

*PRODUCTION COMPARÉE DE QUELQUES ESPÈCES
FOURRAGÈRES EN CONDITION IRRIGUÉE OU NON*

*EFFICIENCE ET VALORISATION
DE L'EAU - COÛTS DE PRODUCTION*

INTRODUCTION

DES RÉFÉRENCES DE LONGUE DURÉE SUR LA PRODUCTIVITÉ ET LA QUALITÉ DE DIFFÉRENTES ESPÈCES FOURRAGÈRES SONT INDISPENSABLES A L'ÉTABLISSEMENT DE TOUT système fourrager. Celles-ci montrent, dans de nombreux cas, un déficit de production en été qui met en cause la sécurité du système. L'irrigation peut être un moyen efficace pour maintenir ou augmenter la production estivale, mais aussi un moyen coûteux qui doit s'appliquer à des espèces susceptibles de bien valoriser l'eau qu'elles consomment à cette période et pour une région considérée. La transposition des données d'une région à une autre ne peut être réalisée qu'à partir de la compréhension du comportement des espèces, notamment à l'égard de l'alimentation hydrique et compte tenu des conditions pédo-climatiques. C'est sous cet angle que nous nous sommes efforcés de traiter les résultats expérimentaux obtenus en conditions de plein champ sur le dispositif d'étude des systèmes de cultures irriguées ou non installé à Auzeville près de Toulouse, en 1968, par la Station d'Agronomie de l'I.N.R.A.

EXAMEN DES PRODUCTIONS

1) Espèces cultivées.

Les espèces fourragères présentes sur le dispositif sont :

- luzerne, variété Orchésienne ou Magali, implantée à l'automne, durée de culture quatre ans, retournement la quatrième année en juillet-août ;
- fétuque élevée, variété Ludion ou Manade, implantée à l'automne, durée de culture quatre ans, retournement la quatrième année en juillet-août ;
- ray-grass d'Italie, variété Rina ou Tiara, implanté à l'automne, durée douze à dix-huit mois ;
- maïs, variété INRA 400 ou 260 ;
- sorghos fourragers, sudan grass Piper, hybride Grazer.

2) Caractéristiques climatiques régionales.

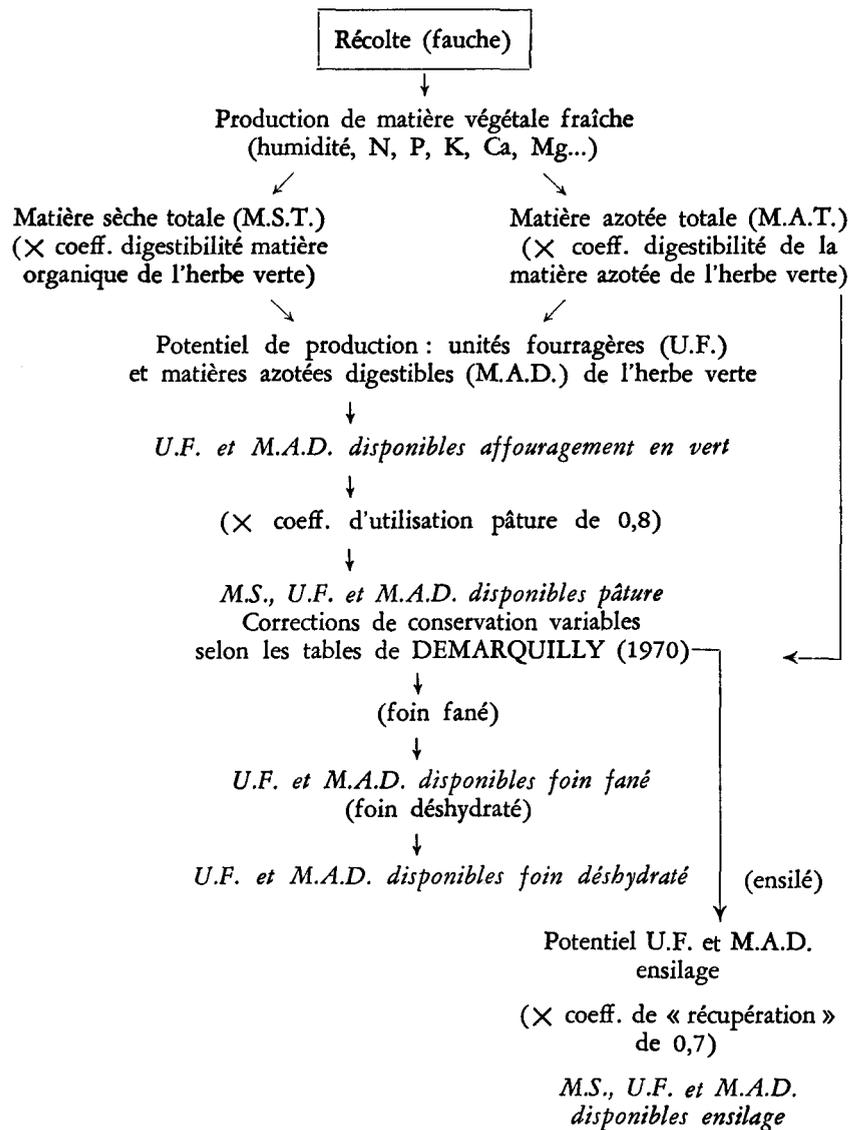
TABLEAU I
CARACTÉRISTIQUES CLIMATIQUES DE 1969 A 1975

(en mm)	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
ETP - Fétuque Manade	1 002	964	943	922	994	921	921	1.058
Pluie annuelle	735	655	806	849	622	939	690	623
Déficit annuel	267	309	35	73	372	Excéd. 18	231	435
Pluie de mai à octobre	314	365	428	399	267	564	375	321
Déficit de mai à octobre	482	365	280	270	495	134	347	510
ETP - Fétuque Manade :								
Avril	75	76	90	73	82	70	60	81
Mai	119	97	105	99	132	120	124	124
Juin	148	144	150	117	142	148	122	186
Juillet	189	180	152	155	143	159	177	198
Août	182	150	135	143	141	134	144	158
Septembre	97	112	99	82	123	80	90	101
Octobre	61	48	68	72	64	59	68	64
Total	871	807	799	741	827	770	785	912

3) Méthode d'obtention des résultats.

