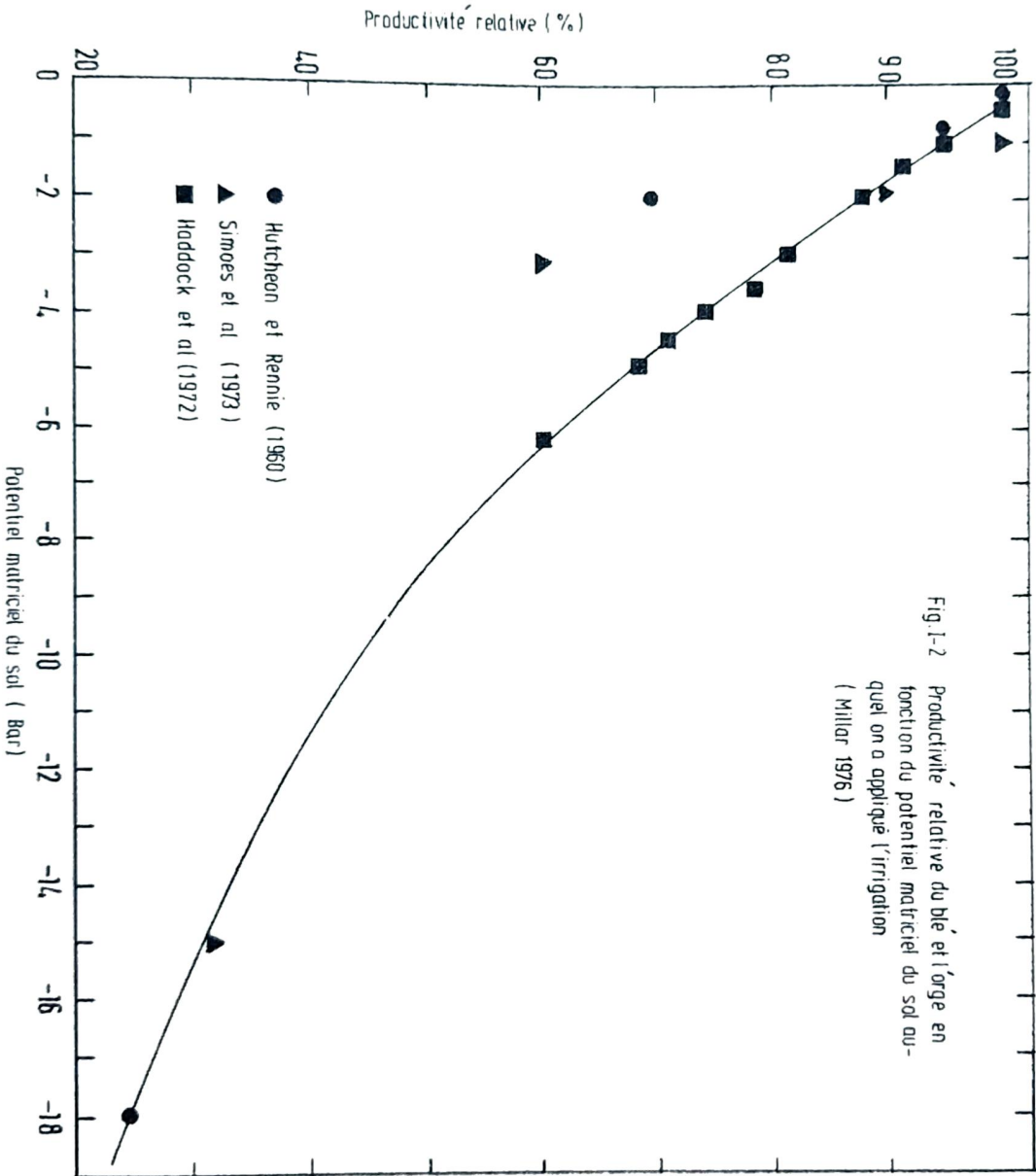
Les tissus des organes de reproduction sont sensibles au manque d'eau, c'est la raison pour laquelle la formation du pollen et la fécondation peuvent être sérieusement affectées sous conditions de sécheresse.

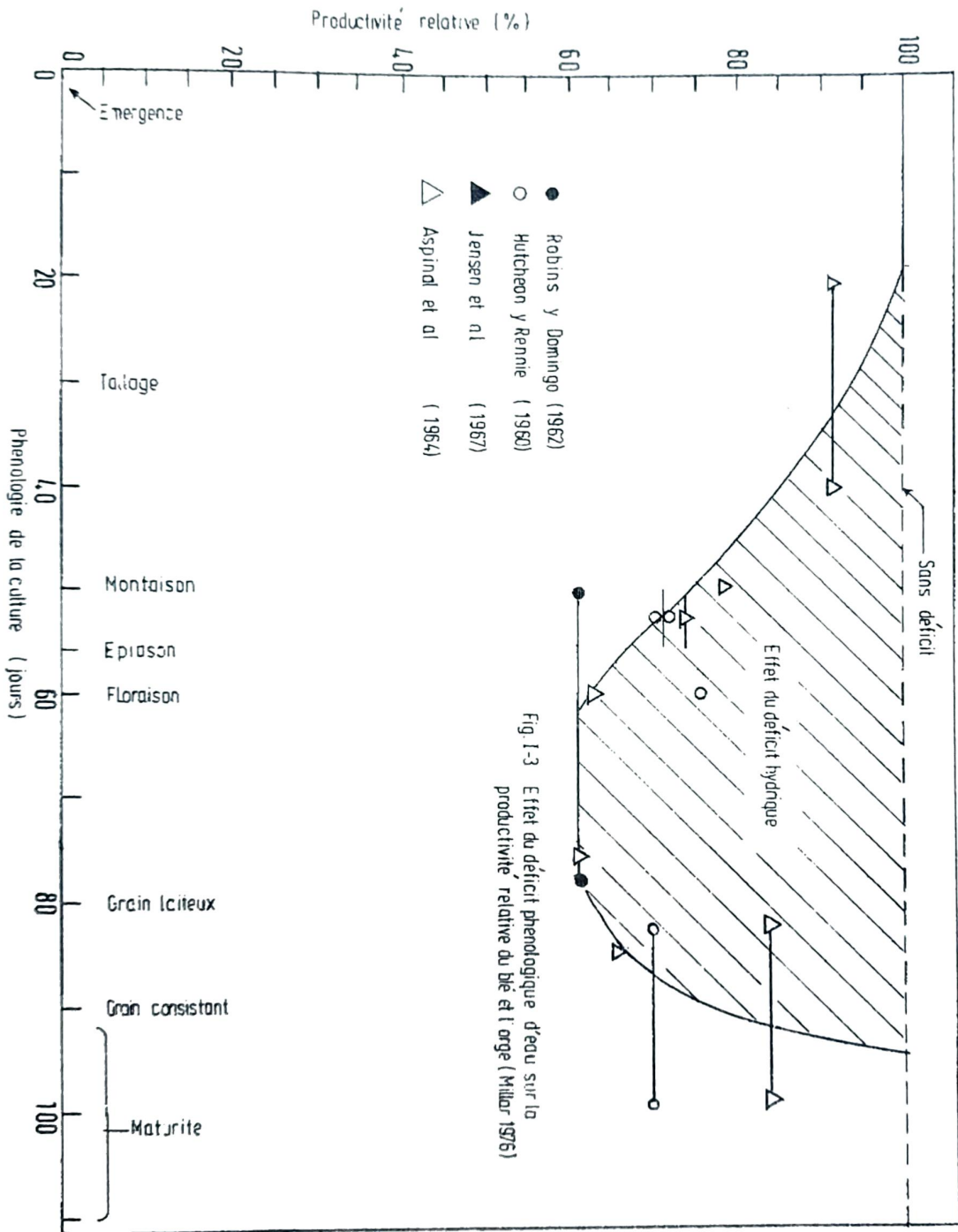
L'irrigation a un bénéfice maximum sur la productivité, lorsqu'elle est appliquée pendant le développement des organes de floraison. Application retardée pendant la montaison formation d'épi et la floraison. La pluie a un effet positif similaire lorsqu'elle coïncide avec les périodes critiques.

Dans la figure I-3, on montre l'effet des déficits phénologiques par le biais de la relation entre la productivité relative et la phénologie de la culture, basé sur des résultats obtenus, par expérimentation, des plusieurs auteurs. Le calendrier phénologique du blé et de l'orge correspond à celui présenté par Peterson (1965). On observe que la diminution de la productivité à cause du manque d'irrigation est importante entre la floraison et la formation du grain à l'état de semi-consistant. L'effet du déficit n'est pas spécifique parce que avec un plus faible effet il s'étend à une partie du cycle végétatif (tallage à la montaison)

Le manque d'eau dans la période critique produit une diminution d'environ 37% dans la productivité. Si cela a lieu entre le tallage et la montaison, la diminution sera entre 5% et 25%.

Voilà l'importance de ce type de graphique qui permet de quantifier la diminution de la productivité causée par le déficit phénologique d'eau dans n'importe quelle étape du cycle phénologique





de la culture.

#### 4.2 Mais

La figure I-4 montre la relation entre la productivité relative du maïs et le potentiel matriciel du sol. On observe que le maïs est plus sensible au manque d'eau que le blé et l'orge. Pour obtenir 90% de la productivité potentielle il est nécessaire d'aménager l'irrigation à -0.9 bar du potentiel matriciel (-2 bar dans le cas du blé et l'orge). Le 80% sera obtenu, si on irrigue à -1,6 bar, 70% à -2, 4 bars; 60% à -3,4 bars et 50% à -4,9 bars.

Robins et Domingo (1953), dans des travaux sur le terrain ont trouvé que déficits importants pour périodes de 1 à 2 jours pendant la formation du pollen diminuent la productivité par 22%, lorsque la période de déficit s'étend à 5 jours la diminution de la productivité a été de 50%.

Le travail réalisé par Denmead et Shaw (1960), montre que le manque d'eau pendant la période de reproduction, formation d'inflorescences mâles, femelles et pollinisation est la période critique. Le déficit d'eau pendant le cycle végétatif et formation des grains affectent aussi la productivité maïs à un moindre degré. Dans les travaux réalisés par Godard, cité par Salter et Goode (1967), on a trouvé que le manque d'eau, pendant quelques jours avant la floraison produit une diminution de la productivité de 25%.

Volodarskij et Zinevic, cités par Salter et Goode (1967), ont trouvé que le déficit modéré pendant la période de germination jusqu'à la floraison femelle ou un déficit à partir de la germination jusqu'à la période des 7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> feuilles produisent une diminution de la productivité des grains. La diminution plus importante dans la productivité des grains a eu lieu lorsque le déficit d'eau se présente pendant la période reproductive, floraison et la pollinisation.

L'importance de l'irrigation avant la formation des organes reproductifs et la pollinisation ont été présentés dans les résultats fournis par Rhoades et al. (1954), Howe et Roades (1955) et Jones et al. (1957).

Des résultats similaires à ceux sus-mentionnés se trouvent dans les travaux réalisés par Gard et al. (1961), Sommerfeldt (1960) et Claassen et Shaw (1970).

Dans la figure I-5, on présente le résumé des résultats de plusieurs auteurs sur l'effet du déficit d'irrigation dans des périodes données du cycle phénologique du maïs, sur la productivité. La durée du cycle phénologique varie selon l'influence des facteurs provenant du sol et de l'atmosphère tels que l'humidité, la température, illumination, etc.; cependant, en tous cas la plante doit passer par les différentes périodes dès l'émergence jusqu'à la maturité. La période reproductive du maïs (floraison, la pollinisation jusqu'à la maturité, normalement varie très peu 47 à 48 jours).

Kiesselbach, cité par Sommerfeldt (1960) indique, en moyenne, le calendrier suivant:

Période	Jours
Emergence de la floraison femelle (EFF) jusqu'à la sortie complète	6,3
EFF à la formation d'anthères (pollen)	6,4
EFF à l'émergence de la floraison mâle (EFM)	8,4
EFF à l'expulsion maximale du pollen	9,8
EFF à la durée maximale de la floraison male	10,7
EFF à la pollinisation évidente par le panicule	12,0
EFF à la fin de la production du pollen	12,7



Par ailleurs pour une variété de maïs adaptée pour la partie centrale de l'état d'IOWA, Hanway (1966) on a identifié les périodes suivantes:

Période	Jours
Semis à émergence	5
Émergence au début de EFF	28
Émergence à EFF	56
Émergence à largeur maximum de l'inflorescence femelle	63 - 64
Émergence à Émergence floraison mâle	66
État aqueux	12 jours après EFM
Grain, état semi consistant	24 jours après EFM
Grain complètement étendu	48 jours après EFM
Maturité physiologique	60 jours après EFM

D'après Wiidakas (1958), le calendrier phénologique du maïs de maturité relative de 100 jours est le suivant:

Période	Jours
Semis à émergence	7 - 10
Émergence à floraison Mâle *	50 - 74 **
Floraison mâle au grain laiteux	16
Grain laiteux à grain semi-consistant	13
Grain semi-consistant à grain brillant	12
Grain brillant au grain mur	7

La durée des différentes périodes du cycle phénologique de la figure 1-5 correspond aux environs à ce dernier calendrier.

---

\* Environ 50% des plantes avec F-M

\*\* 50 jours pour le maïs de 75 jours de maturité relative et 74 jours pour le maïs de 100 jours de maturité relative.

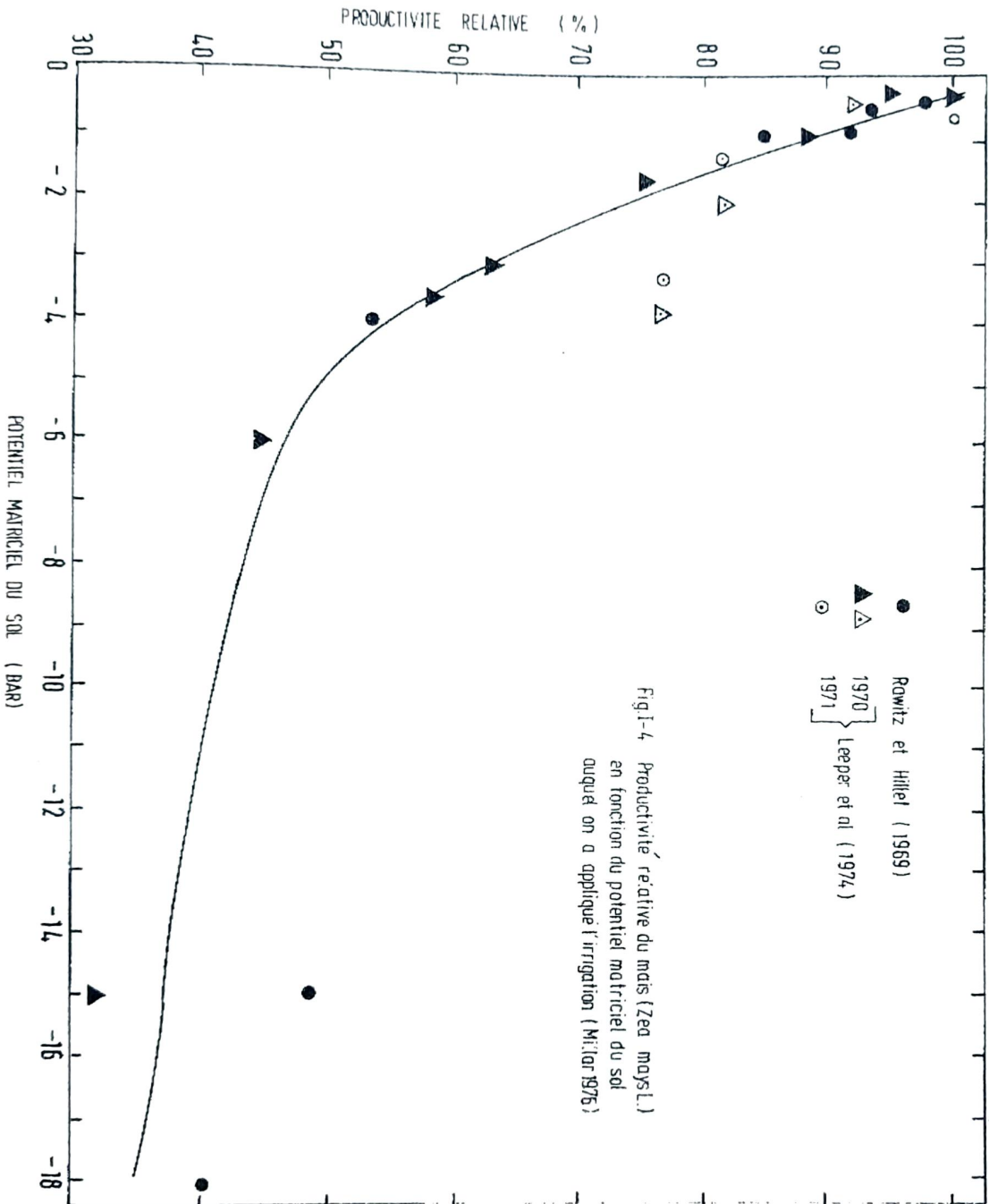
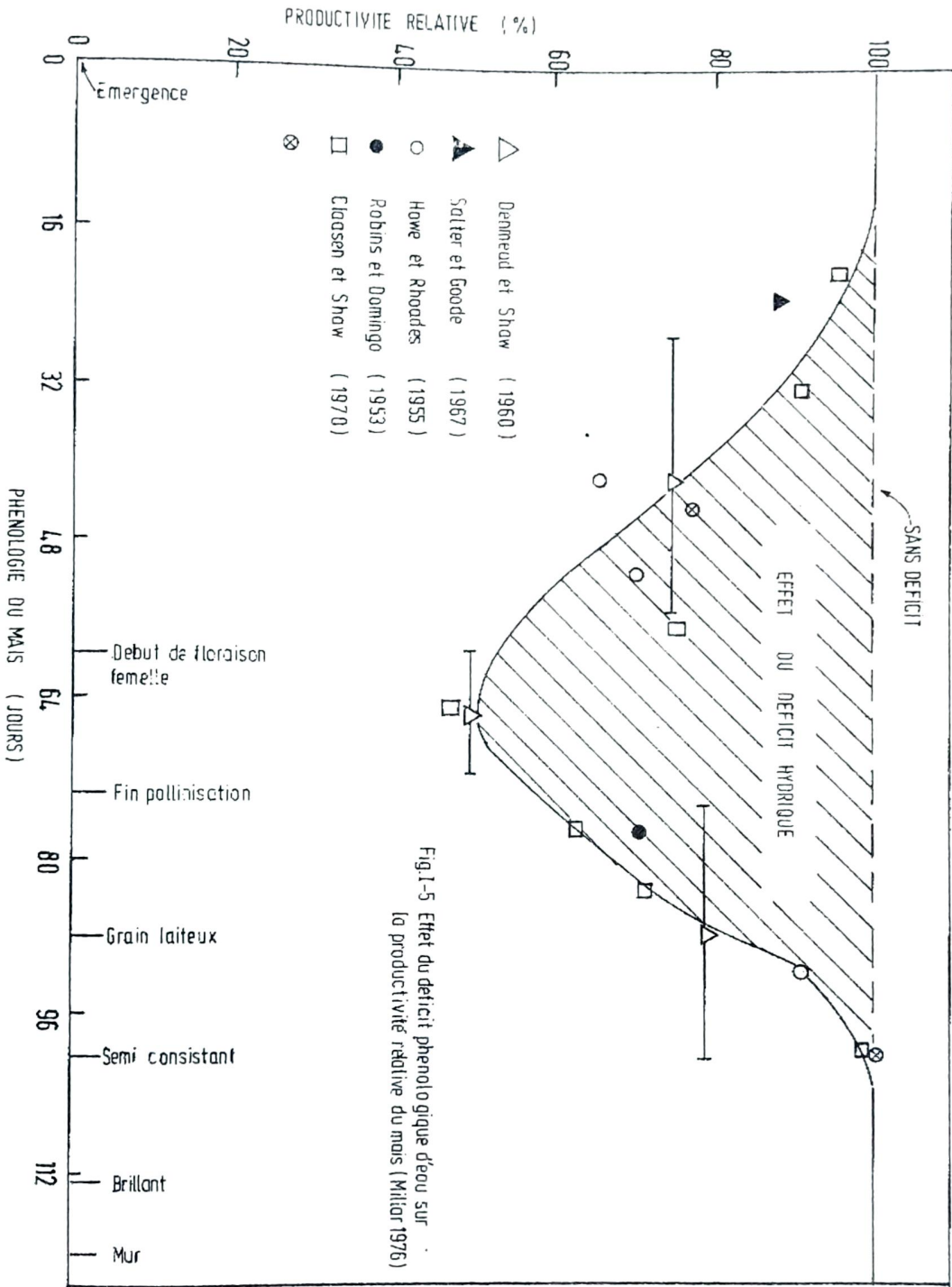


Fig. 4 Productivité relative du maïs (*Zea mays* L.) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Miller 1976)



De la figure 1-5, on déduit que le manque d'eau dans la période comprise entre la floraison femelle et la fin de la pollinisation affecte d'une valeur importante la productivité du maïs et constitue par ce fait la période la plus sensible au déficit d'eau. La diminution de la productivité est moindre que pour les autres périodes phénologiques.

L'effet du manque d'eau sur la productivité du maïs se met en évidence à partir du 20<sup>e</sup> jours après l'émergence avec une diminution de 50%; l'intensité de dégâts à cause du déficit hydrique diminue lorsque le grain s'approche de la maturité physiologique.