Les graminées sont récoltées au stade feuillu début montaison, la luzerne en début floraison, les maïs-fourragers à 30 % de matière sèche, les sorghos fourragers aux stades pâture ou épiaison pour destination ensilage.

On mesure les productions potentielles et on peut calculer les rendements susceptibles d'être utilisés selon différents modes d'exploitation grâce à la démarche et aux coefficients suivants :



Des mesures d'humidité du sol par la méthode neutronique, effectuées à intervalles rapprochés et sur les différentes cultures fourragères irriguées ou non, ont permis d'établir les bilans hydriques annuels ou pluriannuels, ainsi que les consommations en eau par périodes successives (MAERTENS C., MARTY J.-R., 1971).

4) Production moyenne globale annuelle.

Les moyennes ont été calculées :

- pour les luzernes et les fétuques à partir de cycles de production de trois ans (1969, 1970, 1971 - 1970, 1971, 1972 - 1971, 1972, 1973...);
- pour le ray-grass sur une année de production, non comprise la coupe d'automne après semis.

La variabilité de production a été exprimée par le coefficient de variation calculé sur l'ensemble des résultats obtenus entre 1969 et 1976 inclus.

TABLEAU II

DISPONIBILITÉ MOYENNE EN MATIÈRE SÈCHE TOTALE ANNUELLE (en q/ha)

Cultures	Mode d'utilisation de l'herbe				Coefficient de variation (en % de \bar{x}) (foin fané)	Excédent irrigation (%)	
	Traitements	Pâture	Foin fané (fauche)	Ensilage		Pat.	Ens.
Fétuque	Sec	78	98	69	± 37	+ 27	
	Irrigué	99	124	88	± 33		
Luzerne	Sec	74	93	— 65	± 33	+ 16	
	Irrigué	86	108	— 76	± 24		
Ray-gr. d'Italie	Sec	70	88	62	± 24	+ 24	
	Irrigué	87	109	77	± 20		
Sorgho Piper.	Sec	83 (1)	—	88 (2)	± 20 (1) ± 16 (2)	Pat.	Ens.
	Irrigué	98	—	98	± 20 (1) ± 26 (2)	+ 18	+ 11
Sorgho Grazer	Sec	82	—	90	± 25 (1) ± 14 (2)	+ 32	+ 13
	Irrigué	108	—	102 (2)	± 19 (1) ± 10 (2)		
Maïs	Sec	—	—	74	± 30	+ 57	
	Irrigué	—	—	116 (3)	± 10		

TABLEAU III

DISPONIBILITÉ MOYENNE (en U.F./ba)

Cultures					Coefficient de variation (en % de \bar{x}) (foin fané)	Excédent irrigation (%)	
	Traitements	Pâture	Foin fané (fauche)	Ensilage		Pat.	Ens.
Fétuque	Sec	5.310	5.740	4.300	± 24	+ 25	
	Irrigué	6.610	7.180	5.400	± 9		
Luzerne	Sec	4.720	4.050	—	± 15	+ 25	
	Irrigué	5.680	5.050	—	± 10		
Ray-gr. d'Italie	Sec	5.070	5.400	4.070	± 23	+ 25	
	Irrigué	6.330	6.750	5.070	± 19		
Sorgho Piper.	Sec	5.490 (1)	—	5.670 (2)	± 21 (1) ± 18 (2)	Pat.	Ens.
	Irrigué	6.600	—	6.280	± 20 (1) ± 26 (2)	+ 24	+ 11
Sorgho Grazer	Sec	5.500 (1)	—	5.510 (2)	± 18 (1) ± 24 (2)	+ 22	+ 13
	Irrigué	6.700	—	6.240	± 14 (1) ± 20 (2)		+ 44
Maïs	Sec	—	—	5.000	—		
	Irrigué	—	—	7.200	—		

(1) [Matière sèche, U.F., M.A.] × 0,8 stade pâture : 40/50 cm pour Piper, 70/80 cm pour Grazer et variabilités correspondantes.

(2) [Matière sèche, U.F., M.A.] × 0,7 stade épiaison et variabilités correspondantes.

(3) [Matière sèche totale, U.F., M.A.] × 0,7.

TABLEAU IV

DISPONIBILITÉS MOYENNES EN MATIÈRES AZOTÉES TOTALES (M.A.T.)
ET EN MATIÈRES AZOTÉES DIGESTIBLES (M.A.D.) A L'HECTARE

Cultures	Traitements	Mode d'utilisation de l'herbe						Coefficient de variabilité (en % de x)	Excédent irrigation M.A.T. (%)
		Pâturage		Foin fané (fauche)		Ensilage			
		M.A.T.	M.A.D.	M.A.T.	M.A.D.	M.A.T.	M.A.D.		
Fétuque	Sec	1.130	790	1.395	810	1.020	700	± 24	+ 14
	Irrigué	1.290	995	1.590	1.010	1.160	880	± 17	
Luzerne	Sec	1.390	1.110	1.710	1.010	—	—	± 19	+ 18
	Irrigué	1.650	1.320	2.010	1.170	—	—	± 16	
Ray-grass d'Italie	Sec	1.010	680	1.250	720	—	610	± 25	+ 22
	Irrigué	1.270	860	1.520	900	—	760	± 27	
Sorgho Piper	Sec	1.140	880	—	—	1.000	720	± 16	+ 53 + 31
	Irrigué	1.740 (1)	1.310	—	—	1.310 (2)	920	± 25 (1) ± 27 (2)	
Sorgho Grazer	Sec	1.340	970	—	—	1.000	680	± 22	+ 49 + 15
	Irrigué	2.000 (1)	1.440	—	—	1.150 (2)	780	± 21 ± 40	
Maïs	Sec	—	—	—	—	630	460	—	+ 24
	Irrigué	—	—	—	—	780 (3)	560	—	

(1) Stade pâturage.

(2) Stade épiaison.

(3) M.A. × 0,7.

Les productions moyennes annuelles de ces espèces diffèrent peu et, parmi les ensilages, c'est le maïs irrigué qui permet la meilleure production de matière sèche et d'U.F.

Il faut surtout noter l'importante variabilité de production de ces cultures due à différentes causes : âge de la prairie, année climatique, irrigation.

En ce qui concerne l'âge des prairies, le graphique 1 donne l'évolution moyenne des rendements annuels, en condition irriguée ou non, au cours d'années successives de différents cycles de production de prairies de fétuque et de luzerne. Quoique la quatrième année soit incomplète par retournement de la prairie en juillet, on observe une diminution de la production avec le vieillissement de la prairie, notamment pour la luzerne irriguée ; nous verrons plus loin quelques-unes des causes de cette diminution de la production.

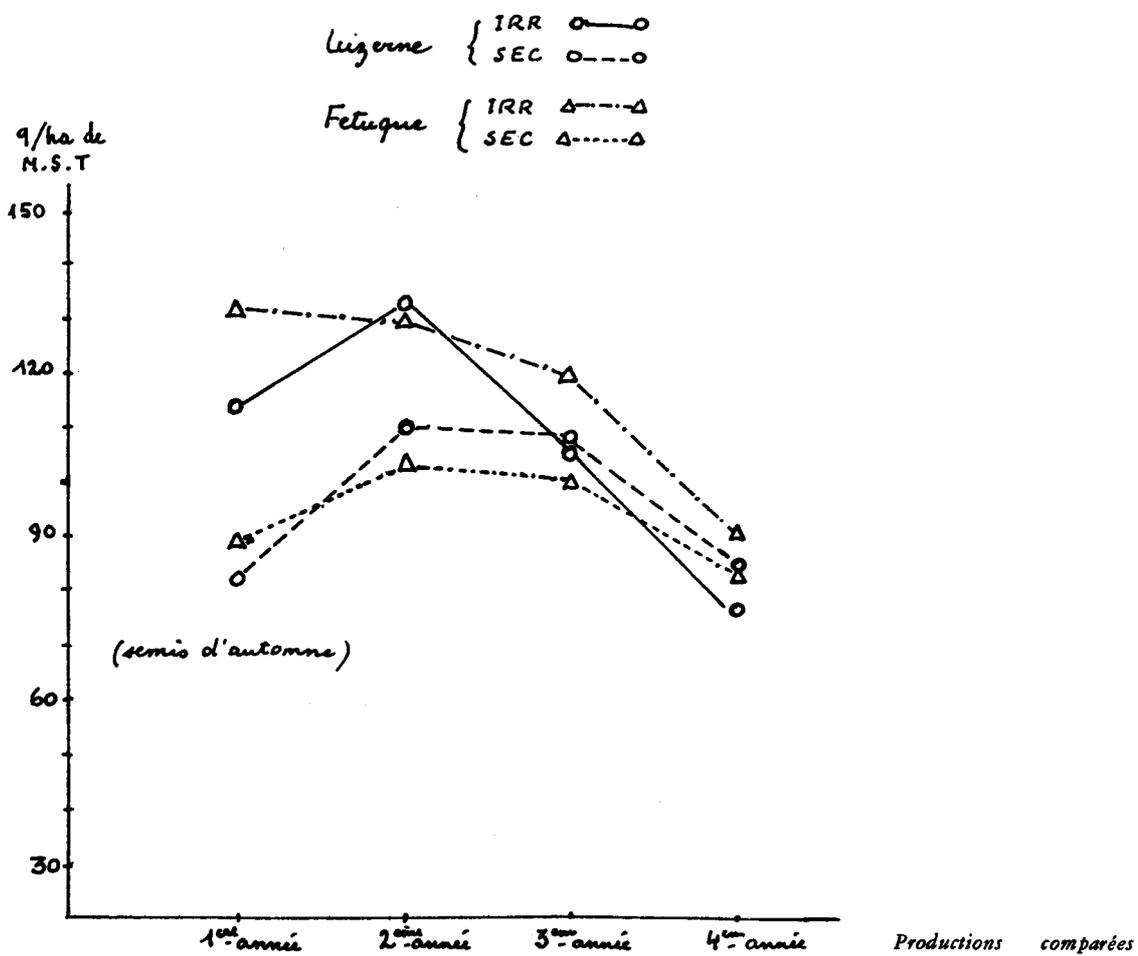
5) Production en cours d'année en condition irriguée ou non.

Selon les espèces, la production annuelle de matière sèche varie peu, mais elle est étalée sur des périodes très différentes. Le graphique 2 illustre cet aspect à partir de quatre exemples : luzerne et fétuque en deuxième année, ray-grass semis d'automne et sorgho fourrager Piper.