#### 4.3 Les Haricots

La figure I-6, montre la relation entre la productivité relative des haricots et le potentiel matriciel du sol. Elle a été obtenue par Magalhaes et Millar (1978). Pour obtenir 90% de la productivité potentielle il est nécessaire d'aménager l'irrigation à -8 bars du potentiel matriciel. Les 80% de la productivité relative s'obtiennent en appliquant l'irrigation à -1,7 bar, pour 70% à -2,5, pour 60% à -4 bars et pour 50% à -6 bars.

En ce qui concerne la teneur en eau du sol, pendant les différentes périodes phénologiques sur la productivité des haricots, l'information disponible est abondante.

Les déficits d'eau au début de la période de croissance donne la plus basse productivité, même si plus tard on applique une irrigation adéquate. (Dreibrodt, cité par Salter et Goode, 1967). La plus forte diminution de la productivité des haricots s'obtient lorsque le déficit hydrique se présente pendant la période de floraison, ceci est expliqué par la chute de fleurs et de gousses (Bierhuizen et De Vos 1959).

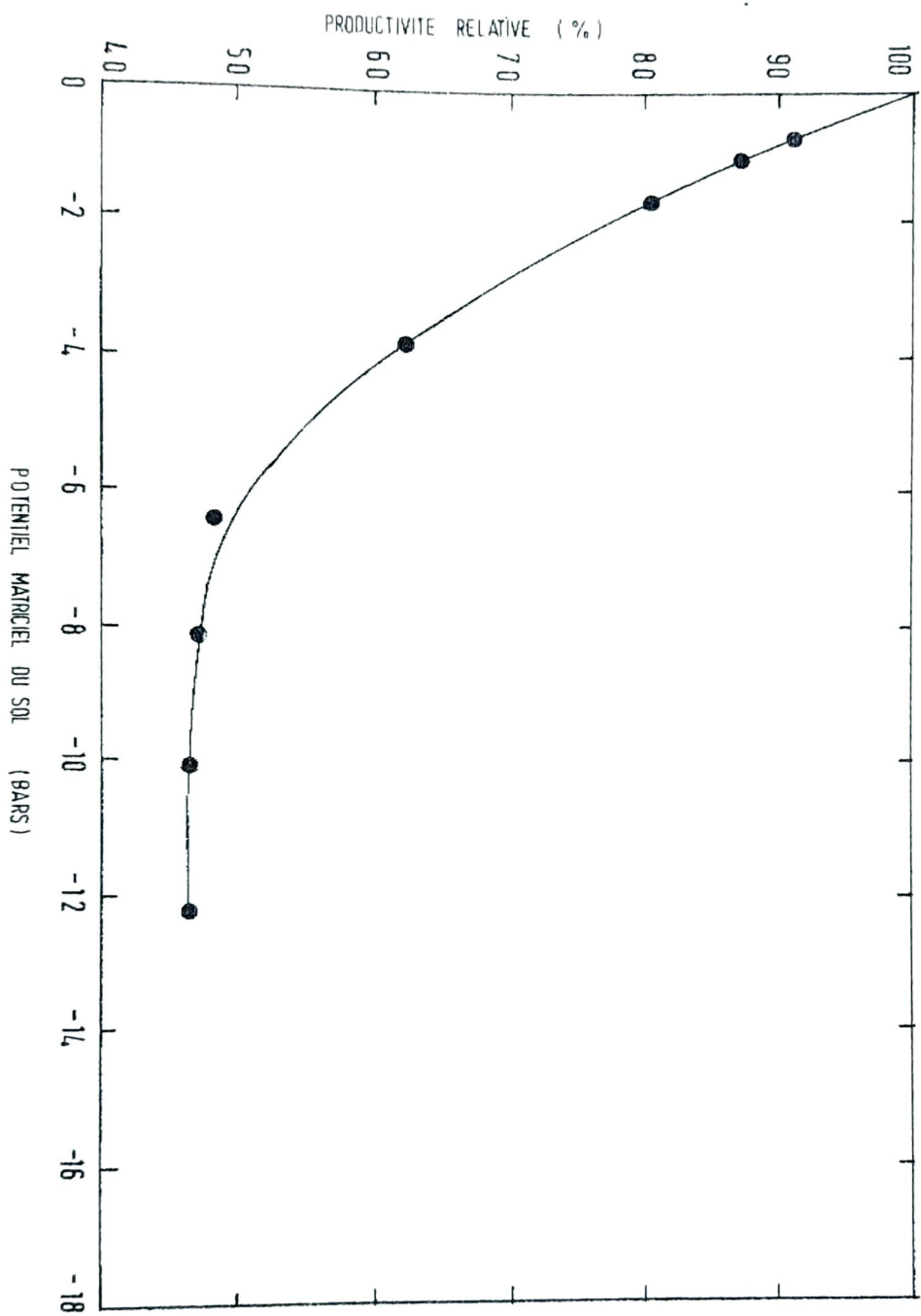


Fig 1-6. Productivité relative des horricols en fonction du potentiel matriciel du sol (Magalhães et Millar, 1978)

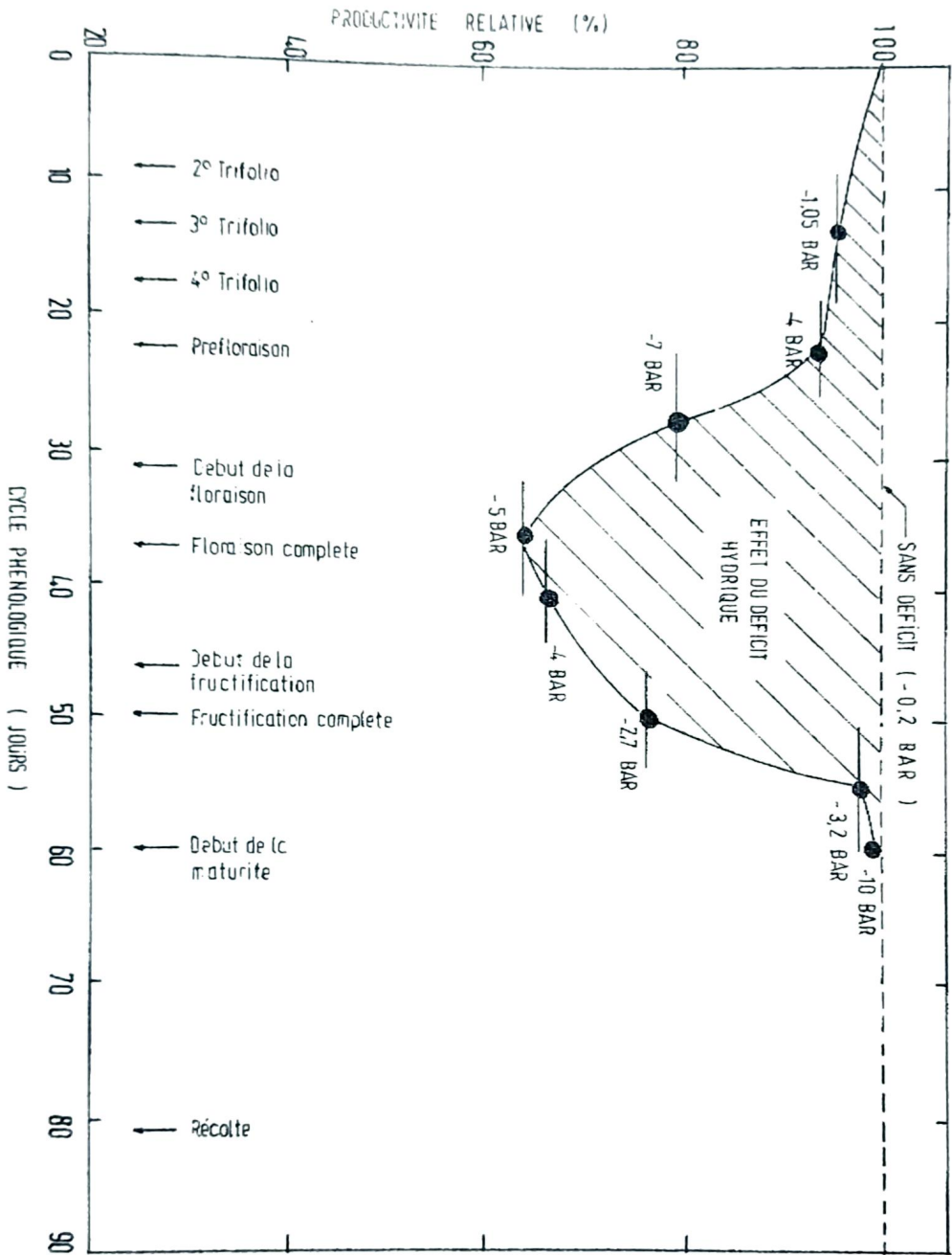


Fig.1-7 Productivite relative des haricots en fonction du cycle phenologique ( Magalhaes et al 1979 )

Melson (1962), a étudié l'effet des déficits d'eau dans les différentes périodes du cycle de croissance et il est arrivé à la conclusion qu'un fort déficit d'eau dans le sol pendant la floraison et la croissance de gousses produisait une diminution de 22% de la production. Des résultats similaires ont été obtenus par Dreibrodt, cité par Salter et Goode (1967), Robins et Domingo (1956), Horner et Hojitchdi (1970) et Magalhaes, Millar et Choudhury (1979).

Dans les recherches de Magalhaes et al. (1979), la période la plus critique au déficit d'eau a été celle comprise entre le début de la floraison et la floraison complète. Dans cette période, celle, entre la préfloraison au début de la floraison et celle de début de la fructification à fructification complète, les diminutions des productivités ont été de 37, 21 et 24 %, respectivement.

Dans la figure I-7, on présente la productivité relative des haricots en fonction du cycle phénologique. Elle a été obtenue par Magalhaes et al. (1979).

Les haricots verts répondent de façon différente au déficit d'eau que ceux pour la production des grains. Dans la figure I-5, on présente la productivité relative des haricots verts en fonction du potentiel matriciel du sol. Si on compare les courbes des figures I-6 et I-8, on conclut que la production des haricots verts peut être aménagée aux potentiels matriciels du sol plus faible pour obtenir le même niveau de productivité relative.

#### Quelques cultures maraichères

En général, il existe des différences dans la réponse à l'eau des cultures maraichères selon l'organe de production: bulbe, tubercule, racines (exemple, oignons, pommes de terres, radis, respectivement), feuilles (laitue, chou, etc). ou fruits (tomate). Afin de montrer ce qui

a lieu, on présente l'information pour quatre types dont l'organe commercial est différent. Oignon (bulbe), pommes de terre (tubercule) laitue (feuille) et tomate (fruits).

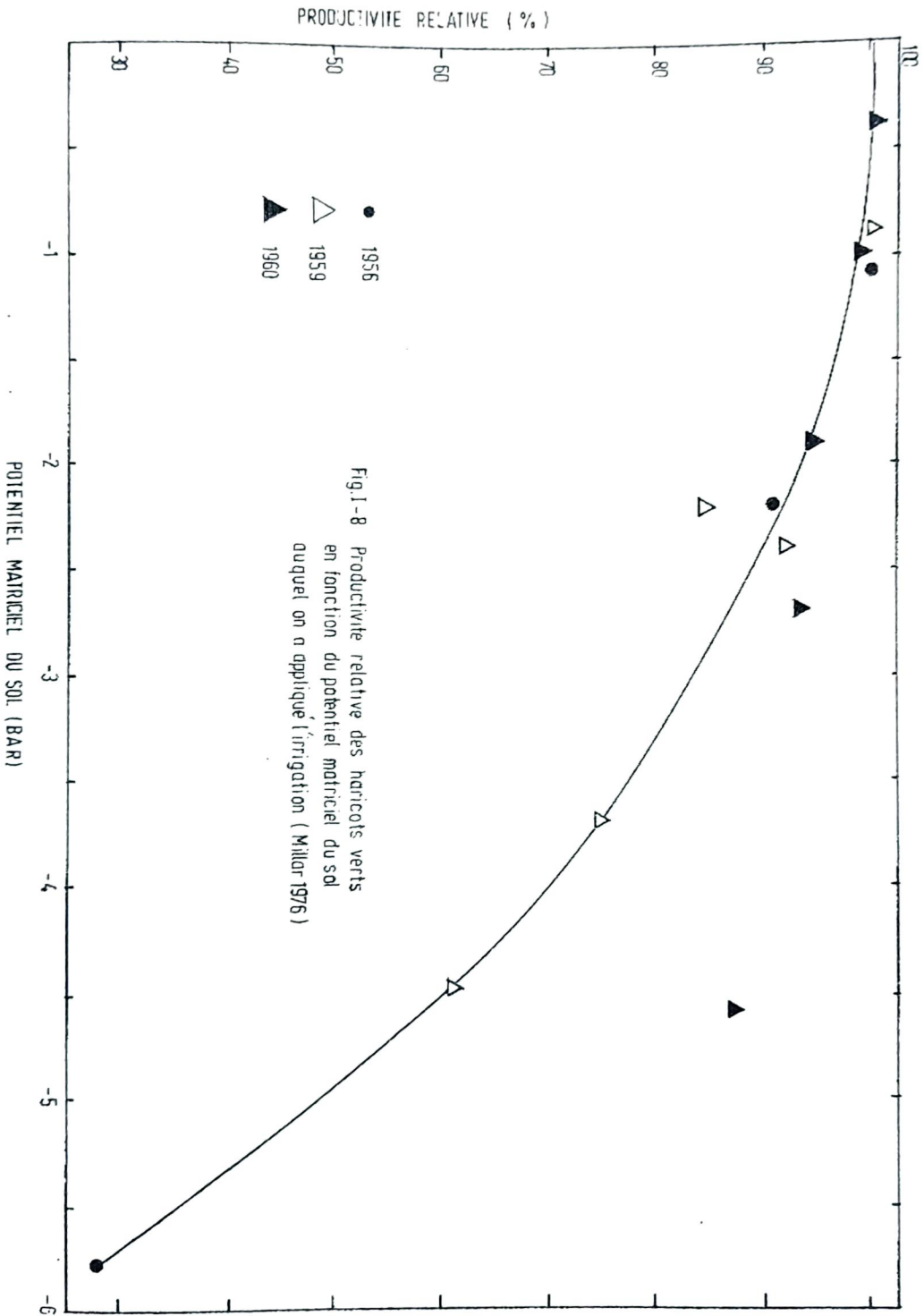
#### 4.4.1 Oignon

La figure I-9 montre la relation entre la productivité relative de l'oignon et le potentiel matriciel du sol. D'après le tableau I-1 et la figure I-9, le niveau potentiel de la productivité est obtenu lorsqu'on aménage l'irrigation à -0,5 bar. La productivité diminue pour d'autres niveaux d'aménagement de l'irrigation. Ainsi, on obtient 90% de la productivité relative avec un aménagement de -1,6 bar, 80% avec 2,1 bars, 70% avec -2,7 bars, 60% avec -3,7 bar et 50% avec -5 bar Jones et Hohnson (1958), ont étudié la réponse de l'oignon au déficit d'humidité du sol dans des essais sur le terrain avec 18 traitements d'irrigation. Parmi lesquels 12 consistaient en applications retardées pendant le cycle phénologique de l'oignon. La plus forte productivité fut obtenue dans l'essai consistant en l'application de l'eau lorsque la succion maximale de l'humidité du sol arrivait à -0,3 bar. Ils ont trouvé que le déficit hydrique dans toutes les périodes diminue la productivité. Les déficits dans les premières étapes furent moins importants que ceux qui eurent lieu plus tard dans le cycle phénologique.

Les recherches réalisées par Singh et Alderfer (1966), montrent que les déficits dans les étapes du cycle diminuent la productivité; ils ont trouvé que la période la plus critique et qui cause la plus forte diminution de la productivité se présente pendant le développement du bulbe et l'accroissement de celui-ci.

Lis et al. (1967), ont trouvé que le début de la formation du bulbe est la période critique pour le déficit d'humidité du sol.





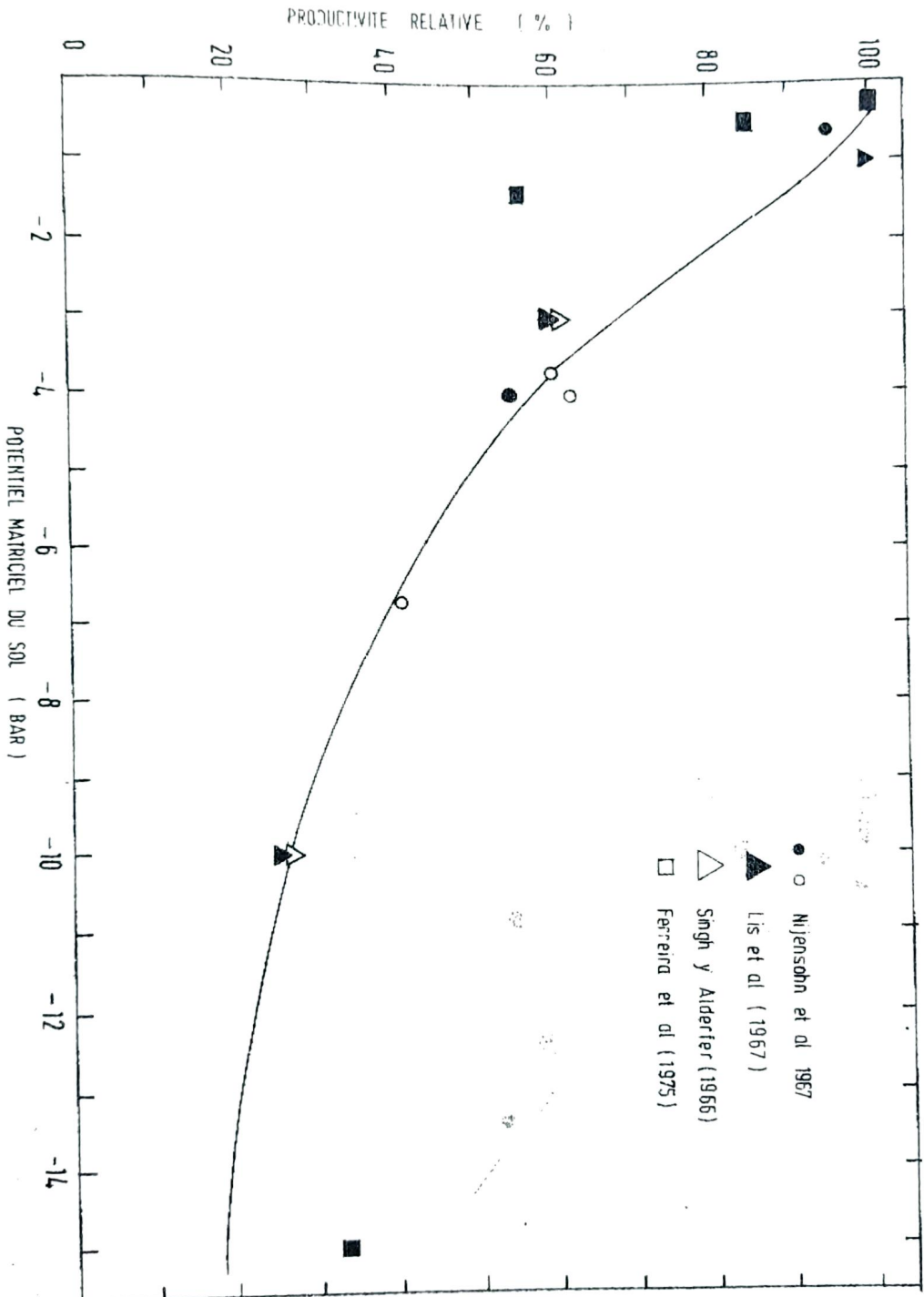


Fig 1-9 Productivité relative de l'oignon (*Allium cepa*) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel est appliquée l'eau (Miliar 1976)

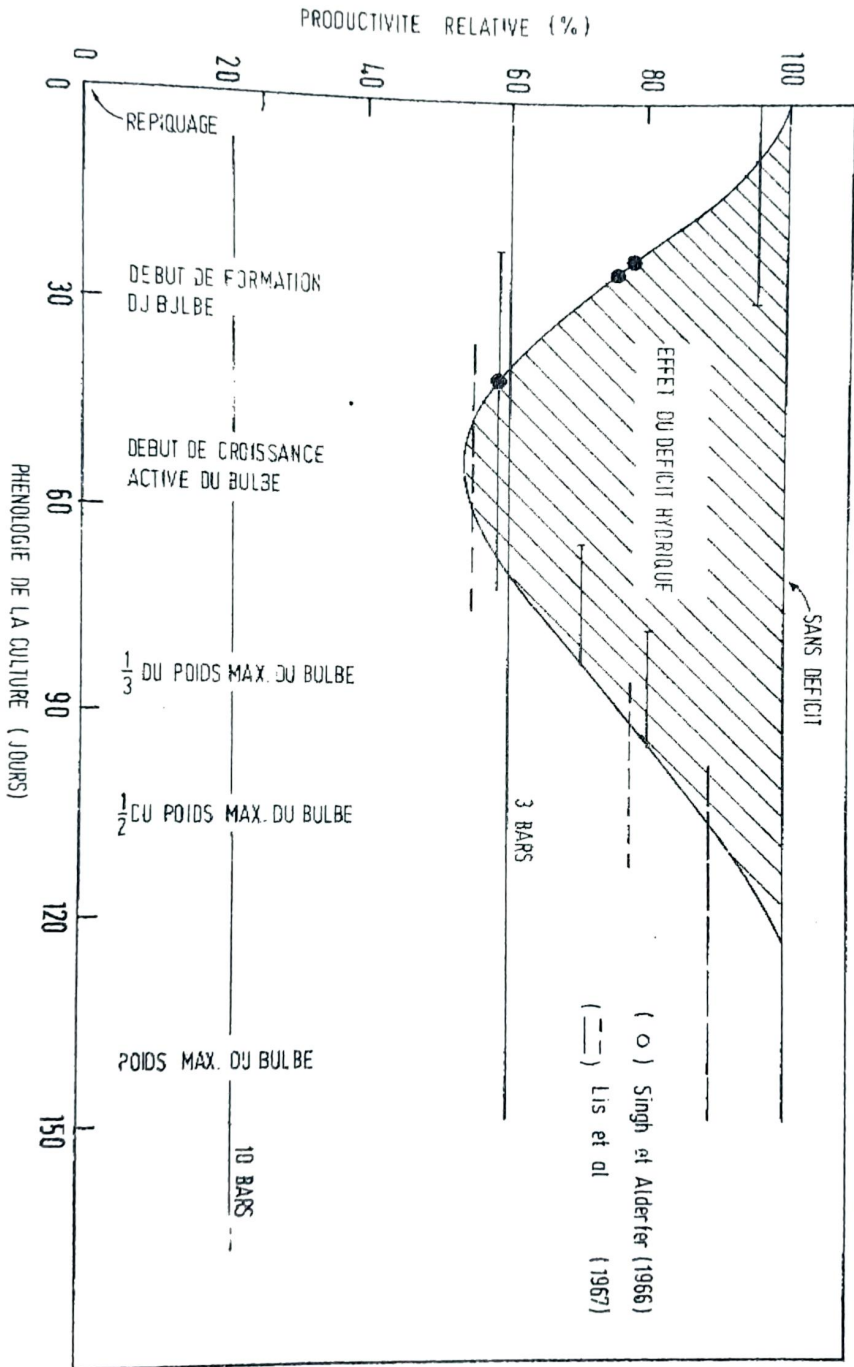


Fig 1-10 Effet du déficit phenologique d'eau sur la productivité relative de l'ognon ( Millar 1976 )

Dans le cas de l'oignon pour la production de semences. Mac Gillvray (1948) a trouvé que la floraison est la période la plus critique, en ce qui concerne le déficit d'humidité du sol.