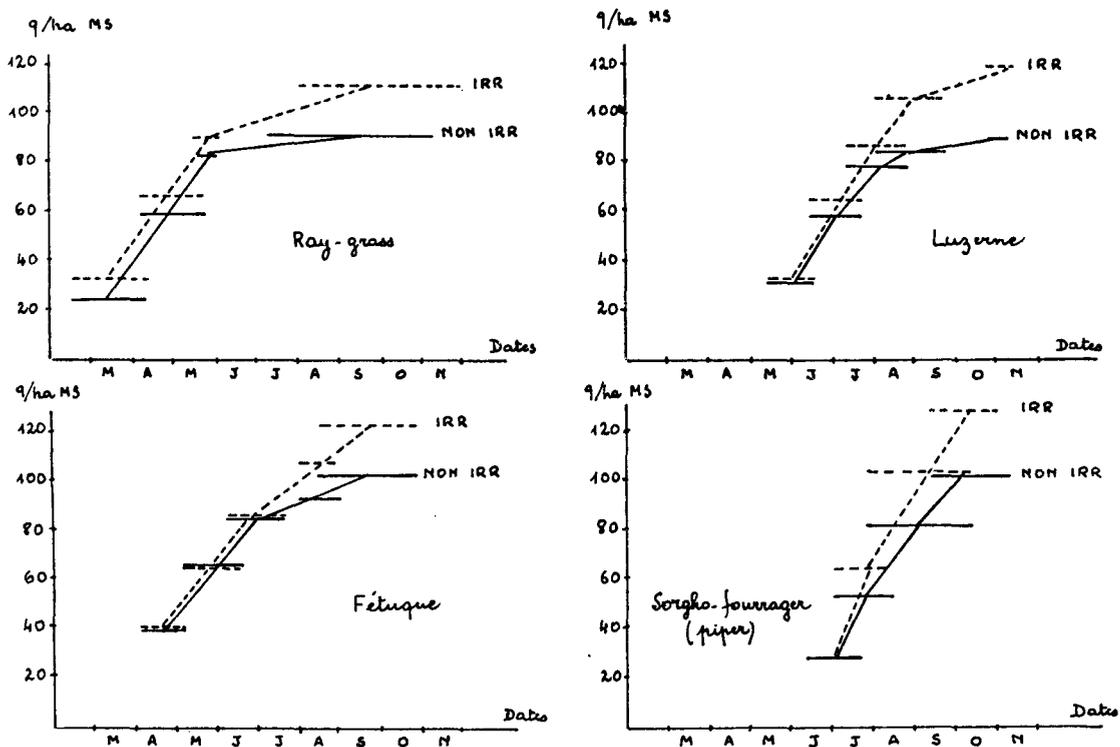
On remarque la précocité du ray-grass et l'aptitude du sorgho fourrager à croître rapidement en été, alors que la production de prairies traditionnelles diminue fortement à cette époque (inflexion des courbes). La luzerne et

Productions comparées à l'irrigation ou non

GRAPHIQUE 1
 PRODUCTION MOYENNE DE M.S.T.
 AU COURS D'UN CYCLE DE QUATRE ANS
 (avec ou sans irrigation)



GRAPHIQUE 2
COURBES CUMULATIVES DE PRODUCTION AU COURS DE L'ANNÉE
ET ÉCARTS MAXIMUMS DES CALENDRIERS DE PRODUCTION
SUR HUIT ANS



la fétuque présentent les calendriers fourragers les plus réguliers. Pour ces prairies, la production printanière représente une part importante de la matière sèche produite annuellement.

Par ailleurs, LEMAIRE (S.E.I. Rennes) signale des productions de ray-grass de semis d'automne de l'ordre de 12 t/ha/an en l'absence d'irrigation, dont 75 % sont fournis par les coupes de printemps. Par contre, en semis à l'irrigation ou non 97

de printemps et en présence d'irrigation, le ray-grass fournit 14 à 15 t/ha/an, à peu près régulièrement réparties au printemps, en été et en automne.

Ce dernier comportement est nettement différent de celui observé dans le Sud-Ouest, notamment pour le ray-grass où l'irrigation de cette prairie sous climat chaud en été ne permet que de faibles augmentations de production estivale.

RÉPONSE A L'EAU DE QUELQUES ESPÈCES FOURRAGÈRES

1) L'action du climat saisonnier.

ROBELIN a montré (1969) que la photosynthèse reste sous la dépendance des facteurs propres à chaque culture en condition d'alimentation en eau non limitante. D'autres auteurs ont signalé la diminution de vitesse de croissance estivale de graminées fourragères (GILLET et JACQUARD, 1969) et les limitations d'ordre climatique que la production peut subir.

En s'appuyant sur la référence ETP (évapotranspiration potentielle), qui rend mieux compte de l'énergie reçue que la température seule, nous avons montré (MARTY et PUECH, 1971) que le maximum de photosynthèse d'une fétuque élevée, variété Manade, se situait vers des intensités à l'E.T.P. de l'ordre de 5 mm/jour. Des mesures récentes ont confirmé que ce seuil était un peu inférieur pour le ray-grass et légèrement plus élevé pour la luzerne (PUECH J., 1977) (1).

Au-dessus de cette valeur de l'E.T.P., la production de ces cultures décroît rapidement même si la totalité des besoins en eau sont satisfaits. Dans ces conditions d'ETP élevée, ces espèces valorisent mal l'eau qu'elles consomment. Par contre, en climat breton, avec des ETP voisines de 4 mm/jour en été, le ray-grass est bien adapté et la synthèse suit la transpiration.

2) Réponse globale à l'eau.

En utilisant des données moyennes annuelles à partir de plusieurs années climatiques et à partir de la relation de ROBELIN (1958), PUECH et MAERTENS (1974) ont montré qu'entre la matière sèche totale produite (M.S.T.) et le rapport de consommation en eau :

$$\frac{\text{évapotranspiration réelle (ETR)}}{\text{évapotranspiration maximale (ETM)}}$$

d'une espèce donnée, il existe des relations de la forme :

$$\text{M.S.T.} = a \frac{\text{ETR}}{\text{ETM}} \pm b$$

En utilisant le rapport de M.S. produite selon l'alimentation hydrique, on se rend indépendant de la valeur absolue de la production, soit :

$$\frac{\text{M.S. ETR}}{\text{M.S. ETM}} = a' \frac{\text{ETR}}{\text{ETM}} \pm b'$$

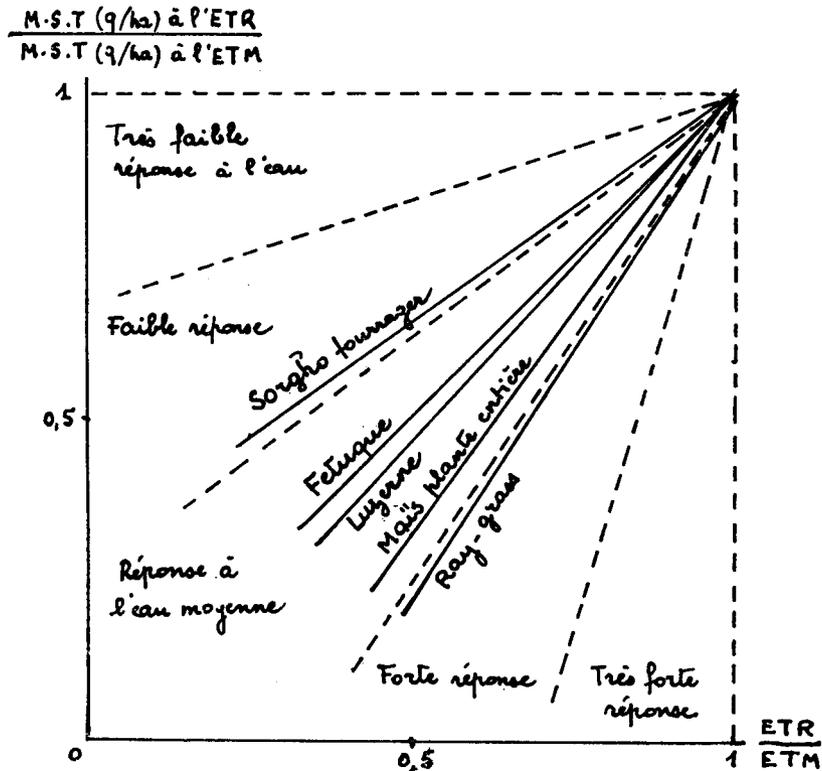
GRAPHIQUE 3

RÉPONSE A L'EAU DE QUELQUES CULTURES FOURRAGÈRES

M.S.T. = Matière sèche totale.

E.T.R. = Evapotranspiration réelle.

E.T.M. = Evapotranspiration maximale.



Le graphique 3 représente schématiquement cinq zones de réponse à l'eau avec la situation de quelques cultures fourragères.

Le sorgho fourrager, relativement résistant à la sécheresse (LENOBLE et PORCHERON, 1975) a la moins bonne réponse à l'eau, la meilleure étant obtenue avec le maïs et le ray-grass, moins résistants à la sécheresse. L'irrigation de ces cultures permet d'obtenir de hauts niveaux de production à condition qu'il n'y ait pas d'autres facteurs limitants tels que :

— fortes intensités climatiques : limitation de la production des ray-grass en 1976 ;

- contraintes hydriques sur une partie du cycle végétatif : période critique du maïs par exemple ;
- déficit héliothermique : chute de rendement de maïs et de sorghos en 1972.

3) Répercussions de l'irrigation sur la production.

L'irrigation peut avoir deux types principaux d'effets :

Effets directs :

L'irrigation augmente toujours les rendements moyens, le plus pour le maïs, le moins pour la luzerne et le sorgho Grazer. Elle favorise la production d'U.F. par les luzernes et de M.A.T. par le sorgho fourrager à condition que la fumure azotée couvre bien les besoins élevés de cette culture (280 à 330 kg d'azote répartis essentiellement sur les deux premiers cycles de production).

Les variabilités de production ont tendance à être atténuées par l'irrigation, excepté pour le sorgho fourrager Piper, pour lequel, selon le climat de l'automne, une ou deux exploitations supplémentaires sont parfois possibles.

Dans nos conditions de sol et de climat, les productions moyennes sur huit ans, en présence d'irrigation, plafonnent à 12-13 t de matière sèche, sauf avec le maïs qui permet d'atteindre 16 à 17 t, dont 70 à 80 % seront disponibles pour l'animal.

L'irrigation, dans ces conditions, permet donc un supplément de production de 1,5 t à 2,5 t de matière sèche avec les cultures fourragères traditionnelles et le sorgho fourrager, alors qu'avec le maïs on atteint 6 à 7 t. Dans l'Ouest de la France, l'irrigation du ray-grass d'Italie permet un supplément de 3,5 t de matière sèche à l'hectare correspondant à 2.400 U.F. et 550 kg de matières azotées totales (LEMAIRE).

Ceci montre qu'en présence d'une alimentation hydrique et minérale non limitante (2) la productivité réelle moyenne diffère des productivités potentielles qui auraient pu être escomptées, atteignant pour ces diverses cultures des productions de l'ordre de 18-20 t de matière sèche (COOPER J.-P., 1969).

(2) Fumure P K couvrant annuellement 120 % des besoins des cultures, après de copieuses fumures de fond correspondant à un enrichissement du sol de 420 kg de P₂O₅ et de K₂O.