Dans la figure I-10, on montre un résumé de l'information de la productivité de l'oignon soumise aux déficits d'humidité unique dans plusieurs périodes du cycle phénologique. Le cycle phénologique employé est celui présenté par Lis et al., 1948. La figure I-10 montre que l'effet le plus fort du déficit d'humidité du sol sur la productivité a lieu pendant la période de croissance active du bulbe avec une diminution aux environs de 45% de la productivité. L'effet négatif d'humidité est manifesté, à moindre degré, avant le commencement de la formation du bulbe et il s'étend jusqu'à ce que le bulbe obtient 80% de son poids maximum.

D'après la figure I-10, on peut conclure que le plus grand effet bénéfique est obtenu lorsque l'application de l'irrigation s'aménage avant la période critique. L'irrigation appliquée pendant la période critique n'aura pas le même effet positif parce que les processus biochimiques irréversibles qui sont à l'origine de la diminution de la productivité, ont déjà eu lieu.

#### 4.4.2 Pomme de terre

Dans la figure I-11, on présente la relation entre la productivité relative et le potentiel matriciel du sol auxquels sont appliqués les irrigations pour la pomme de terre. La plupart des résultats qui ont été recueillis suivent des courbes de la même allure, sauf les résultats de Jones et Johnson (1958), qui montre une plus grande dispersion, ceci peut être dû comme il a été dit, en grande partie à ce qu'aux environs du niveau fixé au préalable, l'aménagement de l'irrigation a coïncidé avec une partie de la période critique ce qui a produit une diminution additionnelle de la productivité. Doorenbos et Pruitt (1975),

expriment que la pomme de terre n'a pas une période critique spécifique, cependant, à ce sujet, l'information existante indique qu'il existe une période critique; ce qui sera présenté ci-après.

La figure 1-11, montre que la pomme de terre est beaucoup plus sensible au déficit d'humidité que toutes les cultures que l'on a présenté avant. Afin d'obtenir la productivité potentielle il est nécessaire d'aménager l'irrigation aux environs de -0,3 bar du potentiel matriciel. Le 90% s'obtient avec -0,6 bar, 80% avec -1,1 bar, 70% avec 1,6 bar, 60% avec -2,0 bar et le 50% de la productivité potentielle est obtenue lorsque l'irrigation est aménagée au niveau de -2,5 bar.

Les résultats de l'effet unique de déficit d'eau dans les différentes étapes du cycle phénologique, est abondant et Salter et Goode (1967), l'ont bien résumé.

Les données de Claypool et Morris (1932), montrent que la productivité diminue de 50% lorsqu'il y a un déficit d'humidité après la formation du tubercule.

Jones et Johnson (1958), ont trouvé que les déficits d'eau dans la première partie du cycle phénologique produit un effet moindre que lorsque le déficit a lieu dans la période de croissance des tubercules.

Salter et Goode (1967), après avoir analysé l'information pertinente sont arrivés à la conclusion que pour obtenir une bonne productivité et tubercules de bonne qualité, il est nécessaire d'irriguer de façon adéquate dès le début de la formation de tubercules. L'affirmation précédente est contraire aux résultats trouvés par Lis et al. (1964) qui montrent que la période la plus critique est celle comprise entre les stolons et le début de la formation des tubercules. La différence peut se montrer dans la qualité du produit, ce qui est la condition

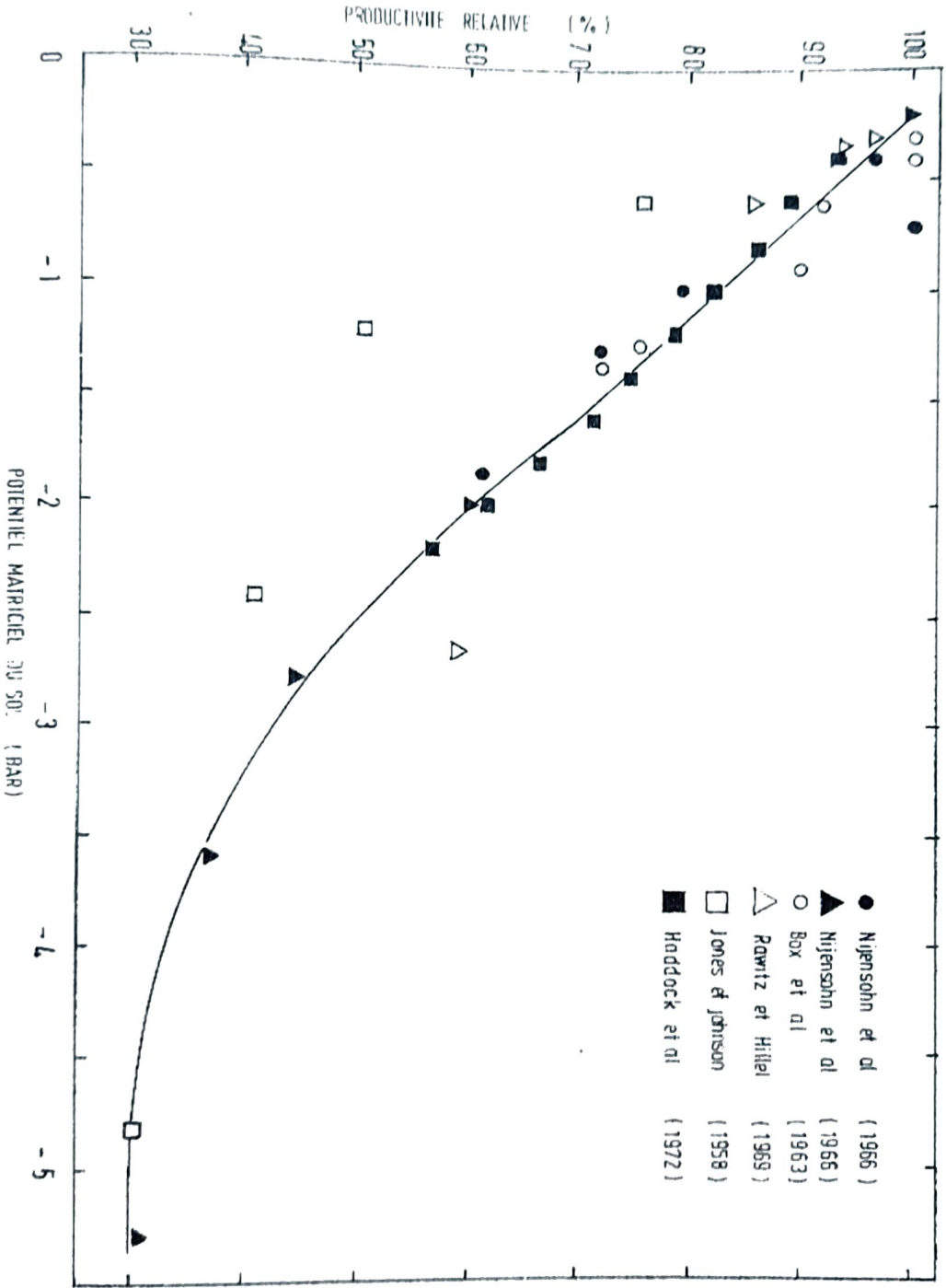
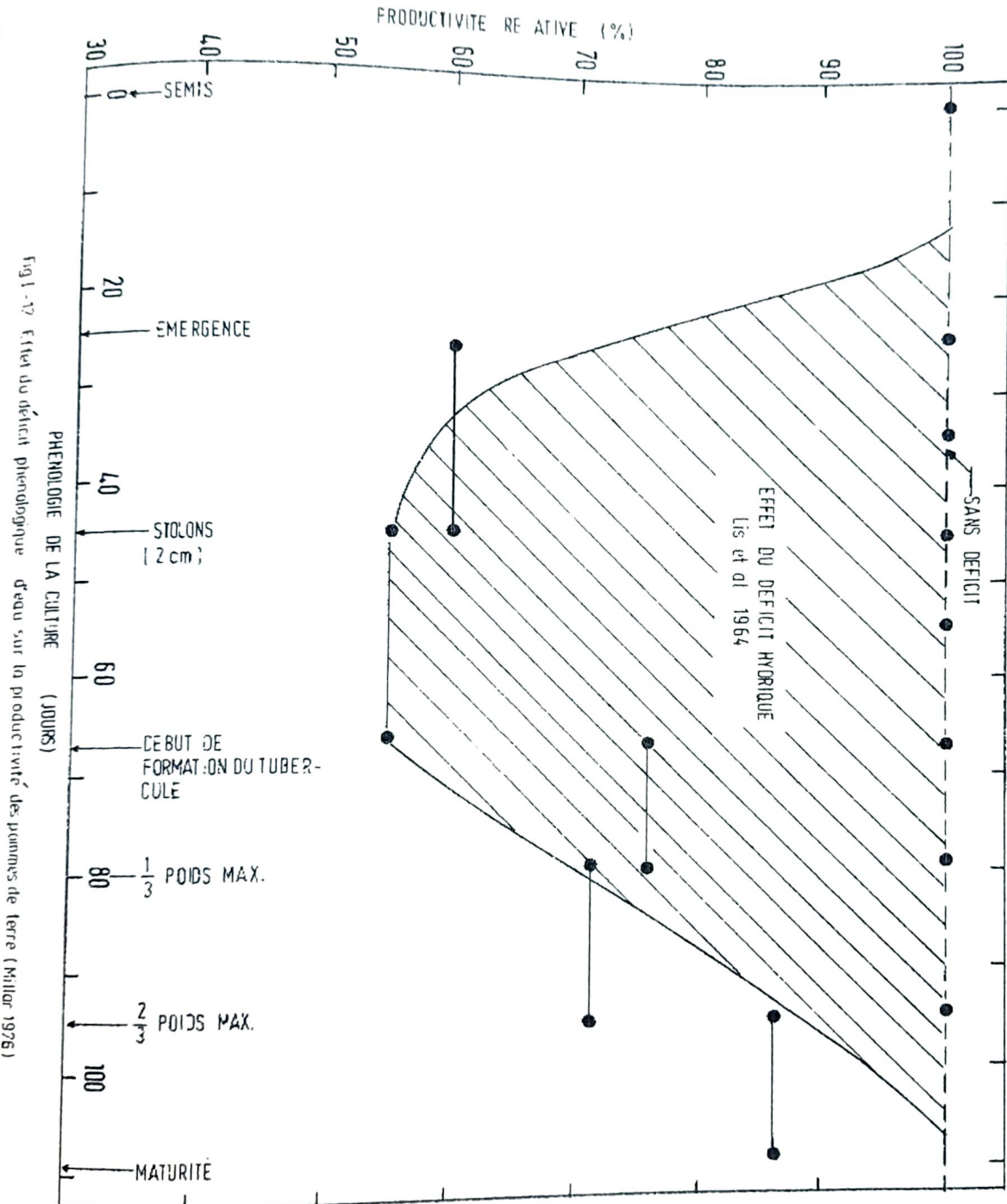


Fig 1-11 Productivité relative des pommes de terre en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Miller 1976)



du premier cas.

Salter et Goode (1967), ont aussi conclu que l'irrigation adéquate avant le début de la formation des tubercules produit un plus grand nombre de tubercules par plante, tandis que l'irrigation adéquate après cette période augmente la taille des tubercules.

Dans la figure I-12, on montre la productivité relative des pommes de terre en fonction du cycle phénologique de la culture, lorsqu'on a imposé des déficits uniques d'irrigation dans des périodes données du cycle. Les résultats présentés sont ceux obtenus par Lis et al. (1964), ces résultats indiquent que la période la plus critique au déficit d'humidité est celle comprise entre les stolones et le début de la formation du tubercule. Dans cette période l'absence d'irrigation produit une diminution de 45% de la productivité.

#### 4.4.3 La laitue

La figure I-13 présente la relation entre la productivité relative de la laitue et le potentiel matriciel du sol auquel s'est appliquée l'irrigation. Cette information montre que la laitue est l'une des cultures le plus sensible au déficit d'humidité, comparée aux niveaux d'humidité des autres cultures pour obtenir des productivités similaires.

D'après la figure I-13, élaborée à partir des données obtenues par Fisher et Hagan (1965), et Bierhuizen et Vos (1969); pour atteindre la productivité potentielle il sera nécessaire de maintenir le niveau d'application de l'eau au sol à -0,15 bar. Par ailleurs les données de vissar (1959) et Pew (1958), indiquent un potentiel de -0,5 bar pour obtenir la productivité maximale. La figure I-13 montre que 80% de la productivité potentielle seront obtenus si on aménage l'irrigation à -0,5 bar et que le 60% seront obtenus en appliquant l'irrigation à -1,1 bar.



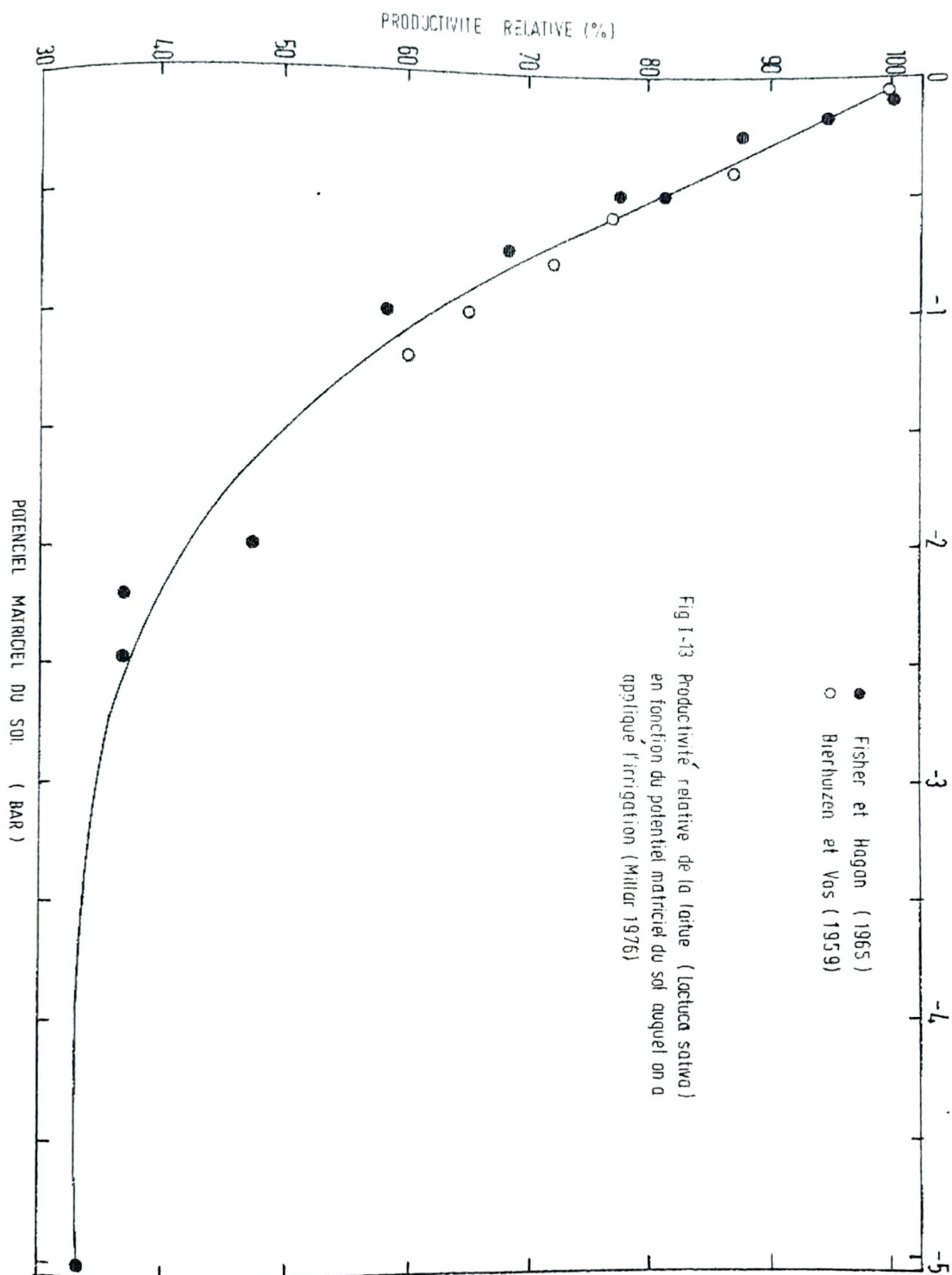


Fig 1-13 Productivité relative de la laitue (*Lactuca sativa*) en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation (Millar 1976)

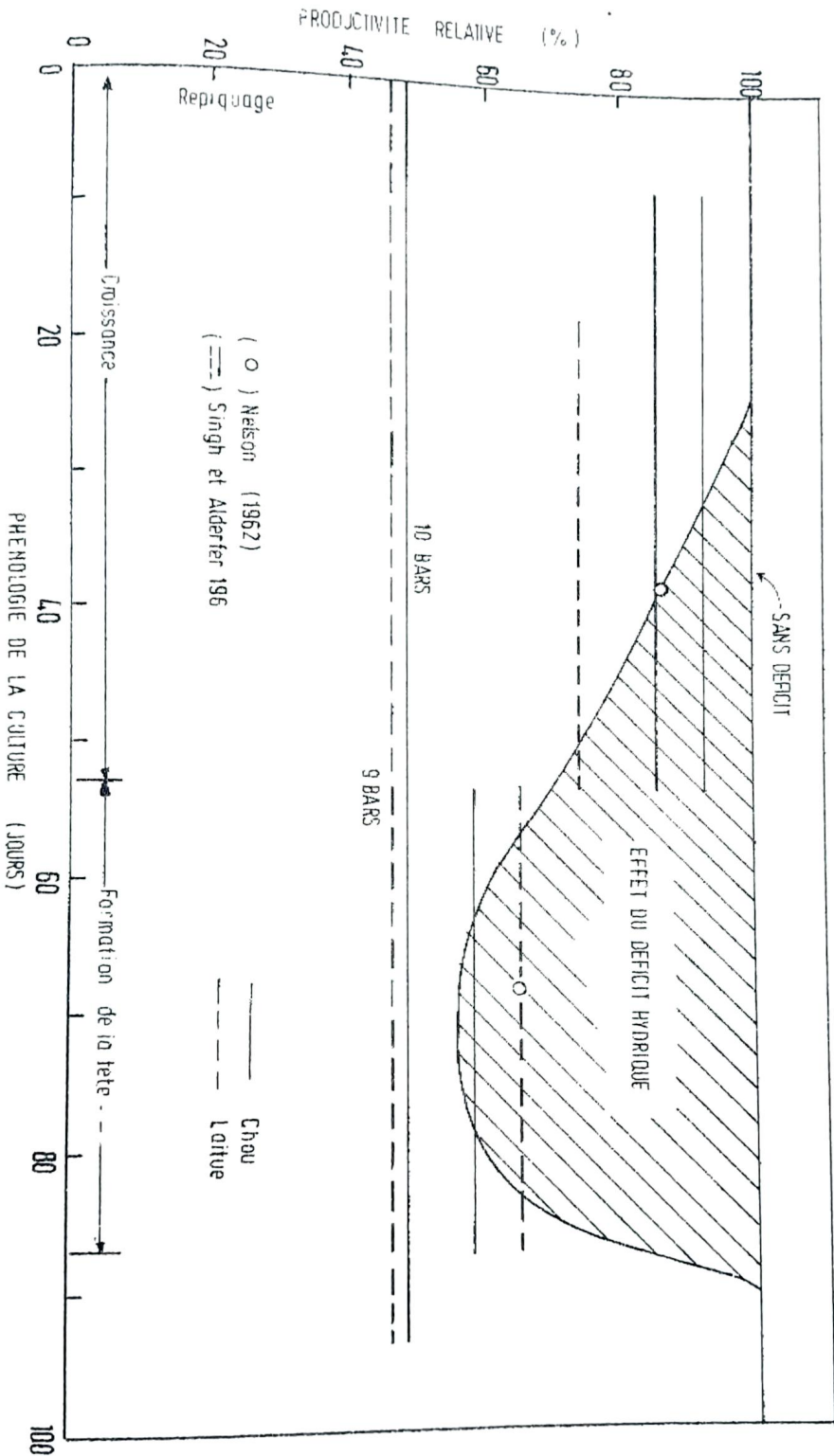


Fig 1-14 Effet du déficit phenologique d'eau sur la productivité de la laitue et du chou (Millar 1976)

Comme c'est le cas pour la plus part des cultures maraîchères, on obtient la productivité maximale de la laitue lorsqu'on maintient des conditions optimales d'humidité du sol pendant tout le cycle phénologique (Salter et Goode, 1967). L'irrigation unique et retardée dans tout le cycle produit des têtes de laitue plus petites et un plus grand pourcentage de têtes non utilisables, petites et brûlées, etc... Le déficit d'eau dans toutes les étapes du cycle, spécialement avant la récolte favorise la production des têtes avec des feuilles brûlées (Salter et Goode, 1967).