Excédent de production estivale :

Le tableau V présente quelques exemples d'effet de l'irrigation sur la production estivale.

TABLEAU V
EFFETS DIRECTS DE L'IRRIGATION
SUR LA PRODUCTION MOYENNE DE LA COUPE D'ÉTÉ
(1 coupe ou moyenne de 2 ou 3 coupes maximum)
DE FÊTUQUE, RAY-GRASS, LUZERNE,
PAR ANNÉE D'ÂGE ET POUR LA PÉRIODE DU 15-7 AU 15-9

	1 ^{re} année		2 ^e année		3 ^e année		Moyenne par coupe estivale	
	Rendement (q/ha) de M.S.	% de M.S. à récolte						
<i>Fétuque :</i>								
Non irriguée	11,0	29,7	15,7	29,7	9,8	31,2	12,2	30,2
Irriguée	21,0	23,3	26,7	22,3	21,0	24,8	22,9	23,5
<i>Luzerne :</i>								
Non irriguée	13,8	24,0	14,4	25,9	11,5	28,7	13,2	26,2
Irriguée	22,6	18,9	24,7	20,8	18,5	24,6	21,9	21,4
<i>Ray-grass :</i>								
Non irrigué							10,4	27,0
Irrigué							21,2	20,3

Sur plusieurs années climatiques et en valeur absolue, l'excédent de production estivale dû à l'irrigation est faible comparé à la production totale dont la moitié environ est réalisée au printemps. En valeur relative, et pour la saison chaude et sèche uniquement, l'irrigation permet cependant de doubler la production de ray-grass, d'augmenter de 85 % celle des fétuques et de 65 % celle des luzernes, avec des disponibilités en matière sèche de l'ordre de 2 t/ha.

En année très sèche (1976), l'irrigation d'une luzerne de première année, variété Magali, a permis d'obtenir un excédent de production de 8 t/ha de
à l'irrigation ou non

M.S., alors que celui obtenu avec Orchésienne était bien moindre : certaines variétés semblent donc mieux adaptées à croître en conditions chaudes.

Enfin, l'irrigation permet aussi d'améliorer l'appétence de l'herbe en maintenant le taux de matière sèche à un niveau satisfaisant pendant l'été.

Effets indirects :

Ils peuvent être bénéfiques, c'est le cas des irrigations d'implantation au cours d'automne sec et chaud permettant une meilleure production des coupes du printemps suivant (tableau VI), ou défavorables par chute du rendement des coupes de printemps succédant à une année d'irrigation (tableau VII). Globalement, on constate une diminution de la production en culture irriguée à partir de la deuxième ou troisième année (cf. graphique 1), notamment pour les luzernes lorsqu'elles sont irriguées intensivement.

TABLEAU VI
ARRIÈRE-EFFET DE L'IRRIGATION D'IMPLANTATION
EN AUTOMNE SEC ET CHAUD
SUR LES DEUX PREMIÈRES COUPES DE PRINTEMPS
DE LA PREMIÈRE ANNÉE DE PRODUCTION
(irrigation d'implantation à l'automne 1970-1971-1972)

Production moyenne par coupe sur les deux premières coupes (en q/ha de M.S.)				Production moyenne de M.S. 1 ^{re} coupe (en q/ha de M.S.)	
Luzerne		Fétuque		Ray-grass	
Sans irrigation	Avec irrigation	Sans irrigation	Avec irrigation	Sans irrigation	Avec irrigation
6,5	21,7	27,6	40,2	28,3	34,4

La diminution de production des luzernes irriguées, très importante à partir de la troisième année, peut être attribuée à différentes causes liées à l'irrigation :

TABLEAU VII

ARRIÈRE-EFFET DU PRÉCÉDENT IRRIGUÉ
SUR LES DEUX PREMIÈRES COUPES DE PRINTEMPS
A PARTIR DE LA DEUXIÈME ANNÉE DE PRODUCTION

Production moyenne par coupe (en q/ha de M.S.)

Age prairie	Luzerne				Fétuque			
	Précédent non irrigué		Précédent irrigué		Précédent non irrigué		Précédent irrigué	
	M.S. (q/ha)	Indice	M.S. (q/ha)	Indice	M.S. (q/ha)	Indice	M.S. (q/ha)	Indice
2 ^e année	31,1	100	31,9	102	33,9	100	33,8	100
3 ^e année	30,0	96	23,5	75	32,7	96	30,4	89
4 ^e année	29,1	93	15,3	49	32,3	95	28,5	84

- des ennoyages du sol en hiver plus longs après culture irriguée ; les bilans hydriques pluriannuels montrent que l'intensité des drainages est aussi plus importante ;
- l'irrigation favorise la prolifération de champignons pathogènes entraînant la mort des pieds de luzerne (tumeur marbrée des racines due à *Urophlyctis*) (G. RAYNAL, J.-R. MARTY, *Phytoma*, mars 1976) ;
- enfin, on a pu noter d'importants dégâts dus à *Rhizoctonia violacea* sans avoir rencontré de *Verticillium* (GONDRAN J., 1976) (3).

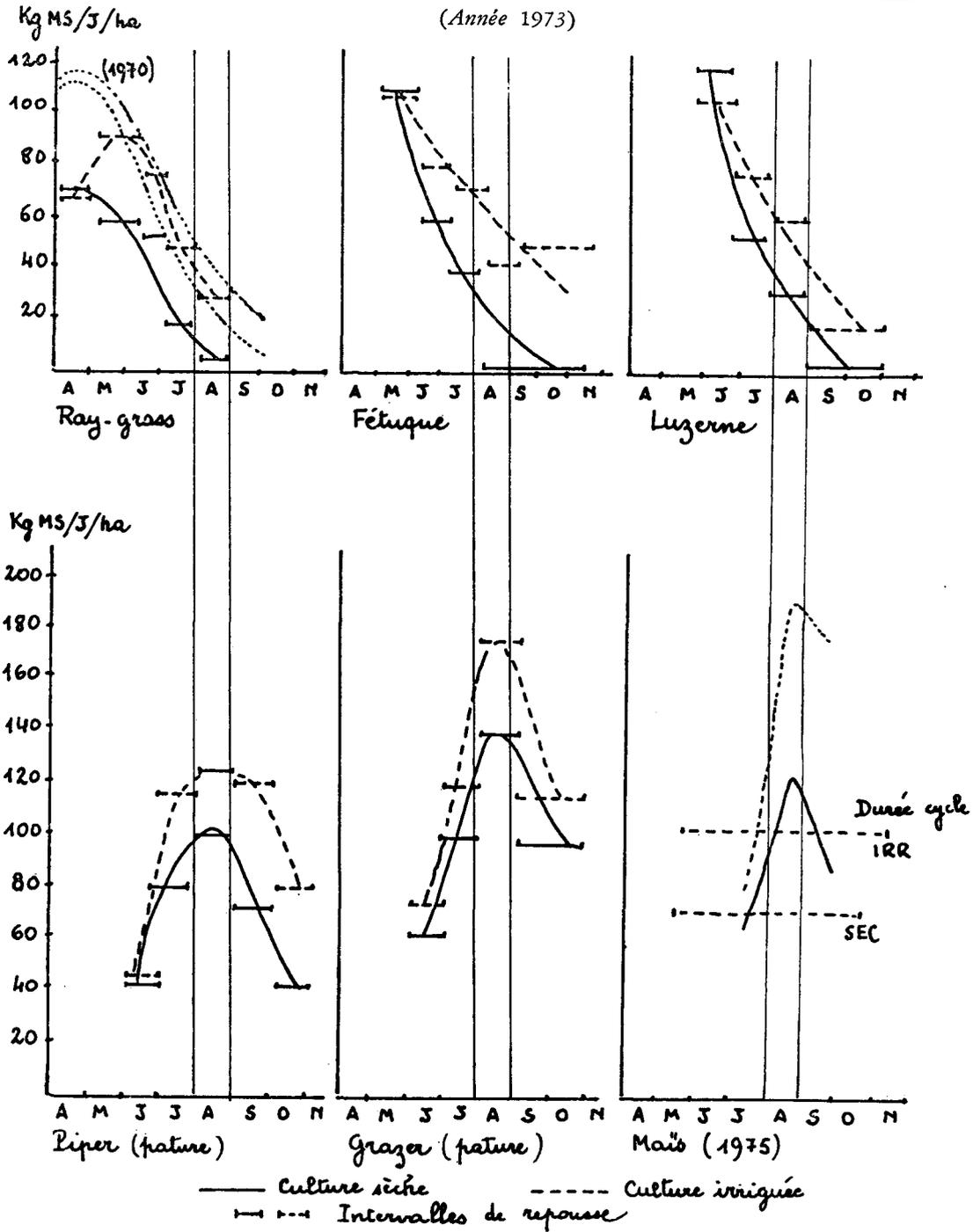
4) Productions moyennes journalières.

Sur le graphique 4, où sont comparées les productions moyennes journalières de fourrages d'été (sorghos fourragers) et de prairies traditionnelles (ray-grass, fétuque, luzerne) pour une même année climatique (1973), on remarque les fortes possibilités de production estivale des sorghos fourragers et des maïs, alors que les autres cultures irriguées ou non ont des productions faibles à cette époque d'ETP élevées.

GRAPHIQUE 4

PRODUCTIONS MOYENNES JOURNALIÈRES
DES CULTURES D'ÉTÉ COMPARÉES A DES PRAIRIES TRADITIONNELLES

(Année 1973)



Par contre, les cultures traditionnelles possèdent de fortes possibilités de production au printemps, période à ETP modérée.

Ce comportement, lié aux conditions d'ETP, se confirme en Bretagne, où LEMAIRE signale des productions moyennes journalières en juillet-août de 80 à 110 kg/ha de M.S., soit pour le Sud-Ouest les conditions de mai-juin.

EFFICIENCE DE L'EAU TOTALE CONSOMMÉE ET EFFICACITÉ DE L'EAU APPORTÉE PAR L'IRRIGATION

1) Efficience de l'eau totale consommée.

Les résultats précédents montrent bien que, en présence d'irrigation notamment, des consommations d'eau semblables entre prairies traditionnelles et cultures d'été se traduisent par des productions très différentes de matière sèche.

En tenant compte de la relation : $P = a \frac{ETR}{ETM} \pm b$, et en définissant

l'efficience comme le rapport de la production P à la consommation d'eau ETR, on a, pour une zone déterminée, les valeurs d'efficience suivantes :

$$\text{Efficience} = \frac{a}{ETM} \pm \frac{b}{ETR}$$

soit trois cas, selon que b est > 0 , $= 0$ ou < 0 chez les végétaux considérés :

$$\text{Eff.} = \left[\frac{a}{ETM} + \frac{b}{ETR} \right] \quad (1) \quad \text{Eff.} = \left[\frac{a}{ETM} \right] \quad (2) \quad \text{Eff.} = \left[\frac{a}{ETM} - \frac{b}{ETR} \right] \quad (3)$$

Ces trois relations montrent que l'efficience est d'autant plus faible que la demande climatique est plus élevée ($\frac{a}{ETM}$).

Avec l'irrigation, on peut donc avoir une efficience décroissante (1) (exemple : sorghos fourragers), stable (2) (fétuque), ou croissante (3) (maïs).