Les résultats des recherches réalisées en Allemagne citées par Salter et Goode (1967), suggèrent qu'il est nécessaire de donner un adéquat approvisionnement d'eau dans les trois dernières semaines avant la récolte. Les résultats de Singh et Alderfer (1966), montrent que l'effet le plus grand du déficit hydrique sur la productivité se produit pendant la période de formation de la tête. Ceci coïncide avec le résultat indiqué précédemment.

Dans la figure I-14, élaborée sur la base de l'information de Nelson 1962 et Singh et Alderfer (1966), on montre l'effet des applications uniques et retardées de l'irrigation sur la productivité de la laitue. On inclut aussi des informations sur le chou qui est une autre culture productrice de feuilles. Le cycle phénologique correspond à celui présenté par Singh et Alderfer (1966). On arrive à la conclusion que le déficit d'humidité dans le sol pendant la période de formation de la tête produit une diminution d'environ 50% de la productivité.

#### 4.4.4 La tomate

En ce qui concerne la tomate, il n'existe pas assez d'informations qui montrent clairement sa réponse au niveau d'humidité dans le sol. Flocher et Lingle (1961), ont utilisé des tensiomètres et Blocs de

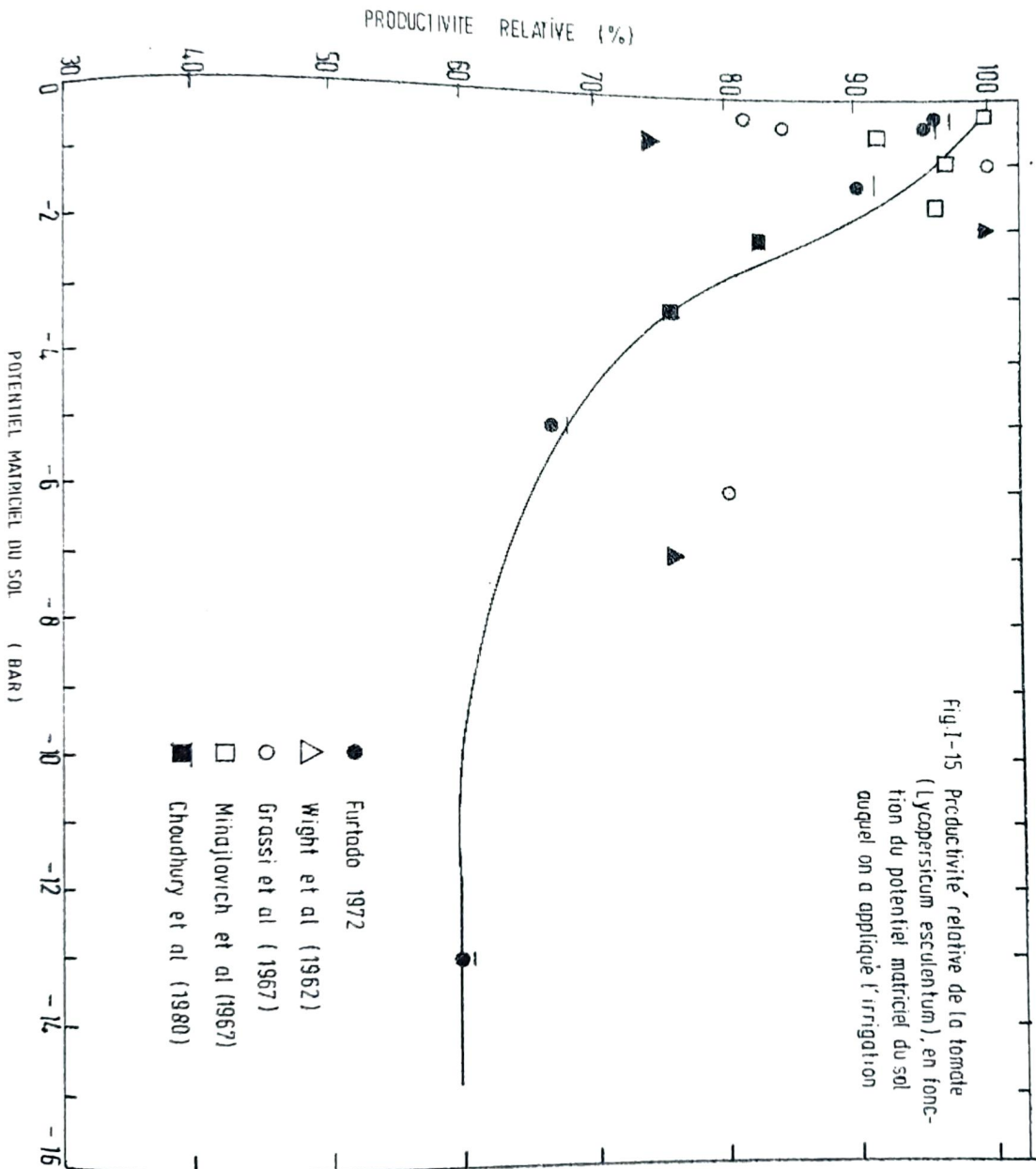
gypse pour trouver le niveau plus adéquat de l'application de l'irrigation dans une terre franche sablonneuse en essayant trois traitements consistant dans l'application d'eau d'irrigation lorsque le niveau d'humidité dans le sol arrivait à - 7 bars: -2 bar et - 0,7 bar. La productivité maximale a été obtenue avec le traitement de -2 bar, sans constater une différence significative avec les traitements extrêmes.

Salter (1954), d'après ses recherches sur le comportement de la tomate industrielle face aux différentes conditions d'humidité du sol a trouvé que la productivité des fruits a été fortement supérieure dans les essais dont l'application de l'irrigation se faisait à potentiels matriciels du sol supérieurs à - 1 bar.

D'autres recherches sur le sujet ont été réalisées par Wright et al. (1962), Grassi et al. (1967), Mihajlovich et al. (1967), Furtado et Simao (1973) et Choudhury et al. (1980). Millar (1976), a paramétrisé les résultats existants pour l'aménagement de l'irrigation. Dans la figure I-15, on présente la productivité relative de la tomate en fonction du potentiel matriciel du sol.

Pour obtenir 90% de la productivité potentielle, l'irrigation doit s'aménager à -2 bar, pour avoir 80%, 70% et 60%, on doit aménager l'irrigation aux potentiels matriciels de -2,7 bar, -4 bar et -9 bar respectivement.

En ce qui concerne la réponse phénologique au déficit d'humidité Huguet (1961), a trouvé qu'il existe deux périodes sensibles au déficit d'eau, pendant la formation des fleurs et pendant la croissance rapide des fruits. Par ailleurs, Vittum et al. (1963), ont trouvé que l'irrigation dans les premières étapes augmentait la taille et le poids des plantes ainsi que la formation des fruits, tandis que l'irrigation dans la dernière partie du cycle augmen-



tait la taille du fruit et la productivité.

Salter et Goode (1976), après avoir analysé les résultats disponibles sont arrivés à la conclusion que la période la plus sensible au déficit hydrique de la tomate se présente dès le début de la formation du fruit jusqu'à la maturité.

Dans la figure I-16, élaborée à partir des données obtenues par Choudury et Millar (1978), on montre la productivité relative de la tomate industrielle en fonction du cycle phénologique. Selon cette information, on conclut que la période critique au déficit d'humidité de la tomate se trouve entre la formation des premiers fruits et leur maturité. Le manque d'humidité dans cette période origine une diminution de 60% dans la productivité; cependant il y a diminution appréciable dans la productivité lorsqu'il y a déficit d'eau dès la période de floraison complète.

A partir de la maturité des premiers fruits, la plante entre dans un processus simultané de floraison, fructification et maturité des fruits, c'est la raison pour laquelle l'effet du déficit d'humidité pendant la période de production complète de la tomate industrielle est manifesté durant tout le processus.

#### 4.4.5 Autres Cultures

Dans la figure I-17, on présente la relation entre la productivité relative et le potentiel matriciel du sol pour le melon (Araujo et Simões 1971). Le potentiel matriciel auquel on doit aménager l'irrigation pour une productivité maximale du melon est de -0,5 bar.

Pour obtenir 90% de la productivité potentielle, on doit aménager l'irrigation à -2,2 bar et pour obtenir 50%, on doit aménager l'irrigation à - 3,6 bar.

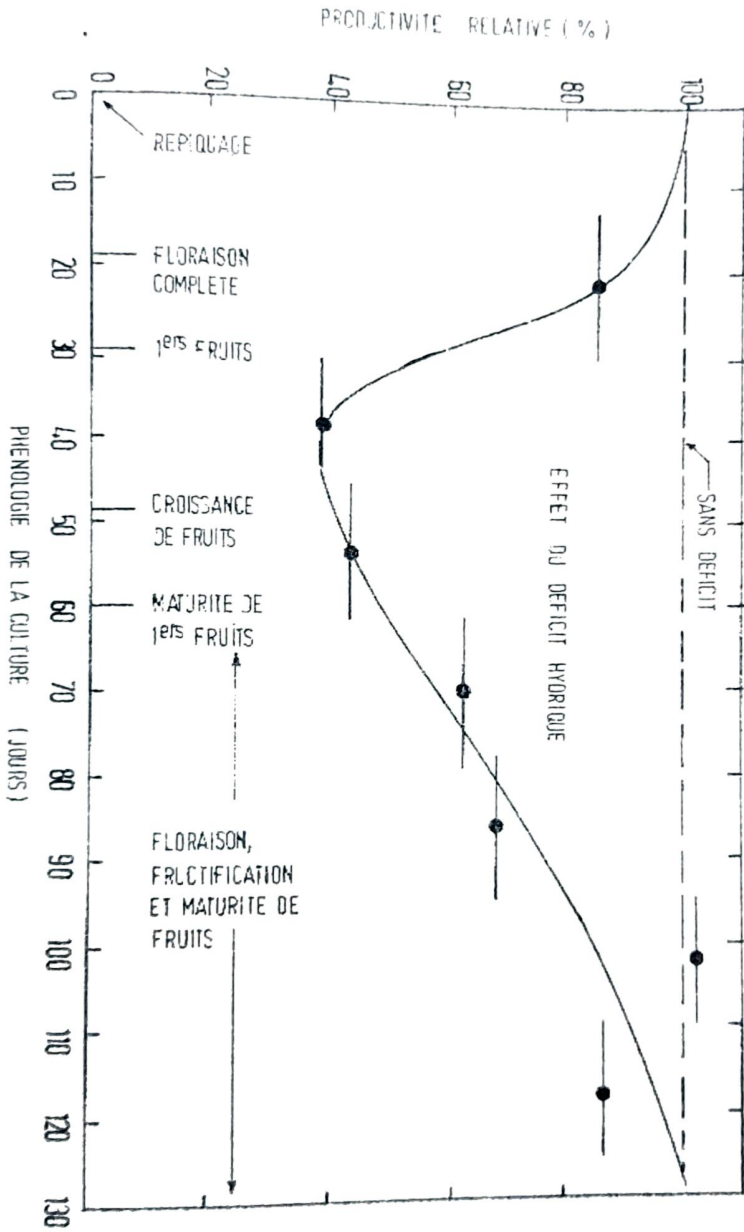
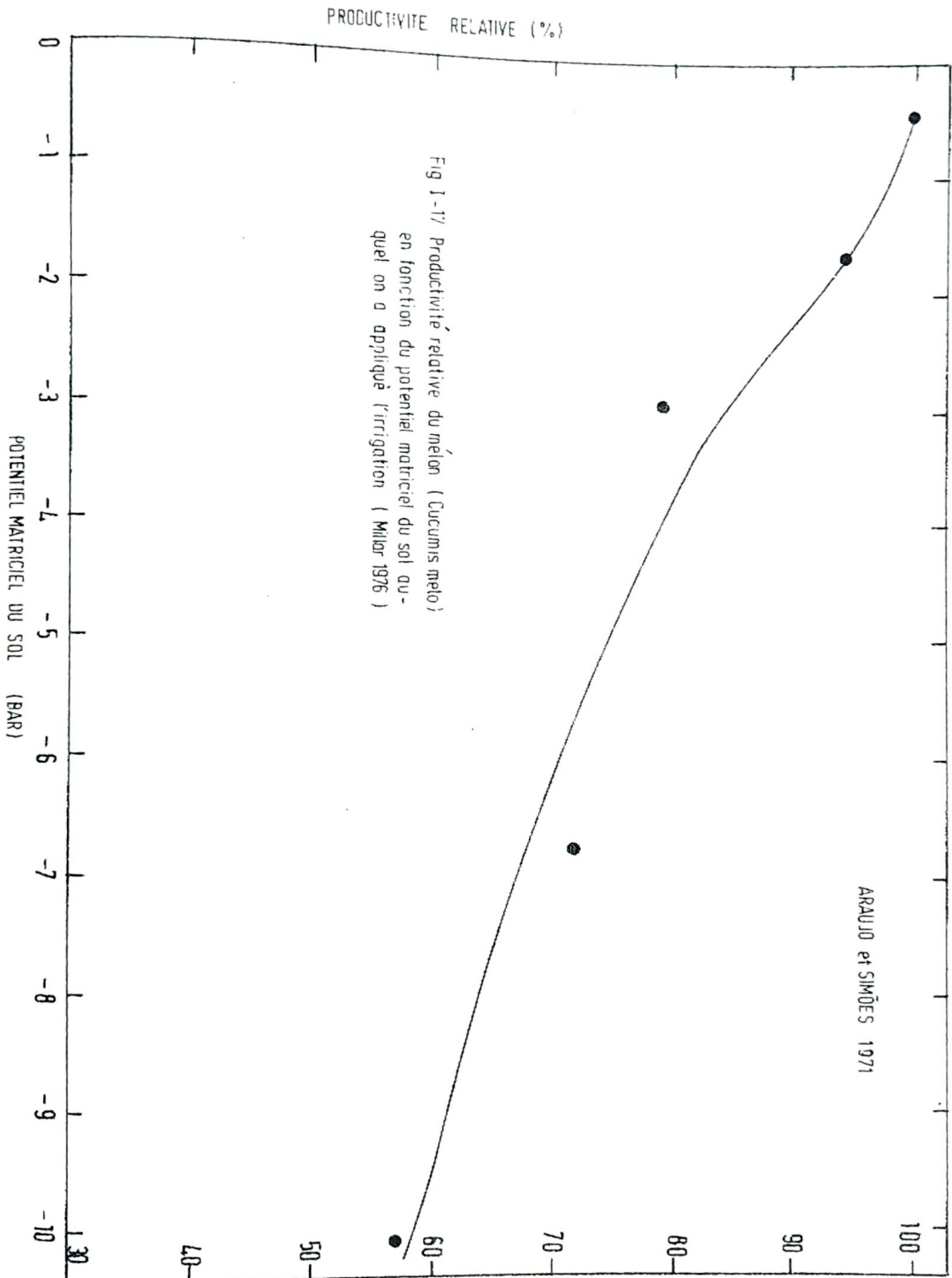


Fig 1-16 Effet du déficit phénologique d'eau sur la productivité relative de la tomate industrielle ( Choudhury et Miller, 1978 )





Le melon est une culture relativement résistante au déficit d'humidité ce qui donne la possibilité d'aménager l'irrigation plus adaptée à la méthodologie traditionnelle d'application de l'eau. En relation à la réponse du melon à l'irrigation unique et retardée il n'existe pas beaucoup d'information. Azzi, cité par Salter et Goode (1967), a trouvé que le melon a besoin de l'irrigation adéquate jusqu'à ce que le fruit atteigne sa taille maximale, après cela il est nécessaire d'arrêter l'irrigation pour arriver à la maturité et éviter les pourritures.

#### 4.5 Plantes Fourragères

##### 4.5.1 Luzerne

Dans la figure I-18, on montre la relation entre la productivité relative de la Luzerne pour fourrage sec et pour semence et le potentiel matriciel du sol auquel s'aménage l'irrigation. La réponse au niveau de l'irrigation pour la luzerne pour des semences est complètement différente que pour le cas de la production de fourrage sec. Dans le cas de la production de semences, l'aménagement de l'irrigation aux niveaux -2 bar et -7 bar donne des productivités proches de la valeur potentielle. Il faudra éviter d'arriver à ces déficits pendant la période de floraison qui est la période la plus critique (Doorembos et Pruitt 1975).

En ce qui concerne la production de fourrage sec, la luzerne est très sensible au déficit d'humidité. Le 90% de la productivité potentielle est obtenus si on aménage l'irrigation à -0,9 bar, les 80% à -1,5 bar, 70% à -1,5 bar, 70% à -1,65 bar et on obtient 60% de la productivité potentielle lorsque l'irrigation s'applique à -3 ou 4 bar, cela ne tient pas compte de la diminution additionnelle de la productivité si le déficit d'humidité coïncide avec la période critique de la culture.

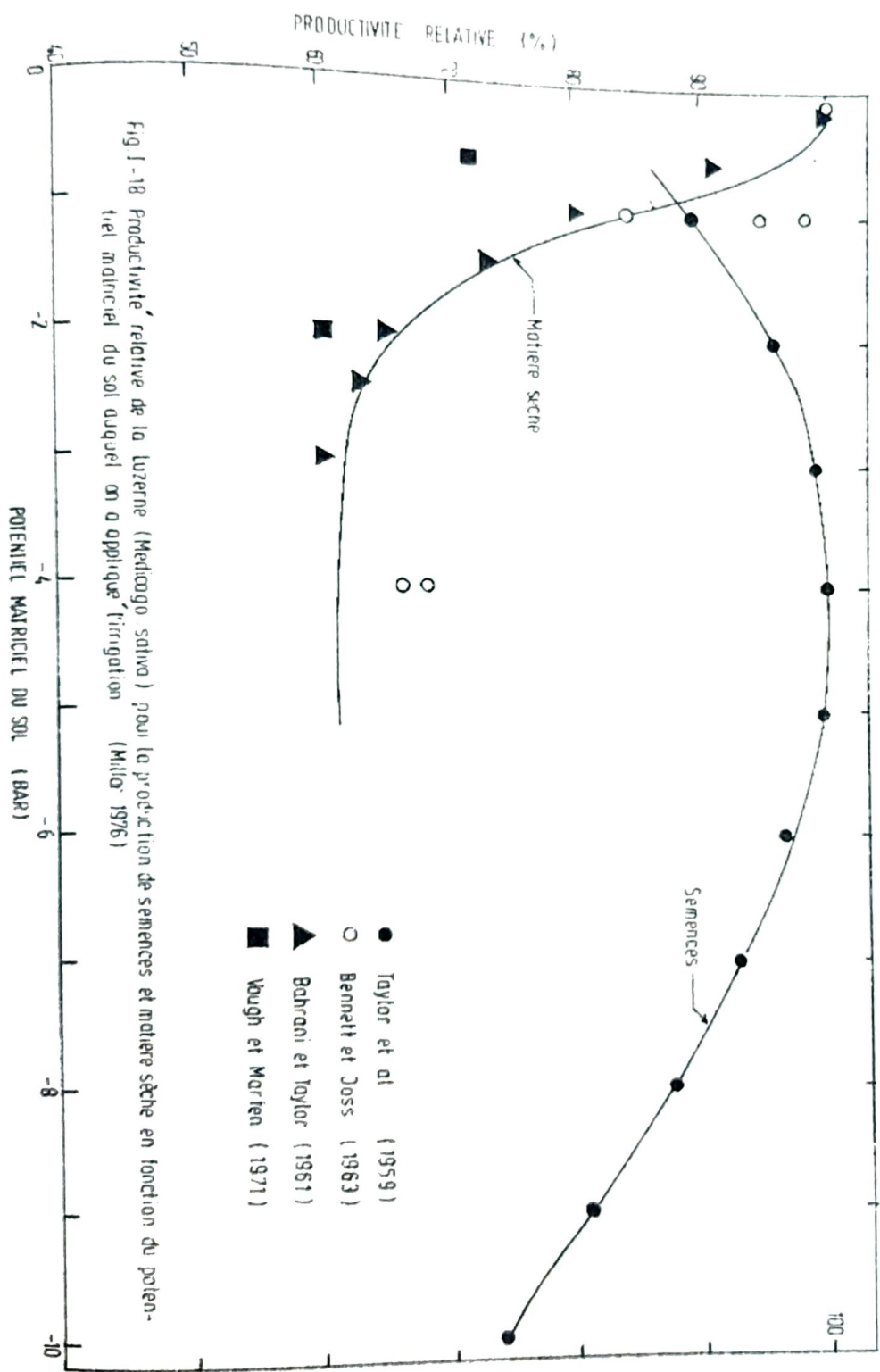


Fig 1-18 Productivite' relative de la luzerne (*Medicago sativa*) pour la production de semences et matiere seche en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a applique' l'irrigation (Miller 1976)

#### 4.5.2. Trèfle

La figure I-19, montre la relation entre la productivité relative et le potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation pour le trèfle blanc, rose et du type ladino. Les résultats obtenus par Bennett et Doss (1963) montrent que la productivité diminue au-fur et-à-mesure que le potentiel matriciel diminue (plus négatif, succion plus forte). D'après ces données, on atteint la productivité potentielle si on aménage l'irrigation à -0,5 bar, 90% à -2,5 bar, 80% à -3,1 bar, 70% à -4,0 bar et 60% à -5 bar. Par ailleurs, les données de Hagan et al. (1957), pour le trèfle ladino montrent qu'il n'y a pas de différence appréciable dans la productivité lorsqu'on applique l'irrigation entre -0,3 bar et -5 bar, ce qui coïncide avec la plupart de l'information publiée.

#### 4.5.3 Fourrages annuels

Malgré la maigre information apportée par la figure I-20 on y montre que la productivité potentielle des Fourrages annuels est obtenue en aménageant l'irrigation aux environs de -0,4 bar du potentiel matriciel. Les 90% de la productivité potentielle sont obtenus à -1,0 bar, 80% à -1,75 bar, 70% à -3 bar et 60% à -4,25 bar.

La figure I-21, montre la productivité de millet grain (*Pennisetum typhoides*), en fonction du potentiel matriciel du sol (Silva 1978). D'après le graphique on peut dire que le millet est résistant à la sécheresse parce que la productivité maximale est obtenue aux basses valeurs du potentiel matriciel du sol (-7,5 bars).

Dans la figure I-22, on présente la productivité du sorghum en fonction de son cycle phénologique (Steward et al. 1974). Malgré que le sorghum est résistant au déficit d'humidité, il a une période critique entre la montaison et le début de l'épiaison.

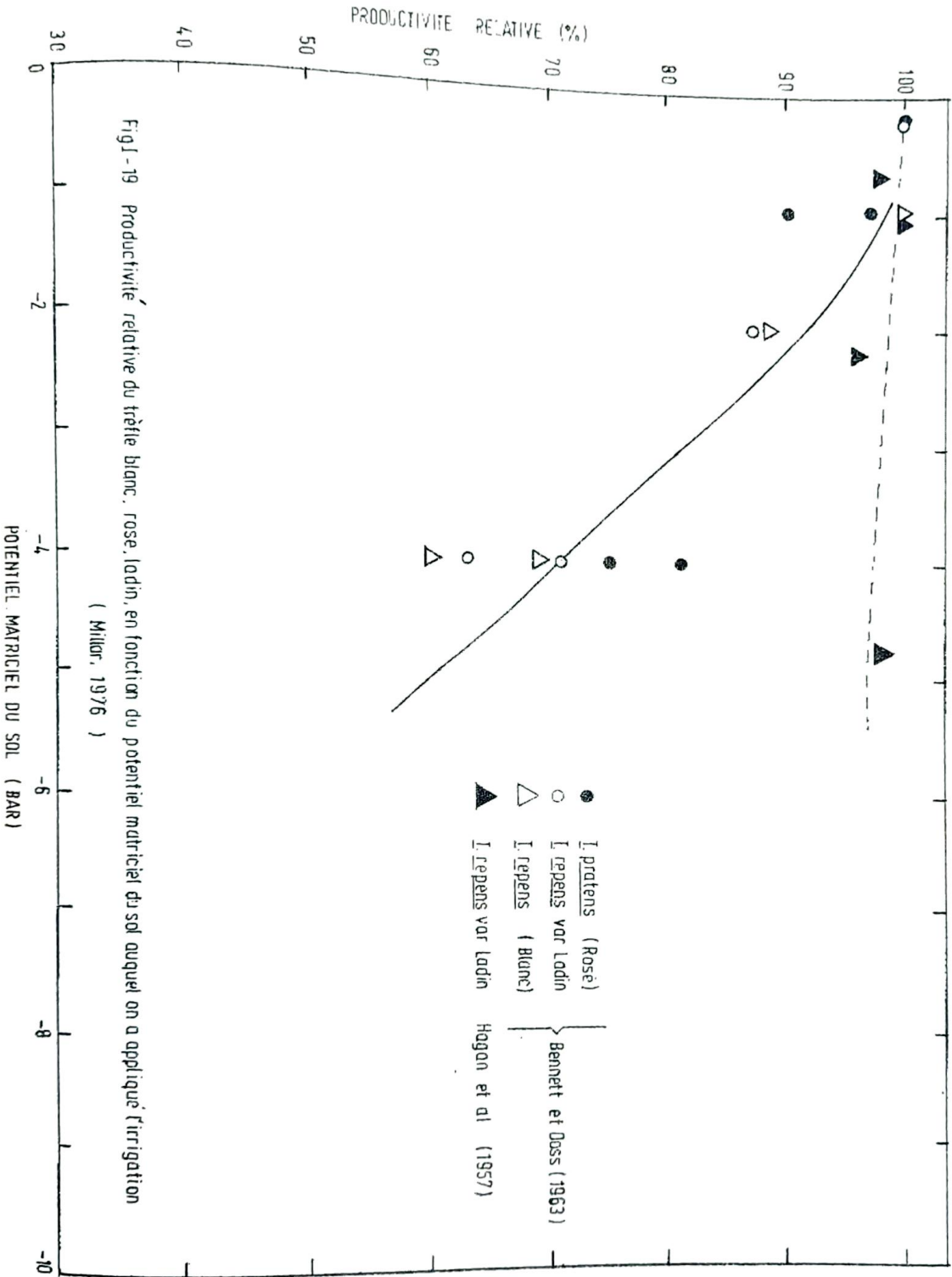


Fig1 - 19 Productivité relative du trèfle blanc, rose, ladino, en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation

( Millar, 1976 )

POTENTIEL MATRICIEL DU SOL ( BAR )

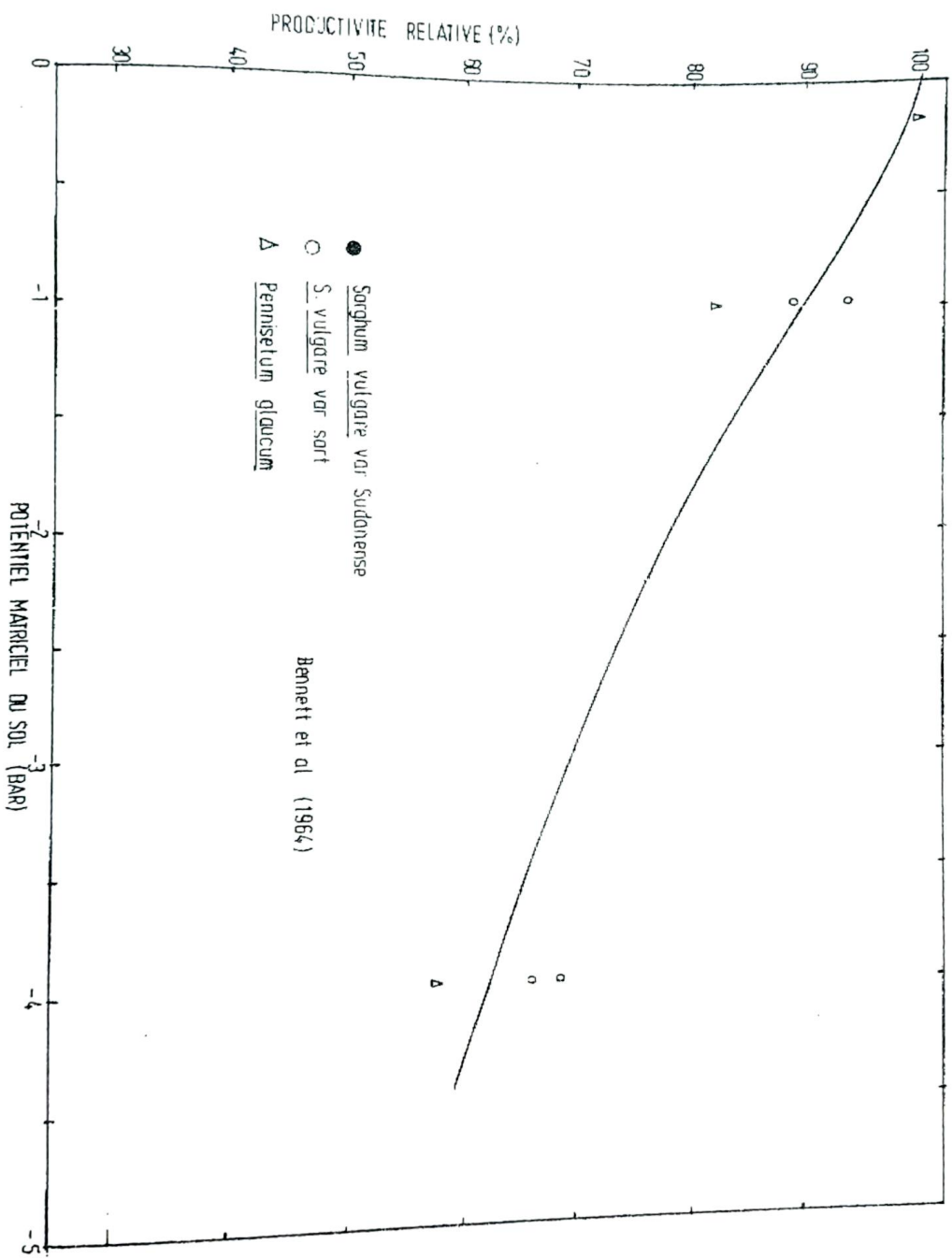


Fig.1-20 Productivité relative des fourrages annuels en fonction du potentiel matriciel du sol auquel on a appliqué l'irrigation ( Millar, 1976 )

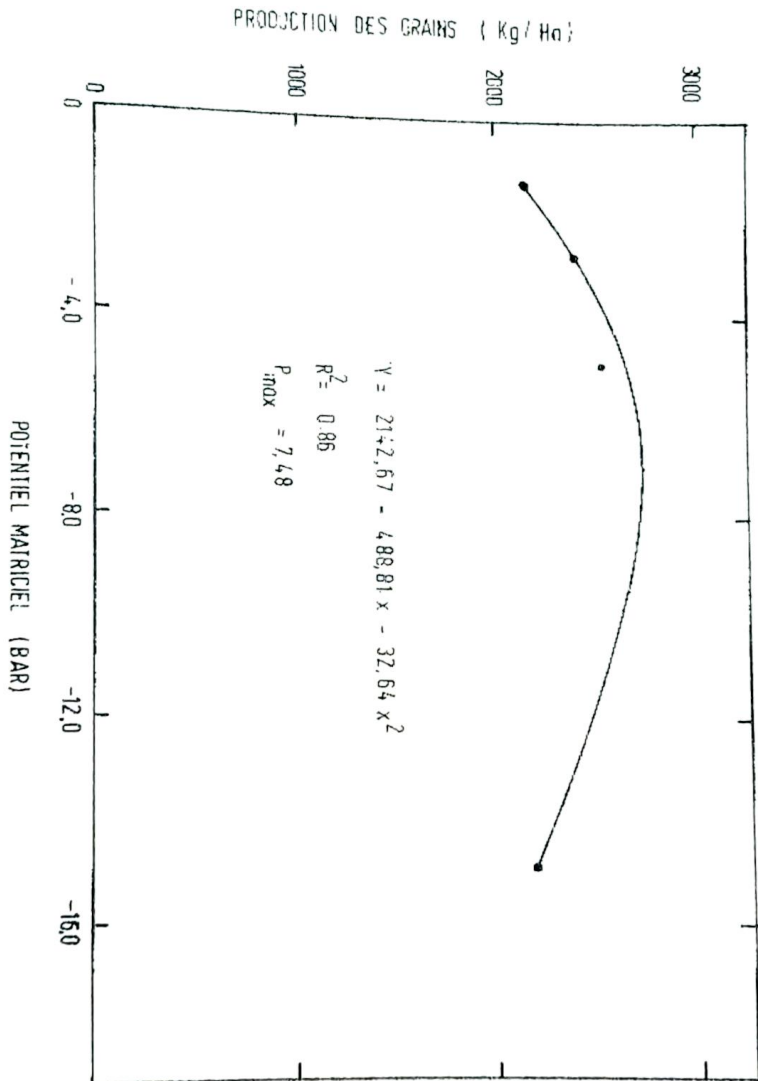


Fig. 1-21 Production des grains de Millet en fonction du potentiel matriciel du sol (Sikva et al 1980 )

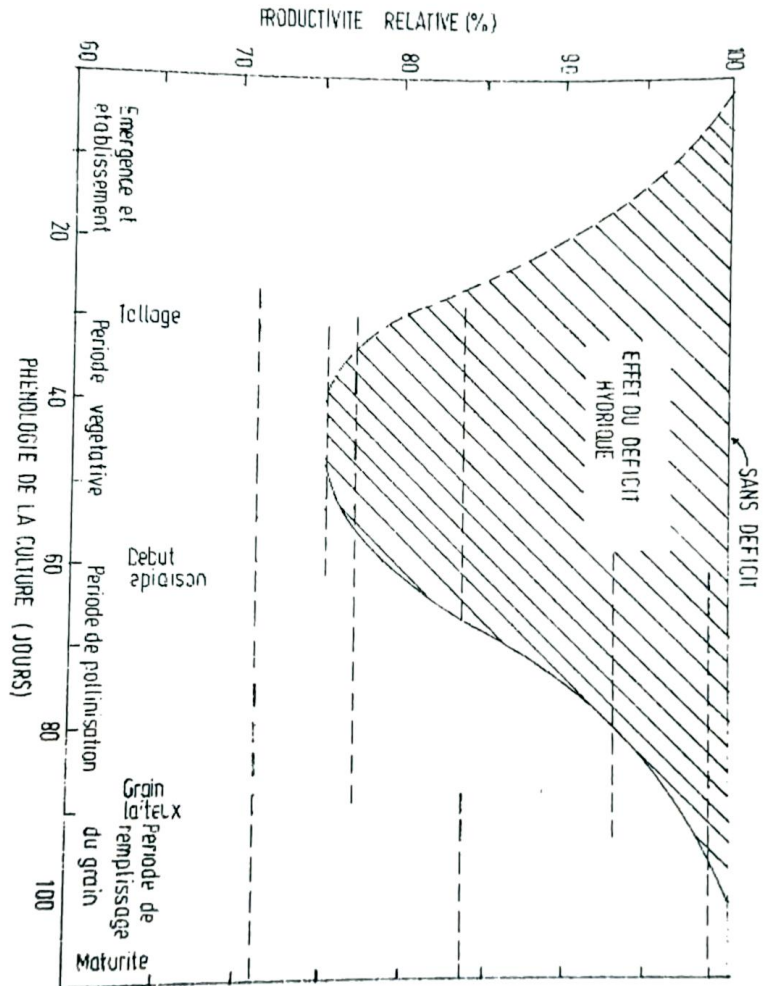


Fig. 1 22 Effet du déficit phenologique d'eau sur la productivité relative du sorgho gramine base sur les données de Steward et al 1974 (Millar, 1984)

#### 4.5.4 Fourrages permanents

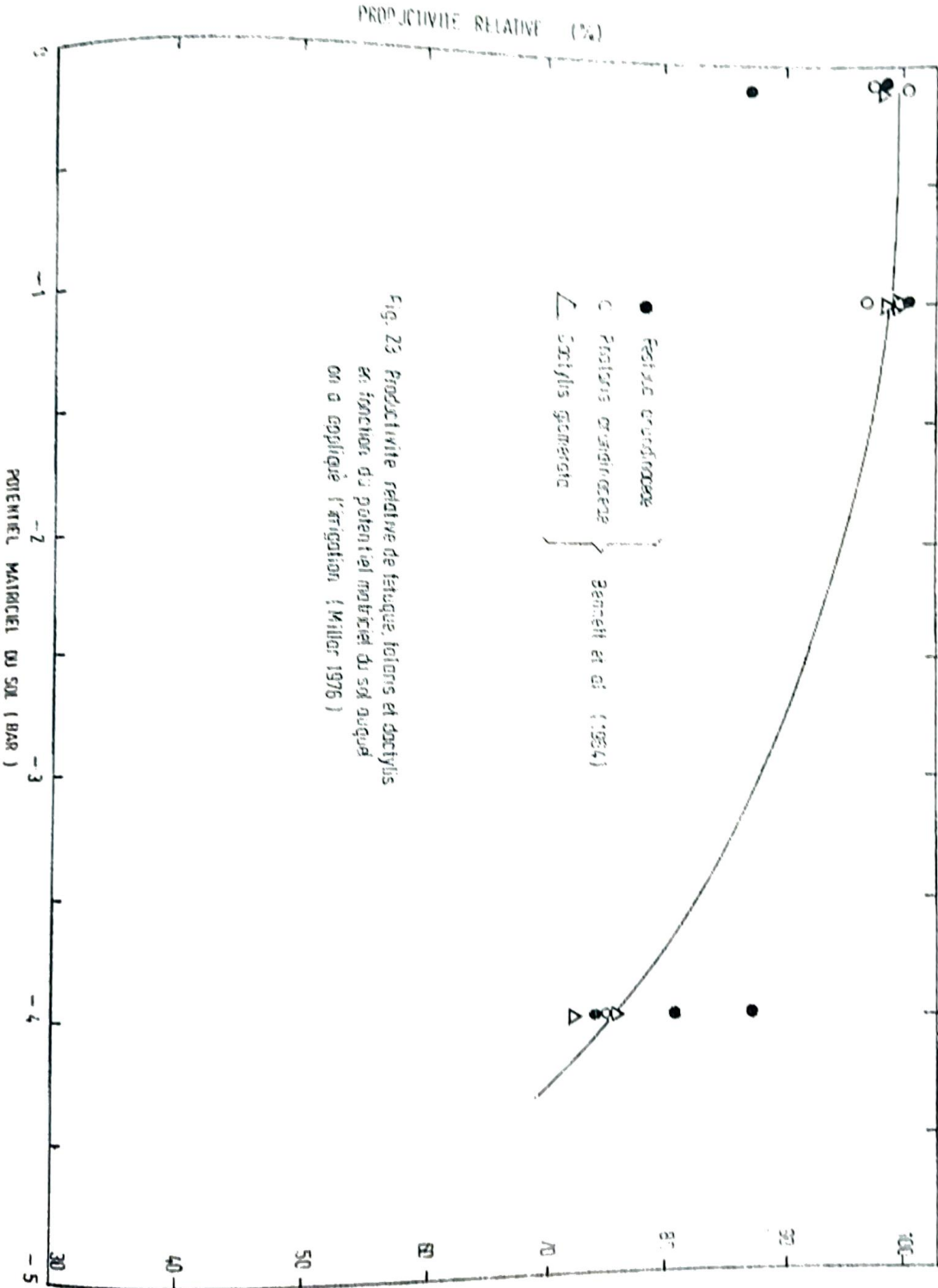
La figure 1-23, montre l'information pour Fetuque Phalaris et Dactylis. On peut obtenir la productivité potentielle si on applique l'irrigation entre -0,25 bar et -1,0 bar, Le 90% de la productivité potentielle si on applique l'irrigation à -2,75 bar, le 80% à -3,75 bar et 70% à -4,6 bar. A partir de cette information on conclut que les fourrages permanents sont peu sensibles au déficits d'humidité, ceci permet un aménagement adéquat et plus facile de l'irrigation.

D'après Elasser et al. (1952), les fourrages une fois qu'ils ont été établis, ils sont moins affectés par les excès et déficits d'humidité que les légumineuses (luzerne, trèfle). Les fourrages sont capables de résister aux sévères déficits d'humidité parce qu'ils ont des stolons complémentaires lesquels poussent sous la surface du sol où ils sont protégés contre la dessiccation et parce que pendant la période de sécheresse ils sont en dormance. Par ailleurs, on a montré que les fourrages permanents résistent bien au déficit d'humidité lorsqu'ils sont bien pourvue d'azote (Low et Armitage 1959).

En général, l'analyse de l'information existante conduit aux conclusions contraires à celles obtenues par Salter et Goode (1967), ceux-ci ont établi que le taux de croissance et productivité des fourrages dépendent de l'application continue d'eau à basse tension, ils ajoutent encore "Il n'y a pas une succion déterminée à partir de laquelle le taux de croissance des fourrages diminue.

L'information publiée sur le sujet qui fait partie de ce chapitre permet de conclure que les fourrages résistent aux déficits d'humidité et que en appliquant l'irrigation lorsque le potentiel matriciel se trouve entre -2 bar et -4 bar on obtient une productivité d'environ 80% de la productivité potentielle, cette productivité





peut être obtenue en utilisant la méthodologie traditionnelle d'application de l'irrigation par gravité. Les zones de plus forte demande ont besoin d'une fréquence plus forte, ce qui peut empêcher l'aménagement de l'irrigation pour des productivités plus fortes à moins que l'on utilise l'irrigation pas aspersion ou goutte à goutte.

#### 4.6 Les Cultures Industrielles

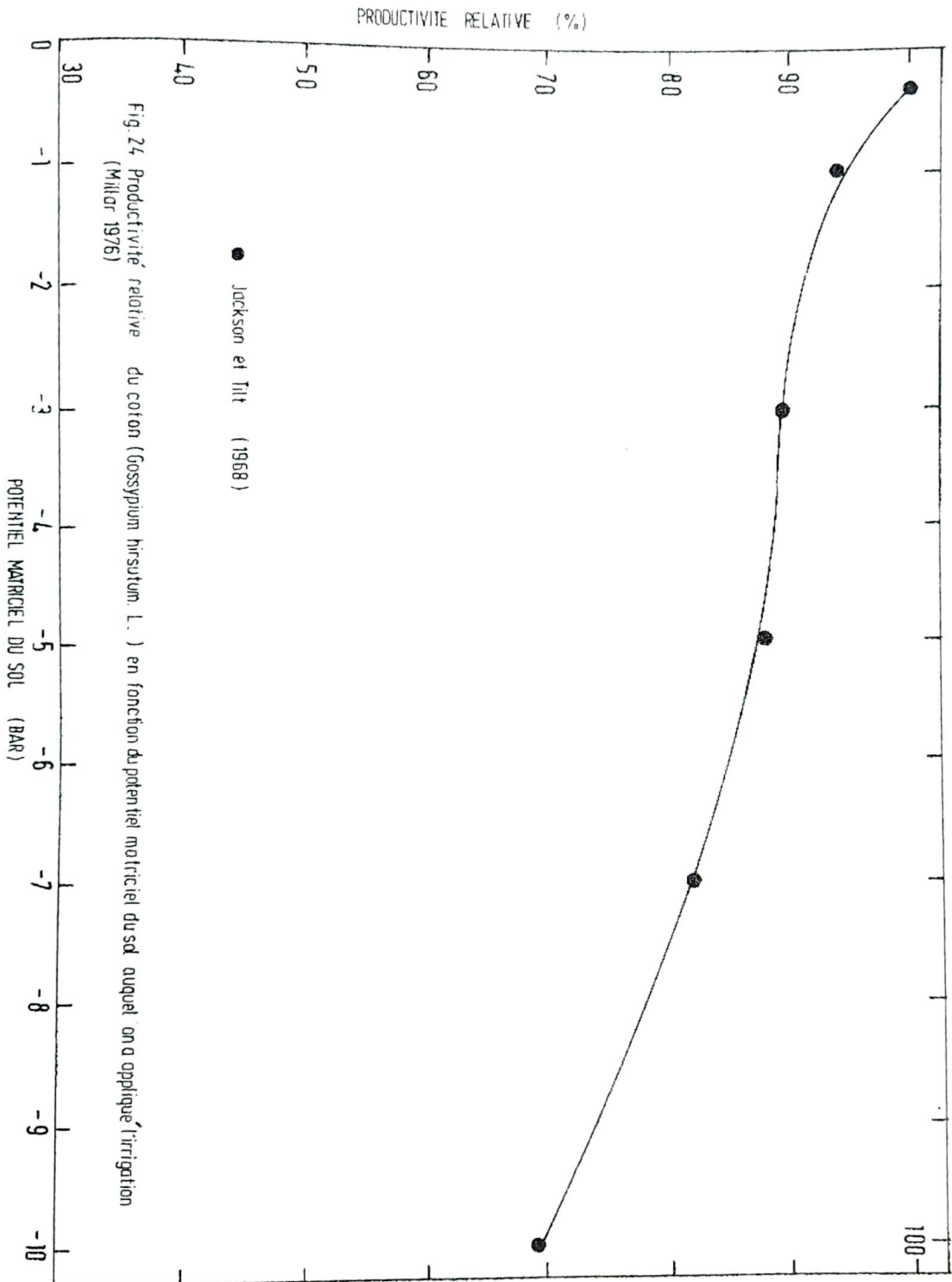
##### 4.6.1 Le coton

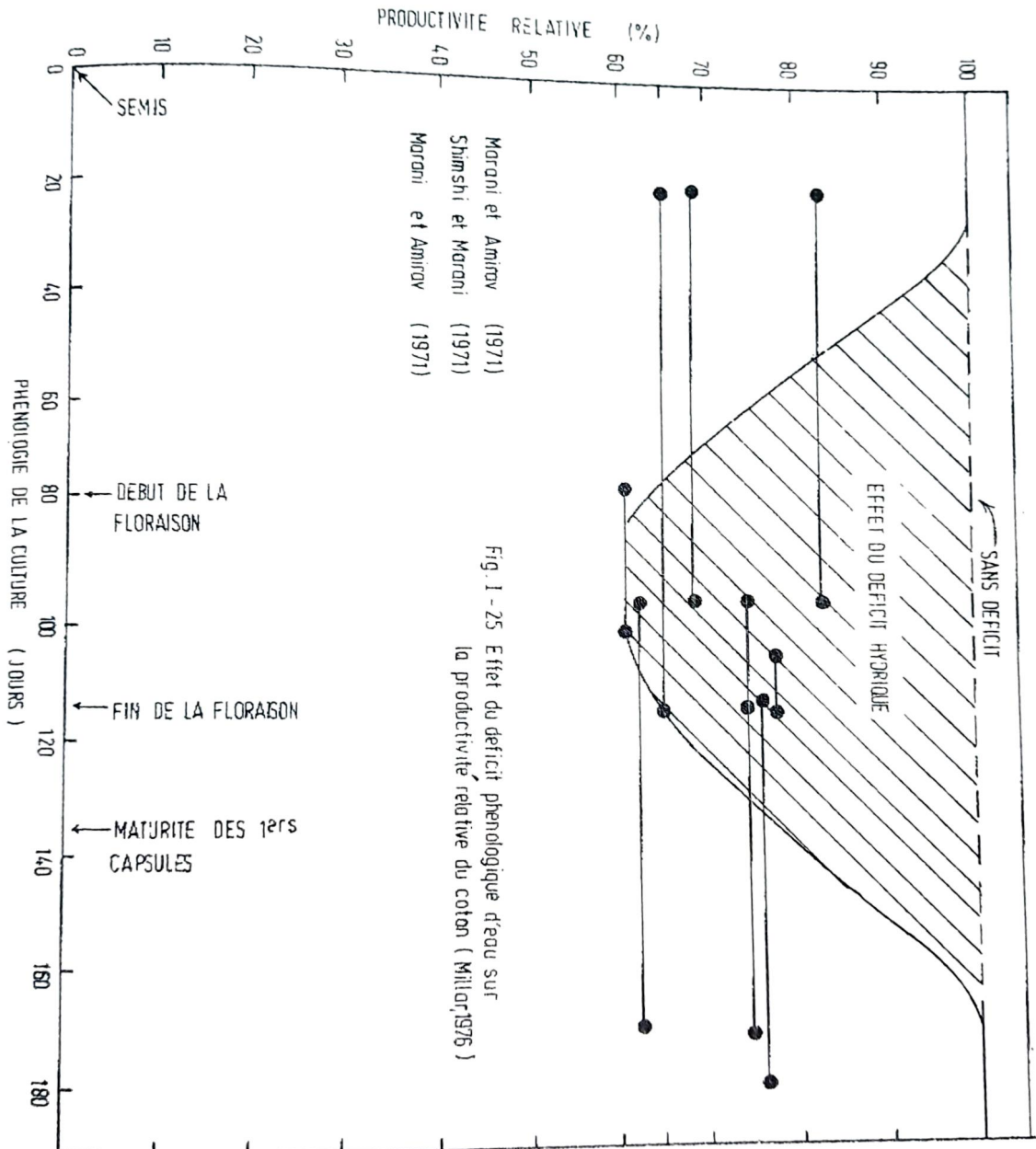
Dans la figure I-24, on présente la relation entre la productivité relative du coton et le potentiel matriciel du sol auquel on doit déclencher l'irrigation. On peut obtenir 20% de la productivité potentielle en appliquant l'eau à -5 bar, 40% à -7,5 et 70% à -10 bars, ceci signifie que le coton est résistant à la sécheresse.

Dans la figure I-25, on montre l'effet des déficits uniques d'humidité dans quelques étapes du cycle phénologique sur la productivité relative du coton. La période la plus critique du coton au déficit d'humidité se présente dans la période comprise entre le début et la fin de la floraison dans laquelle un déficit d'humidité provoque une diminution de 40% de la productivité relative. Le déficit d'humidité dans la période comprise entre la fin de la floraison et la maturité des premières capsules produit une diminution de 25% de la productivité. L'information présentée ci-dessus indique que le coton peut être cultivé dans des conditions pluviales si on fait une utilisation efficace de la distribution ou de la concentration de la pluie.

##### 4.6.2 La Canne à Sucre

En général, l'effet du déficit d'humidité sur la productivité de la canne à sucre est plus forte pendant la période de croissance, spécialement pendant la première moitié de la période de croissance (Salter et Goode, 1967). Au fur et à mesure que l'on s'approche de





de la récolte et pendant la période de maturité, le déficit d'humidité favorise l'accumulation de saccharose.

L'effet positif de l'eau est plus grand lorsque l'eau s'applique à la fin ou pendant la montaison (Acharya et al. 1960; Gill 1962).

La croissance de la tige détermine la productivité de la canne à sucre. L'eau produit un effet important dans le taux de croissance de la canne à sucre, lequel est plus fort pendant la nuit que pendant le jour (Salter et Goode, 1967), ce qui est en relation directe avec le potentiel de pression existant dans la plante.

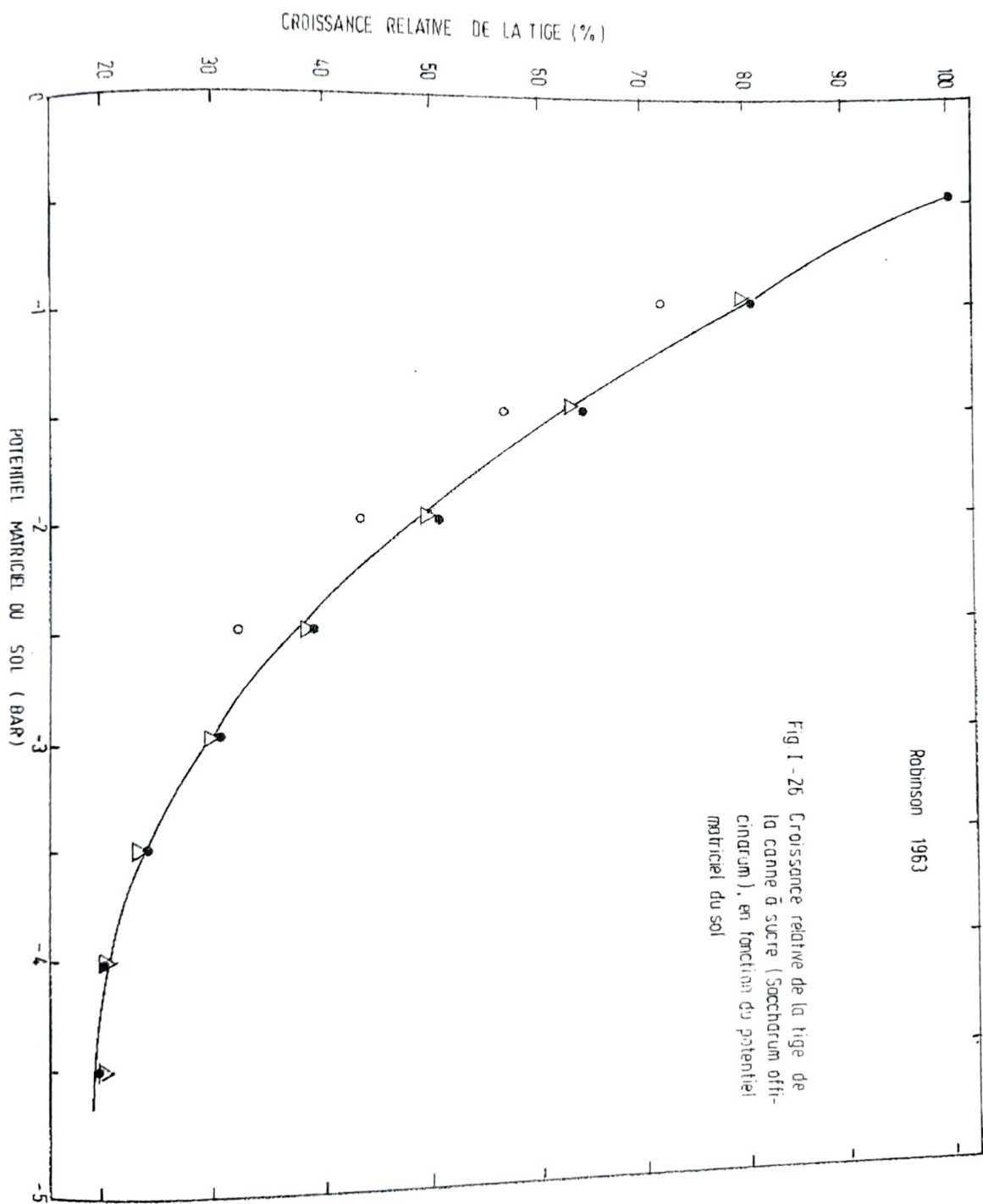
La figure I-26, montre la croissance relative de la tige en fonction du potentiel matriciel du sol (Robinson 1963), indiquant que l'accroissement de la tige diminue rapidement jusqu'à -2 bar. Par ailleurs, on indique que l'on doit réduire l'intervalle des applications de l'irrigation pendant la période de croissance pour maximiser la productivité de la canne à sucre.

#### 4.7 Résumé de la réponse des cultures à l'aménagement de l'irrigation.

Dans le tableau I-3, on présente un résumé des différentes cultures que l'on a analysées précédemment. On montre le niveau de production que l'on peut obtenir lorsqu'on aménage l'irrigation à une valeur donnée du potentiel matriciel du sol.

Du tableau I-3, sus-mentionné, on déduit qu'il y a des cultures dont leur productivité est affectée à un degré plus fort que d'autres pour la même valeur du potentiel matriciel du sol. Si on classe les cultures d'après sa sensibilité au déficit d'humidité, on peut proposer l'ordonnement suivant:

Laitue > Pomme de terre > luzerne (matière sèche) > Mais



Par ailleurs, une classification des cultures d'après la résistance au déficit d'humidité donnera la séquence suivante:

Luzeerne (semence) > Coton > Melon > Tomate > Blé

L'information du tableau I-3 indique que la productivité des cultures telles que la luzerne et le coton peut être aménagée sous conditions d'agriculture pluviale. L'information de périodes critiques peut être utilisée en concordance avec la distribution des pluies. Dans les zones où la pluie est concentrée dans des périodes déterminées il sera possible d'aménager l'époque de semis des cultures afin de faire coïncider la période critique de la culture avec la période dans laquelle l'analyse des pluies montre qu'il y a 75% de probabilité d'obtenir une hauteur de pluie significative qui remplace l'application de l'irrigation.

Tabela. I-3 Niveau de production des différentes cultures aménagées pour être irriguées d'après le potentiel matriciel du sol.

Culture	Niveau de productivité potentielle (%)					
	90	80	70	60	50	
<u>Grains</u>						
Blé (orge)	-0,50	-1,75	-3,2	-4,6	-6,3	-5,5
Mais	-0,50	-0,90	-1,6	-2,4	-3,4	-4,9
Haricot	-0,80	-1,70	-2,5	-4,0	-6,0	-
<u>Cultures Maraichères</u>						
Oignon	-0,50	-1,6	-2,1	-2,9	-3,7	-5,0
Pomme de terre	-0,25	-0,65	-1,1	-1,6	-2,0	-2,5
Tomate	-0,50	-2,0	-2,7	-4,0	-9,0	-
Laitue	-0,15	-0,3	-0,5	-0,75	-1,1	-1,5
Haricot (vert)	-0,40	-2,4	-3,3	-4,0	-4,5	-4,95
Mélon	-0,50	-2,2	-3,6	-6,0	-9,5	-
<u>Plantes fourragères</u>						
Luzerne (fourrage sec)	-0,40	-0,9	-1,15	-1,65	-(3-4)	-
Luzerne (Semences)	-(4-5)	-7,5	-9,1	-(10-11)	-	-
Trèfle fourrage (sec)	-0,50	-2,15	-3,1	-4,0	-5,0	-
Fourrages annuels	-0,40	-1,0	-1,75	-3,0	-4,25	-
Fourrages permanents	-(0,25-1,0)	-2,75	-3,75	-4,6	-	-
<u>Cultures Industrielles</u>						
Coton	-0,60	-2,5	-7,5	-9,75	-	-
Canne à sucre	-0,50	-0,75	-1,0	-1,3	1,6	-2,0



#### 4.8 Emploi de l'information dans des zones irriguées

##### 4.8.1 Données nécessaires

L'information présentée ici constitue les données de base pour l'aménagement de l'irrigation, cependant pour son application dans un cas spécifique déterminé par le climat et la méthode d'irrigation, on doit connaître quelques paramètres de la surface à irriguer, parmi lesquels il nous faut:

- a) La courbe de rétention d'humidité des sols (teneur volumétrique de l'eau en fonction du potentiel matriciel du sol)
- b) Profondeur effective du système racinaire de la culture, et,
- c) L'évapotranspiration de la culture par phase du cycle végétatif.

À partir de ces données, on réalise un balance hydrique en prenant le profil du sol, représenté par la profondeur effective du système racinaire en conditions d'humidité au capacité du champs aux environs entre  $-0,1$  bar et  $0,33$  bar du potentiel matriciel pour les sols sableux et argileux, respectivement.

En disposant de l'information sus-mentionnée, on prépare un graphique qui lie le potentiel matriciel du sol en fonction du temps, après l'irrigation et dans lequel on introduit; en tant que variable, l'extraction d'humidité par la culture (évapotranspiration). Dans les sols sableux il faut tenir compte des pertes par percolation au delà de la profondeur des racines. Les détails de la procédure se trouvent dans la publication de Millar et Choudhury (1980), et son but est de définir la fréquence d'application de l'irrigation au niveau de la parcelle à partir des données climatiques du sol et de la culture (Fig. I-27)

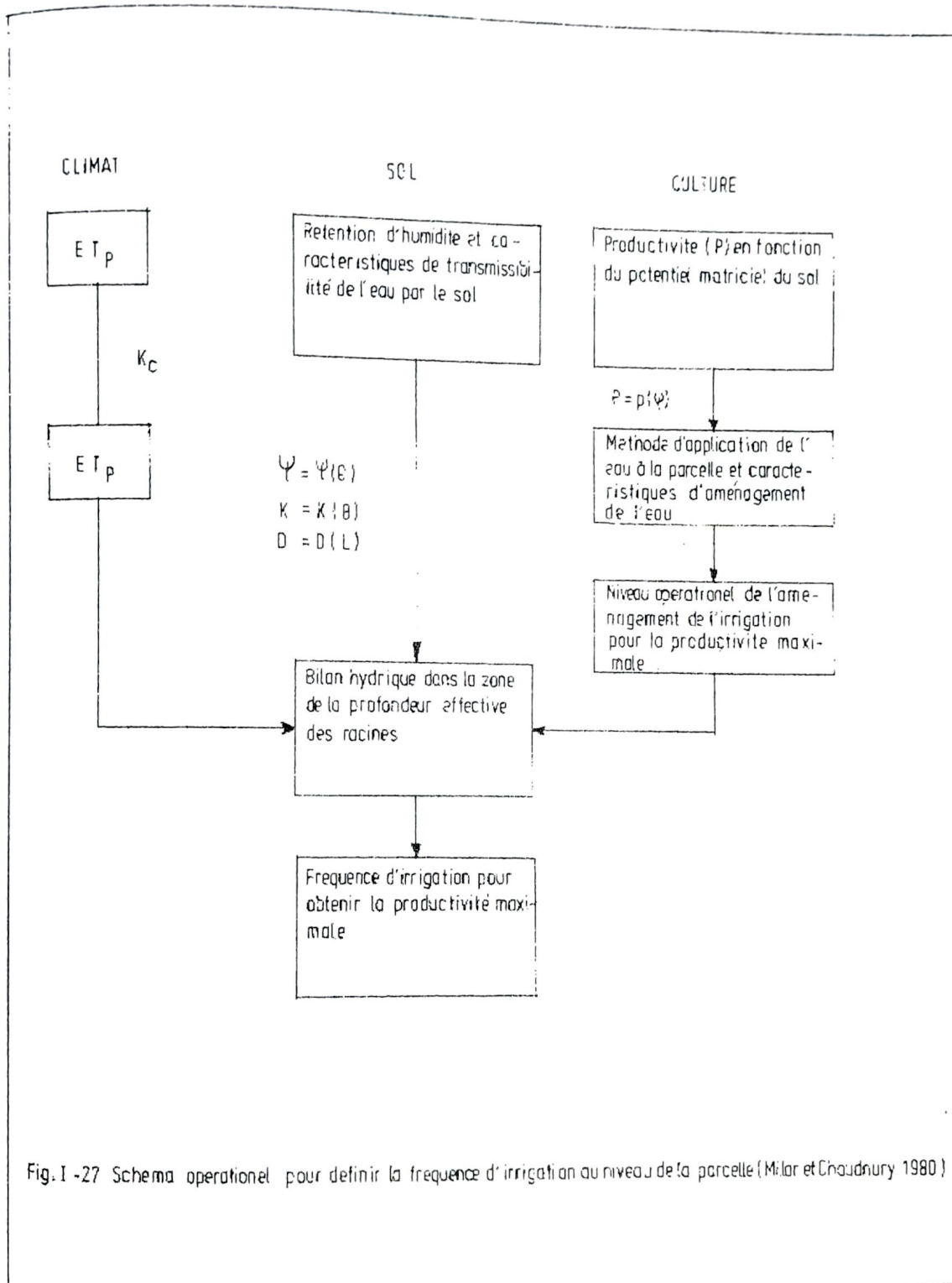


Fig. I -27 Schema opérationnel pour définir la fréquence d'irrigation au niveau de la parcelle (Milar et Choudhury 1980)

#### 4.8.2 Exemple de l'emploi de l'information

Afin de montrer, par un exemple pratique, la façon de l'aménagement de l'irrigation dans une zone semi aride, on présente le bilan hydrique pour deux types de sols, Latosol et Vertisol, de la Vallée de San Francisco (Saint François) dans le Nord Ouest du Brésil.

On propose différents patrons d'extraction de l'eau du profil de sol de 0,4 m de profondeur et en disposant des courbes de rétention d'humidité, on définit la variation du potentiel matriciel en fonction de l'extraction. La marche à suivre pour le calcul se présente dans le schéma de la figure I-28. Dans la figure I-29, on montre le bilan hydrique pour le vertisol en fonction du temps après l'application de l'irrigation. La figure I-30 montre la même information pour le latosol.

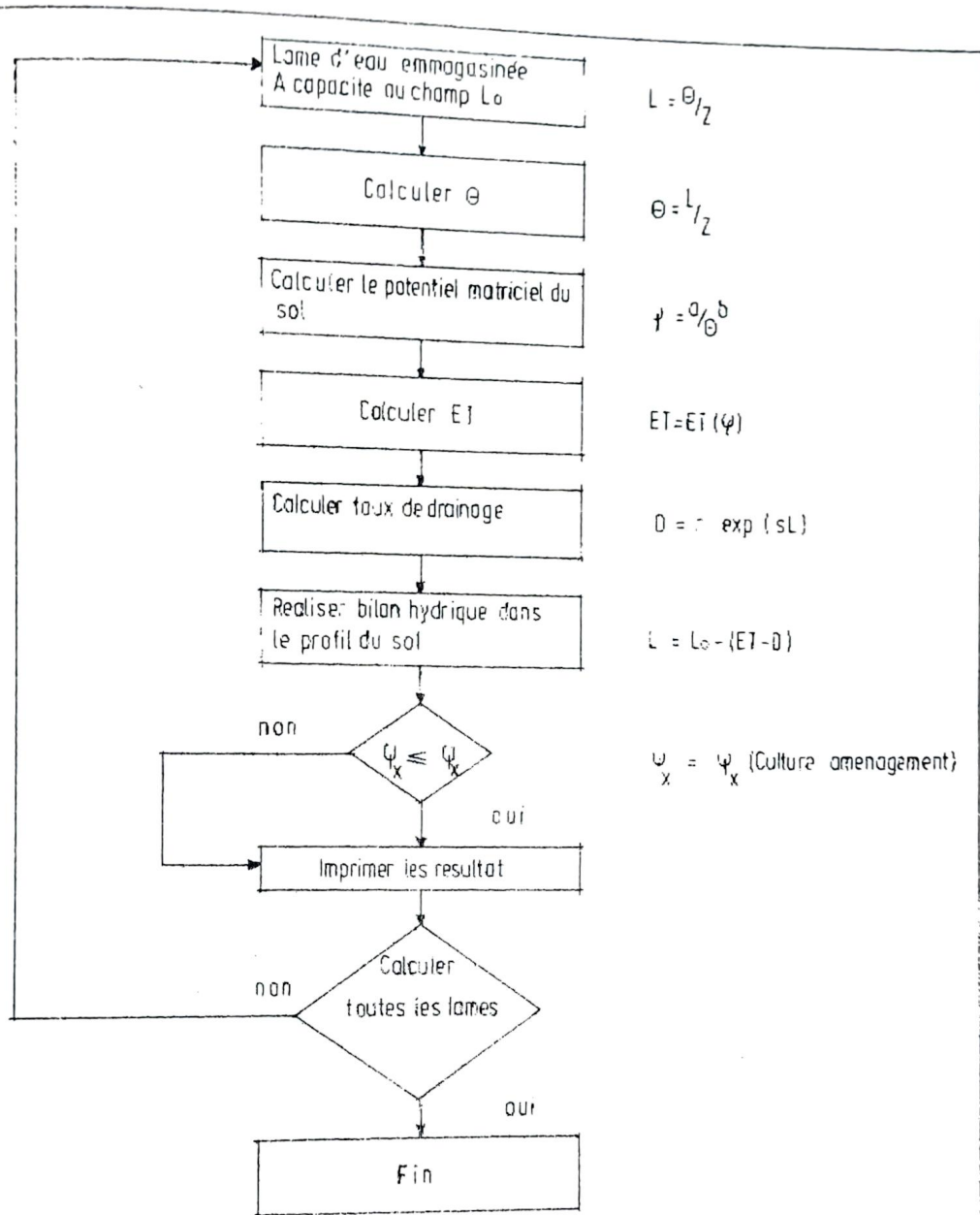


Fig.I-28 Organigramme du modèle MOFO pour déterminer la fréquence d'opération d'irrigation pour obtenir la productivité maximale (Mittar et Choudhury 1980)

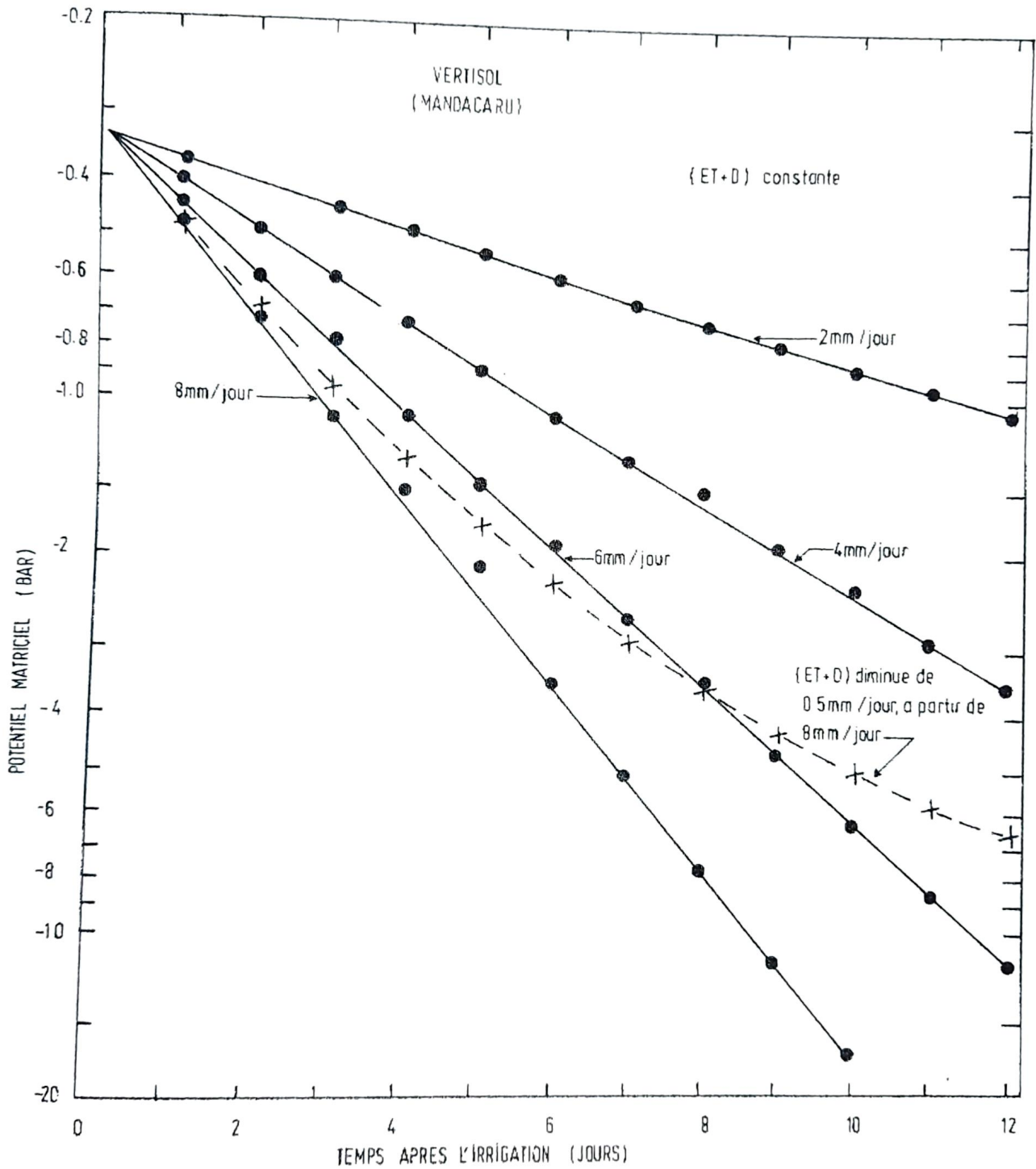
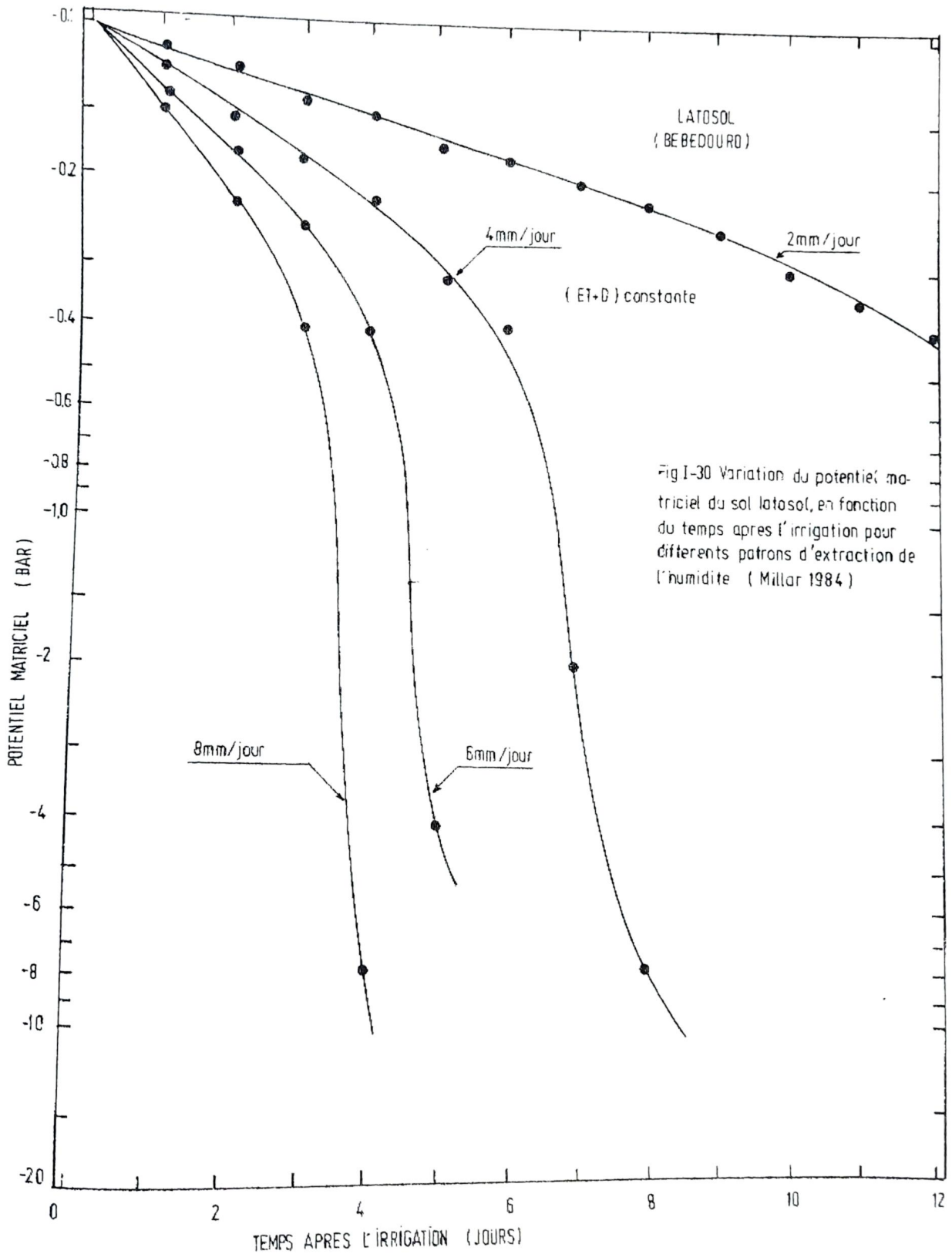


Fig. I-29 Variation du potentiel matriciel du sol vertisol en fonction du temps après l'irrigation pour différents patrons d'extraction d'humidité



De l'information fournie par le tableau I-3 obtenue à partir de la relation entre la productivité relative et le potentiel matriciel pour les différentes cultures, on a déterminé la fréquence d'irrigation nécessaire par ces types de sols afin d'obtenir un pourcentage donné de la productivité potentielle. On a considéré les cultures plus communes dans la zone auxquelles on a assigné un patron d'extraction d'eau (ET), convenable pour une région semi-aride lorsque la culture couvre totalement la surface du sol, dans la mesure du possible on doit utiliser les données d'évapotranspiration obtenues directement dans de lysimètres ou parcelles expérimentales, dans le cas de l'exemple on a utilisé les données des zones de climat similaire, principalement Arizona (Eric, French et Harris, 1968)

L'aménagement de l'irrigation pour la luzerne, Mais, Tomate, Oignon, Coton et Melon dans le Vertisol est présenté dans la figure I-31. On observe que pour obtenir le même niveau de production de ces cultures par exemple 90%, le classement de la fréquence d'irrigation serait le suivant:

Luzerne > Mais > Oignon > Tomate > Coton > Melon

La relation ci-dessus montre que les dernières cultures sont plus résistantes au déficit d'humidité et supportent une période plus longue entre deux irrigations. Comme il a été dit, cette analyse considère un profil de 0,40 m de profondeur où on suppose se concentrer la plupart des racines. Dans le cas où la concentration des racines extrait de l'eau d'une profondeur plus grande les résultats changeront surtout en ce qui concerne la fréquence de l'irrigation.

Dans la figure I-32, on montre la relation entre le niveau de productivité et la fréquence d'irrigation dans le sol Latosol pour différentes cultures de la zone. Dans ce type de sol est extrêmement critique l'opportunité d'application de l'irrigation, spécialement pour les cultures sensibles au déficit d'humidité telles que le Mais et la

NIVEAU DE PRODUCTIVITE (%)

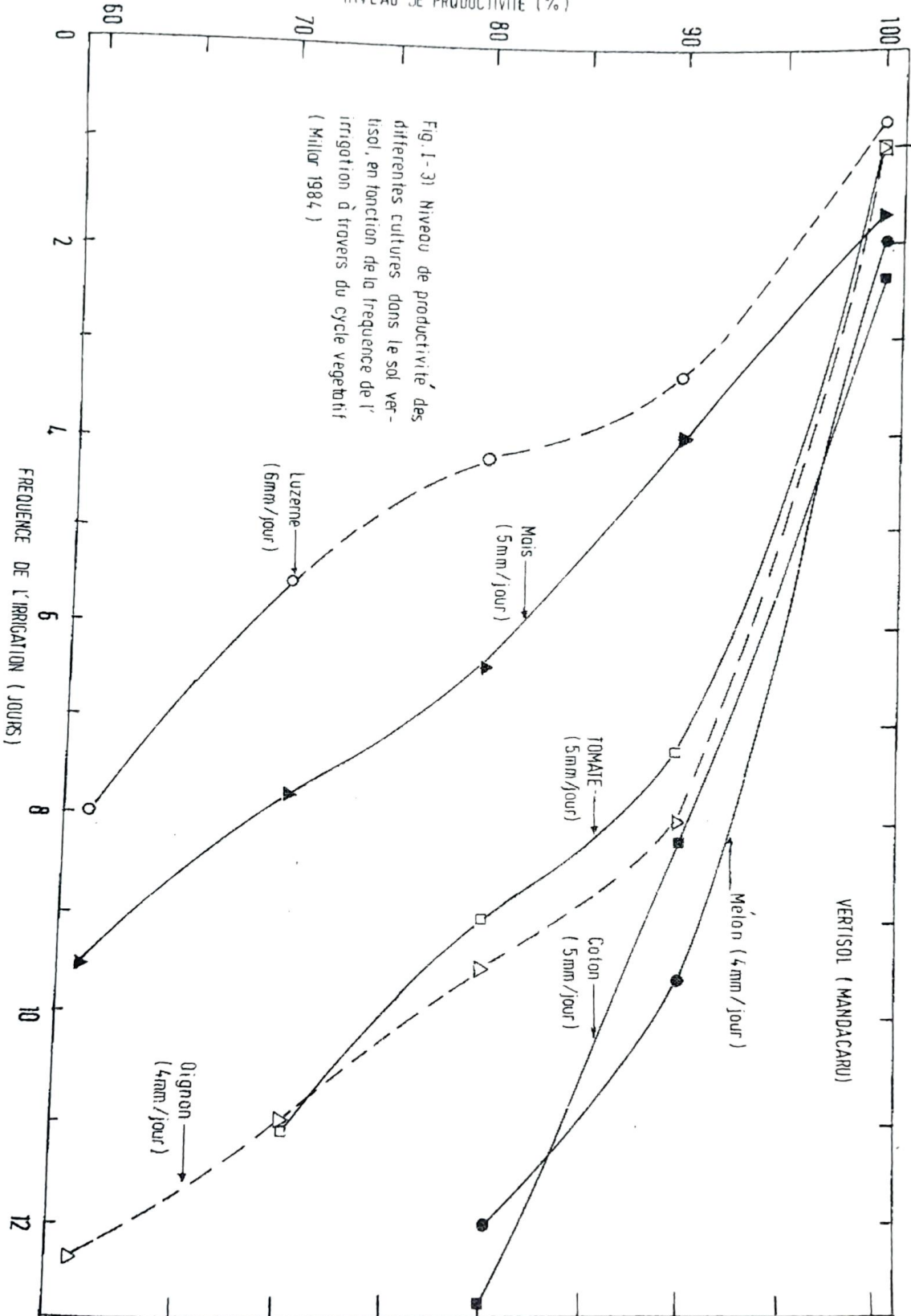
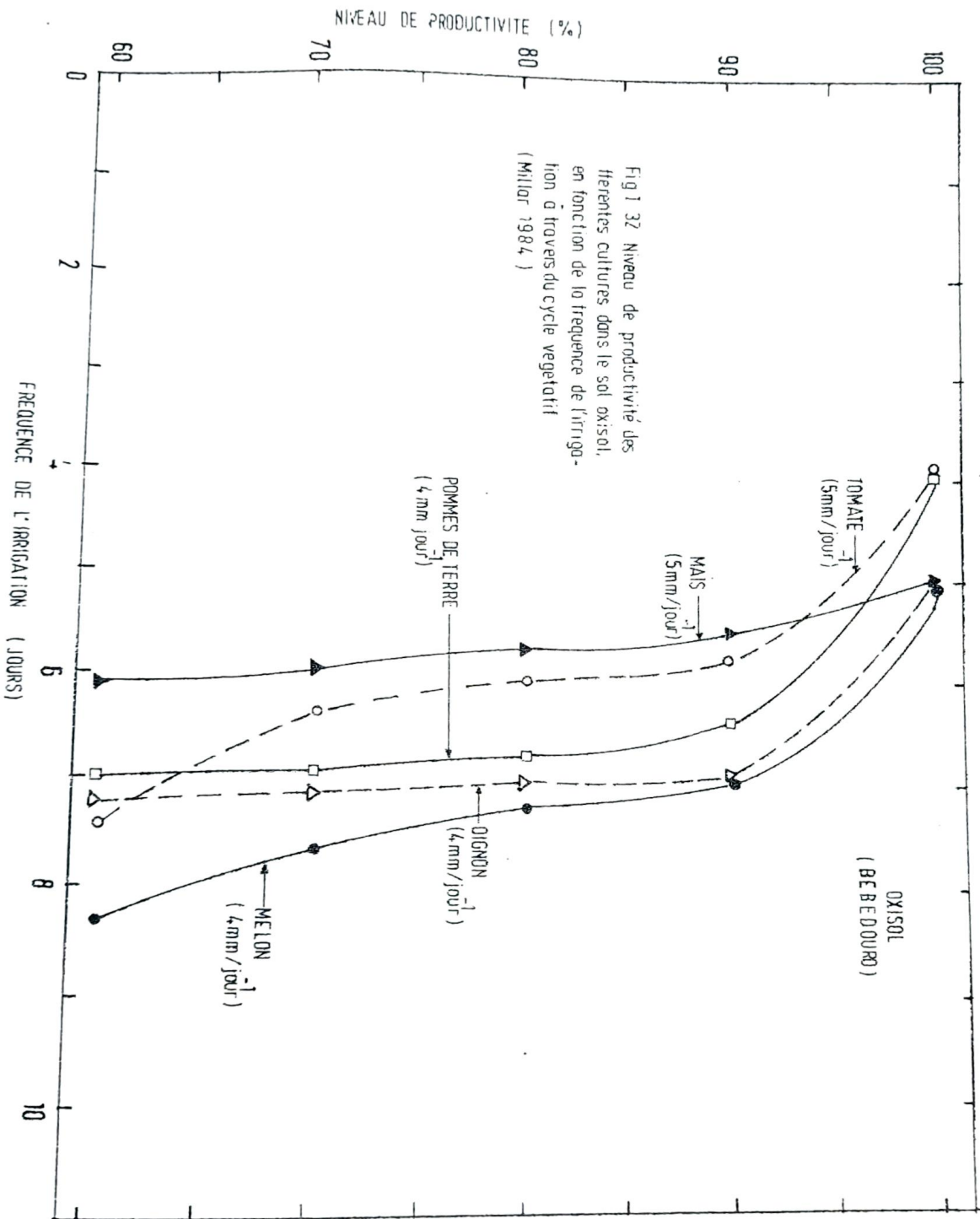


Fig. 1-3) Niveau de productivité des différentes cultures dans le sol vertisol, en fonction de la fréquence de l'irrigation à travers du cycle végétatif (Miller 1984)

VERTISOL (MANDACARU)





Pomme de terre. Dans le cas du maïs, le fait de retarder un jour dans l'application de l'irrigation peut diminuer en 30% la productivité. Le résultat n'est pas différent pour les cultures maraichères.

Le changement dans la productivité dû aux faibles manifestations dans la fréquence de l'application de l'eau se doit principalement à la forme de la courbe de rétention d'humidité du Latosol, ceci est aussi montré dans le bilan hydrique de la figure I-30

Le résultat ci-dessus ne se présente pas dans le cas du Vertisol (fig. I-31) où à cause de la forme de la courbe de rétention de l'humidité moins prononcée. La variation dans l'intervalle entre deux applications de l'irrigation n'affecte pas fortement la productivité.

A partir de cette information on conclut que pour obtenir des productivités proches du niveau potentiel, une forte fréquence d'irrigation est nécessaire, ce qui est difficile d'aménager avec la méthodologie traditionnelle de l'application de l'eau aux cultures. D'après l'affirmation précédente, on déduit que la productivité potentielle peut être obtenue avec l'irrigation goutte à goutte.

En tout cas, l'information que l'on a présenté apporte un élément de décision parce qu'elle permet au producteur ou opérateur d'un système d'irrigation de s'adapter au niveau de productivité en harmonie avec ses possibilités représentées principalement par l'équipement et la disponibilité de main d'oeuvre entraînée. Cela signifie que l'on dispose d'un élément de décision pour adopter la productivité à l'efficacité de l'aménagement de l'irrigation.

## V BIBLIOGRAPHIE

- ACHARIA R.C., M.N. ALAM, A.B.B. SINHA and K.L. KHANNA. 1960. Studies on crop-weather relationships. II. The influence of weekly rainfall on sugarcane yields at the Government Experimental Farm, Pusa Bihar. *Indian Journal of Sugarcane Research* 4: 187-191.
- ANONIMO. 1954. How much and when to irrigate. *Farm Management*, p. 32-34.
- ARAÚJO, ANTONIO ROBERTO de e A. JOSE SIMÕES. 1971. Efeito da irrigação na produção de melão. Petrolina, PE., Departamento de Recursos Naturais, Divisão de Estudos Integrados. (Relatório Técnico Estação Experimental de Mandacaru).
- ASPINALL, D., P.B. NICHOLLS and L.H. MAY. 1964. The effects of soil moisture stress on the growth of barley. I. Vegetative development and grain yield. *Australian Journal of Agricultural Research* 15:729-745.
- BAHRANI, B. and S.A. TAYLOR. 1961. Influence of soil moisture potential and evaporative demand on the actual evapotranspiration from an alfalfa field. *Agronomy Journal* 53:233-237.
- BENNETT, O.L. and B.D. DOSS. 1963. Effects of soil moisture regime on yield and evapotranspiration from cool-season perennial forage species. *Agronomy Journal* 55 (3): 275-278.
- BENNETT, O.L., B.D. DOSS, D.A. ASHLEY, V.J. KILMER and B. C. RICHARDSON. 1964. Effects of soil moisture regime on yield, nutrient content, and evapotranspiration for three annual forage species. *Agronomy Journal* 56 (2): 195-198.
- BIERHUIZEN, J.F. and N.M. des VOS. 1959. The effect of soil moisture on the growth and yield of vegetable crops. Report, Conference on Supplemental Irrigation, Commission VI (Copenhagen). *Int. Soc. Soil Sci. Tech. Bull.* 2:83-92.
- BLASSER, R.E., W.H. SKRDLA and T.H. TAYLOR. 1952. Ecological and physiological factors in compounding forage seed mixtures. *Advances in Agronomy* 4:179-219.
- BOX, J.E., W.H. SLETTEN, J.H. KYLE and A. POPE. 1963. Effect of soil moisture, temperature, and fertility on yield and quality of irrigated potatoes in the Southern Plains. *Agronomy Journal* 55 (5):492-494.
- CHOUDHURY, E.N. e A.A. MILLAR, 1978. Efeito do deficit fenológico de água sobre a produção e características industriais do tomate. *Anais do Congresso Brasileiro de Irrigação e Drenagem, IV, 1978.* 20 p.

- CHOUHDURY, E.N., A.A. MILLAR e M.A. DA SILVA. 1980. Comparacao entre tres sistemas de manejo da irrigacao em áreas semi-comerciais de tomate. Anais do Congresso Brasileiro de Irrigacao e Drenagem, V, 1980, 20 p.
- CLAASSEN, M.M. and R.H. SHAN. 1970. Water deficits effects on corn. II. Yield Components. *Agronomy Journal* 62 (5): 625-655.
- CLAYPOOL, L.L. and O.M. MORRIS. 1972. Some effects of irrigation on Yield and quality of potatoes produced in the Yakima Valley. *Proceedings of the American Society of Horticultural Sciences* 28:249-252.
- DENMEAD, O.T. and R.H. SARW. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn. *Agronomy Journal* 52:272-273.
- DODRENSOS, J. and W.O. FRUITT. 1975. Crop water requirements. Rome, Food and Agricultural Organization of the Unites Nations. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper 24).
- DREW, D.H. 1966. Irrigation studies on summer cabbage. *Journal of Horticultural Science* 41:103-114.
- ERIE, L.J., O.F. FRENCH and K. HARRIS. 1968. Consumptive use of water by crops in Arizona. Agriculture Experiment Station, The University of Arizona. 44 p. (Technical Bulletin 169).
- FERREIRA da COSTA FILHO, J., F. de SOUZA, D.C. KIDMAN e H.O. CARVALLO. 1975. Efeito de níveis de umidade na produção de cebola. Petrolina, PE, EMBRAPA, Centro de Pesquisas do Trópico Semi-Arido (CTSA). (Apresentado no III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem, Fortaleza).
- FISHER, R. A. and R.M. HAGAN. 1965. Plant water relations, irrigation management and crop yield. *Experimental Agriculture* 1:161-177.
- FURTADO, JOSE e SALIM SIMAO. 1973. Influencia da umidade do solo na produção do tomatario. *Boletim Técnico (DNOCS)* 31 (2):159-193.
- GARD, L.E., G.E. MCKIBBEN and B.A. JONES. 1961. Moisture loss and corn yields on a silt-pan soil as affected by three levels of water supply. *Soil Science Society American Proceedings* 25:184.
- GRASSI, C.J., D.L. MIHAJLOVICH y L. NIJENSOHN. 1967. Resouesta del tomate (CV. Roma) a diferentes regimenes de riego. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA. Serie 2. Biología y Producción Vegetal* (15): 269-291.
- GILL, H.S. 1962. The influence of soil drought on the growth, yield and quality of cane varieties in relation to their drought endurance. *Indian Journal of Agronomy* 7: 148-159.
- HADDOCK, J.L., S.A. TAYLOR and C.H. MILLIGAN. 1972. Irrigation, fertilization, and soil management of crops in rotation. *Utah Agr. Exp. Sta. Bull.*

- HAISE, H.R. and R.M. HAGAN. 1967. Soil, Plant, and evaporative measurements as criteria for scheduling irrigation. pp. 577-604. In: R.M. Hagan et al. (ed), Irrigation of Agricultural Lands. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. (Agronomy Series No. 11).
- HAGAN, R.M., M.L. PETERSON, R.P. UPCHURCH and L.G. JONES. 1957. Relationships of soil moisture stress to different aspects of growth in leslie clover. Soil Science Society of America Proceedings 21:360-365.
- HANNAY, J.J. 1966. How a corn plant develops. Iowa State University. Special Report No. 48. Iowa State University of Sciences and Technology. Coop. Ext. Serv., Ames, Iowa.
- HAUTHORNE, L.R. 1951. Studies of soil moisture and spacing for seed crops of carrots and onions. U.S. Dept. Agr. Circ. 892. p. 26.
- HENDRICK, P.A. 1964. Physiology of plants under drought. Annual Review of Plant Physiology 15:357-386.
- HILDRETH, A.C., J.R. MAGNESS and J.W. MITCHELL. 1941. Effects of climatic factors on growing plants. In climate and man. USDA Yearbook.
- HOWE, G.W. and H.F. RHOADES. 1965. Irrigation practice for corn production in relation to stage of plant development. Soil Science Society of America Proceedings 19:94-98.
- HUGUET, C. 1961. Essais d'évaluation des besoins en eau de cultures maraichères sous climat méditerranéen. Ann. Agron. (Paris) 12:99-107.
- HUTCHEON, W.L. and D.A. RENNIE. 1960. The relationship of soil moisture stress and nutrient availability to the growth characteristics and quality of wheat. Madison, Wisconsin, 7th International Congress Soil Science IV:488-494.
- JACKSON, E.B. and P.A. TILT. 1960. Effects of irrigation intensity and nitrogen level on the performance of eight varieties of Upland Cotton, *Gossypium hirsutum* L. Agronomy Journal 60 (1): 13-17.
- JANES, B.E., and W.O. DRINKWATER. 1959. Irrigation studies vegetables in Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 338.
- JENSEN, R.E., A.A. MILLAR and A. BAUER. 1967. The effect of water deficits at different stages of growth on the barley yield. Fargo, North Dakota, Soil Department, North Dakota State University. (Unpublished data).
- JONES, S.T. and W.A. JOHNSON. 1958. Effect of irrigation at different minimum levels of soil moisture and of imposed droughts on yield of onions and potatoes. Proceedings American Society of Horticultural Sciences 71:440-445.

- JONES, J.N., Jr., J.E. MOODY and J.H. LILLARD. 1957. Corn and burley tobacco plot studies. Research Report, 1953-1957. Virginia Agricultural Experiment Station. pp 52-53.
- JONES, J.N., G.N. SPADEN and J.D. MILES. 1960. Principles of tobacco irrigation. U.S. Department of Agricultural Informative Bulletin 228. p. 16.
- MASIMATIS, A.M. 1967. Grapes and berries. Part I. Grapes. In: Irrigation of Agricultural Lands. R.M. Hagan, M.R. Paise and T.W. Edminster (Eds.) Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. pp. 179-207.
- KATTEN, A.A., and J.W. FLEMING. 1956. Effect of irrigation at specific stages of development on yield, quality, growth, and composition of snapbeans. Proceedings, American Society for Horticultural Science 68:329-342.
- LEEFER, R.A., E.C.A. RINGS, and W.M. WALKER. 1974. Effect of plant-available stored soil moisture on corn yields. I. Constant Climatic Condition. Agronomy Journal 66 (6): 723-727.
- LEHANE, J.J. and W.J. STAPLE. 1962. Effects of soil moisture tensions on growth of wheat. Canadian Journal of Soil Science 42: 180-182.
- LIS, B.R. de, I. FONCE and R.M. TIZIO. 1964. Studies on water requirements of horticultural crops. I Influence of drought at different growth stages of potato on tuber's yield. Agronomy Journal 56(4):377-381.
- LIS, B.R. de, I. FONCE, J.B. DAVAGNARD and R.M. TIZIO. 1967. Studies of water requirements of horticultural crops: II. Influence of drought at different growth stages of onion. Agronomy Journal 59 (6): 573-576.
- LOW, A.J. and E.R. ARMITAGE. 1959. Irrigation of grassland. Outlook on Agriculture 2:213-218.
- MACK, H.J., L.L. BOERSMA, J.W. WOLFE, W.A. SISTRUNK, and D.D. EVANS. 1966. Effects of soil moisture and nitrogen fertilizer on Pole beans. Corvallis. Oregon State University, Agricultural Experiment Station. 28 p. (Technical Bulletin 97).
- MacSILLIVRAY, J.H. 1948. Effect of irrigation on the yield of onion seed. Proceedings American Society of Horticultural Sciences 51: 423-427.
- MAGALHAES, A.A. de e A.A. MILLAR. 1978. Efeito do deficit de agua no periodo reproductivo sobre a producao do feijao. Pesquisa Agropecuaria Brasileira 13 (2):55-60.
- MAGALHAES, A.A. de, A.A. MILLAR e E.N. CHOUDHURY 1978. Efeito do deficit fenologico de agua sobre a producao de feijao. Turrialta 29 (4): 269-273.

- MARANI, A., and M. HORWITZ. 1960. Growth and yield of cotton as affected by the time of a single irrigation. *Agronomy Journal* 55:219-222.
- MARANI, A. and A. ANIRAN. 1971. Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. I. The Coastal Plain Region. *Experimental Agriculture* 7: 213-224.
- MARANI, A. and A. ANIRAN. 1971. Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. III. The Bet-She'an Valley. *Experimental Agriculture* 7:209-201.
- MARSH, A. J. 1961. Tensic stress: Key to increased profits. *Western Grower and Shipper* 32:15-17-24.
- MIHAJLOVICH, D.L. E., M.J.C. ORIDLANI, L. NIJENSOHN y H.GALMARINI. 1976. Respuesta del tomate cv. Roma en cultivo comercial a diferentes regimenes de riego. *Revista de Investigaciones Agropecuarias. Serie 2. Biología y producción Vegetal IV (15): 293-303.*
- MILLAR, A.A. 1976. Respuesta de los cultivos al déficit de agua como información básica para el manejo del riego. Brasilia, D.F., Brasil. CODEVASF/FAO/USAID/ABID. 1976. 62 p. (Conferencia presentada en el Seminario sobre Manejo de Agua, Brasilia, Mayo 3-5, 1976).
- MILLAR, A.A. e E.N. CHOLDHURY 1980. A model to define operational irrigation frequency for maximum yield of crops. *Turrialba* 30 (4): 391-398.
- MILLAR, A.A. 1984. Manejo racional da irrigação: Uso de informacoes básicas sobre diferentes culturas. Brasilia, D.F. Brasil, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 57 p. (Serie Publicaciones Miscelaneas No. 461).
- NELSON, W.E. 1962. The effects of soil moisture stress at critical stages of growth of some vegetable crops, Ph.D. Thesis, Rutgers State University, New Jersey.
- NIJENSOHN, L., D.L. MIHAJLOVICH, H. GALMARINI y C.J. GRASSI. 1966. Respuesta de la papa (cv. White Rose) a diferentes regimenes de riego. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA. Serie 2. Biología y Producción Vegetal* 3 (6): 67-108.
- NIJENSOHN, L., D.L. MIHAJLOVICH y C.J. GRASSI. 1967. Respuesta de la cebolla (cv "Valenciana") a diferentes regimenes de riego. *Revista de Investigaciones Agropecuarias, INTA. Serie 2. Biología y Producción Vegetal* 4(7): 87-116.
- PETERSON, R.F. 1965. *Wheat*. New York, Interscience Publishers.
- FEW, W.D. 1958. Effects of soil moisture on cantaloupe growth and production. *Western Grower and Shipper* 29:22-24.
- RAWITZ, E. and D.I. HILLEL. 1969. Comparasion of indexes relating plant response to soil moisture status. *Agronomy Journal* 61 (2):231-235.

- RHOADES, H.F., O.W. HOWE, J.A. BONDURANT and F.B. HAMILTON, 1954. Fertilization and irrigation practices for corn production on newly irrigated land in the Republican Valley. Nebraska Agricultural Experiment Station. (Bulletin 424).
- RICHARDS, S.J., J.E. WARMIELE, and T.F. PINGHAM, 1962. Avocado tree growth response to irrigation. California avocado Soc. Yearbook 46:83-87.
- ROBINS, J.S. and C.E. DOMINGO, 1955. Some effects of severe soil moisture at specific growth stages of corn. Agronomy Journal 45: 618-621.
- ROBINS, J.S. and C. E. DOMINGO, 1956. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. Agronomy Journal 48:67-70.
- ROBINS, J.S. and C.E. DOMINGO, 1962. Moisture and nitrogen effects of irrigated spring wheat. Agronomy Journal 54:133.
- ROBINSON, F.E. 1963. Soil moisture tension, sugarcane stalk elongation and irrigation interval control. Agronomy Journal 55: 481-484.
- RUNSE, E.C.A., and R.T. ODELL, 1958. The relation between precipitation, temperature, and the yield of corn on the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois. Agronomy Journal 52: 245-47.
- SALE, P.J. M. 1966. The response of summer lettuce to irrigation at different stages of growth. Journal of Horticultural Science 41:43-52.
- SALTER, P.J. 1961. The irrigation of early summer cauliflower in relation to stage of growth, plant spacing, and nitrogen level. Journal of Horticultural Science 36: 241-253.
- SALTER, P.J. 1962. Some responses of peas to irrigation at different growth stages. Journal of Horticultural Science 37: 141-49.
- SALTER, P.J. 1954. The effect of different water-regimes of the growth of plants under glass. experiments with tomatoes (*LYCOPERSICON ESCULENTUM* Mill). Journal of Horticultural Science 24 (4): 258-262.
- SALTER, P.J. 1963. The effect of wet or dry soil conditions at different growth on the components of yield of a pea crop. Journal of Horticultural Science 38: 321-334.
- SALTER, P.J. and J.E. GOODE. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. Bucks, England, Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal.
- SCHMUELI, E. 1953. Irrigation studies in the Jordan Valley: II. Physiological activity of banana in relation to soil moisture. Bulletin Research Council of Israel 3: 228-247.
- SHIMSHI, D. and A. MARAMI. 1971. Effects of soil moisture stress on two varieties of upland cotton in Israel. II. The Northern Negev Region. Experimental Agriculture 7:225-239.



- SIMÕES, A. JOSE e OUTROS. 1973. Comportamento do trigo nos grumossolos de Baixo Médio São Francisco, Petrolina, PE., GEIDA/SUDENE, IICA/CIDIAT. 28 p (mimeografado).
- SINGH, R. and R.B. ALDEPPER. 1966. Effects of soil moisture stress at different periods of growth of some vegetable crop. *Soil Science* 101:69-80.
- SOMMERFERLD, T.G. 1960. Effect of irrigation, plant population, and row-spacing on corn yield. *North Dakota Farm Research* 21(5): 16.
- SPIELGEL, F. 1955. The water requirement of the olive tree, critical periods of moisture stress, and the effect of irrigation upon the oil content of its fruit. In Report 2, Fourteenth International Horticultural Congress. Scheveningen, The Netherlands.
- STEWART, J.I., R.D. MISSA, W.D. FRUITT, and R.M. HAGAN. 1974. Irrigation corn and grain sorghum with limited water. *American Society of Agricultural Engineers, Annual Meeting, June 23-26, 1974.* (Paper No. 74-2024).
- STOLZY, L.H., O.C. TAYLOR, M.J. GARBER, and P.B. LOMBARD. Previous treatments as factors in subsequent-irrigation level studies in orange production. *Amer. Hort. Soc.* 82:199-203.
- STRUCHTEMEYER, R.A. 1960. Efficiency of the use of water by potatoes. *American Potato Journal* 38:22-24.
- TAYLOR, S.A., and B. ROGNERUND. 1959. Water management for potato production. *Utah Farm and Home Science* 20: 82-84.
- TAYLOR, S.A., J.L. HADDOCK, and M.W. PEDERSEN. 1959. Alfalfa irrigation for maximum seed production. *Agronomy Journal* 51: 357-360.
- TAYLOR, S.A. 1965. Managing irrigation water on the farm. *Amer. Soc. Agr. Eng. Trans.* 8:433-436.
- URIU, K., 1964. Effect of post-harvest soil moisture depletion on subsequent yield of soricots. *Proceedings, American Society for Horticultural Science* 84: 93-97.
- VAACIA, Y. and A.N. KASIMATIS. 1961. Vineyard irrigation trials. *The American Journal of Enology and Viticulture* 12: 88-89.
- VAN DER PAAUW, F. 1949. Water relation of oats with special attentions to the influence of periods of drought. *Plant and Soil* 1:303-341.
- VISSAR, W.C. 1959. Crop growth and availability of moisture. *Institute of Land and Water Management Research (Wageningen). Technical Bulletin* 6.
- VITTUM, M.T., W.T. TAPLEY, and N.H. PECK. 1958. Response of tomato varieties to irrigation and fertility level. *New York Agricultural Experimental Station (Geneva) Bulletin* 782.

- VITTUM, M.T., R.B. ALDERFER, B.E. JAMES, C.W. REYNOLDS, and R.A. STRUCHTEMEYER. 1963. Crop response to irrigation in the Northeast. New York State Agricultural Experiment Station Bulletin 800.
- VOUGH, L.R. and G.C. MARTEN. 1971. Influence of soil moisture and ambient temperature on yield and quality of alfalfa forage. *Agronomy Journal* 63(1): 40-42.
- WELLS, B.A., and S. DUBETZ. 1956. Reaction of barley varieties to soil water stress. *Canadian Journal of Plant Science* 112: 489-94.
- WIDAKAS, W. 1958. Early maturing corn more dependable. *North Dakota Farm Research* 20 (May-June issue).
- WINTER, E.J. 1960. The irrigation of potatoes. *Agriculture, London* 56:549-51.
- WRIGHT, J.R., J.C. LINGLE, W.J. FLOCKER and S.L. LEONARD. 1962. The effect of irrigation and nitrogen fertilization treatments on the yield maturation and quality of canning tomatoes. *American Society of Horticultural Sciences* 81: 451-457.