Or, l'efficience est sensiblement égale au rapport :

$$\frac{\text{photosynthèse nette}}{\text{transpiration}}$$

et le rapport de ces deux fonctions assurées par les plantes (photosynthèse, transpiration) peut varier selon l'énergie climatique reçue, les espèces et même les variétés, les époques de l'année, la nature du produit recherché (M.S., U.F. ou M.A.T.).

Dans le cas des cultures fourragères, la meilleure efficience de l'eau consommée correspond au maximum de photosynthèse nette obtenue avec le minimum de transpiration, soit pour l'ensemble du cycle végétatif, ou seulement au cours d'une période où l'on recherche l'optimum de valorisation de l'eau, par exemple, le ray-grass au printemps, le maïs en été.

Si on considère les valeurs moyennes de l'efficience sur plusieurs années, on remarque :

— que les cultures à croissance intense en été (maïs et sorghos fourragers), qui ont un rapport photosynthèse/transpiration élevé en 105

période chaude, ont la meilleure efficacité et valorisent donc bien l'eau d'irrigation. La production moyenne journalière peut être alors cinq fois plus importante que celle des cultures fourragères traditionnelles ;

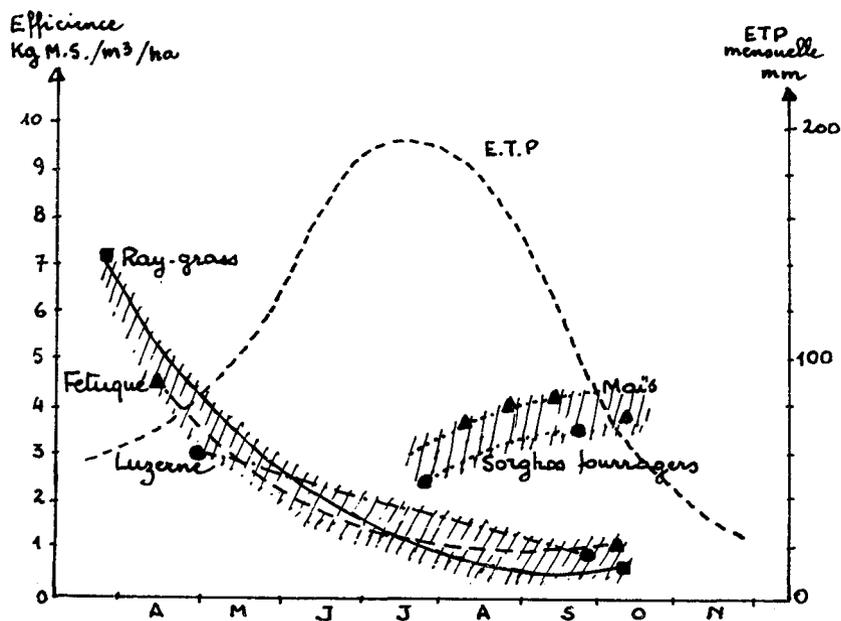
- que les fourrages traditionnels (fétuque, luzerne, ray-grass), qui consomment beaucoup d'eau en été pour une production de matière sèche moindre, ont une efficacité faible pendant cette période.

Par contre, pour les fourrages traditionnels, l'efficacité de l'eau consommée au printemps est élevée et ces cultures valorisent bien l'eau à cette époque où l'évapotranspiration potentielle est plus faible.

Ainsi, pour notre région et pour ces fourrages, on observe une décroissance de l'efficacité au fur et à mesure qu'on s'avance dans l'année, comme le montre le graphique 5 (MARTY, PUÉCH, 1971).

GRAPHIQUE 5

EFFICIENCE DE L'EAU CONSOMMÉE PAR DIFFÉRENTES CULTURES
COMPARATIVEMENT A L'E.T.P.
POUR UNE ANNÉE CLIMATIQUE DONNÉE
ET AIRE DE VARIATION



Malgré ces importantes variations d'efficience en cours d'année, l'efficience globale moyenne sur le cycle complet de production (printemps, été, automne), calculée en confondant âge des prairies et années climatiques, ne présente pas, entre espèces, de différences notables (tableau VIII).

TABLEAU VIII

EFFICIENCE GLOBALE MOYENNE ANNUELLE DE L'EAU
CONSOMMÉE PAR QUELQUES ESPÈCES FOURRAGÈRES

(en kg de M.S.T. par m³ d'eau consommée)

	Fétuque	Ray-grass	Luzerne	Sorghos fourragers		Maïs (II-III)
				Piper	Grazer	
Sec	1,8	2,4	1,7	1,8	1,9	3,2
Irrigué	1,7	2,2	1,6	1,9	2,0	3,4

Dans tous les cas, l'irrigation n'apporte pas d'augmentation nette de l'efficience.

Le ray-grass possède la meilleure efficience globale grâce à sa précocité, à sa forte production printanière et à sa faible consommation en eau à cette période d'ETP modérée.

La luzerne, à rythme de production différent, est plus pénalisée ; de plus, le dépérissement à partir de la troisième année fait baisser son efficience moyenne rapportée à un cycle de production de quatre ans.

Il faut noter que l'efficience s'élève pour le ray-grass en année humide et pas trop chaude (2,5) et diminue nettement en année chaude et sèche (1,5). Elle peut aussi varier pour les sorghos fourragers selon le mode d'exploitation : soit pâture à un stade jeune (1,8 à 2,0 kg de M.S./m³), soit coupe à l'épiaison pour ensilage. Enfin un sorgho grain (variété INRA 450) permet d'atteindre 3,2 kg de M.S./m³.

Mais l'eau étant surtout rare en été, notamment en étés chauds et secs, les sorghos et les maïs l'utilisent beaucoup mieux à cette époque que les fourrages traditionnels.

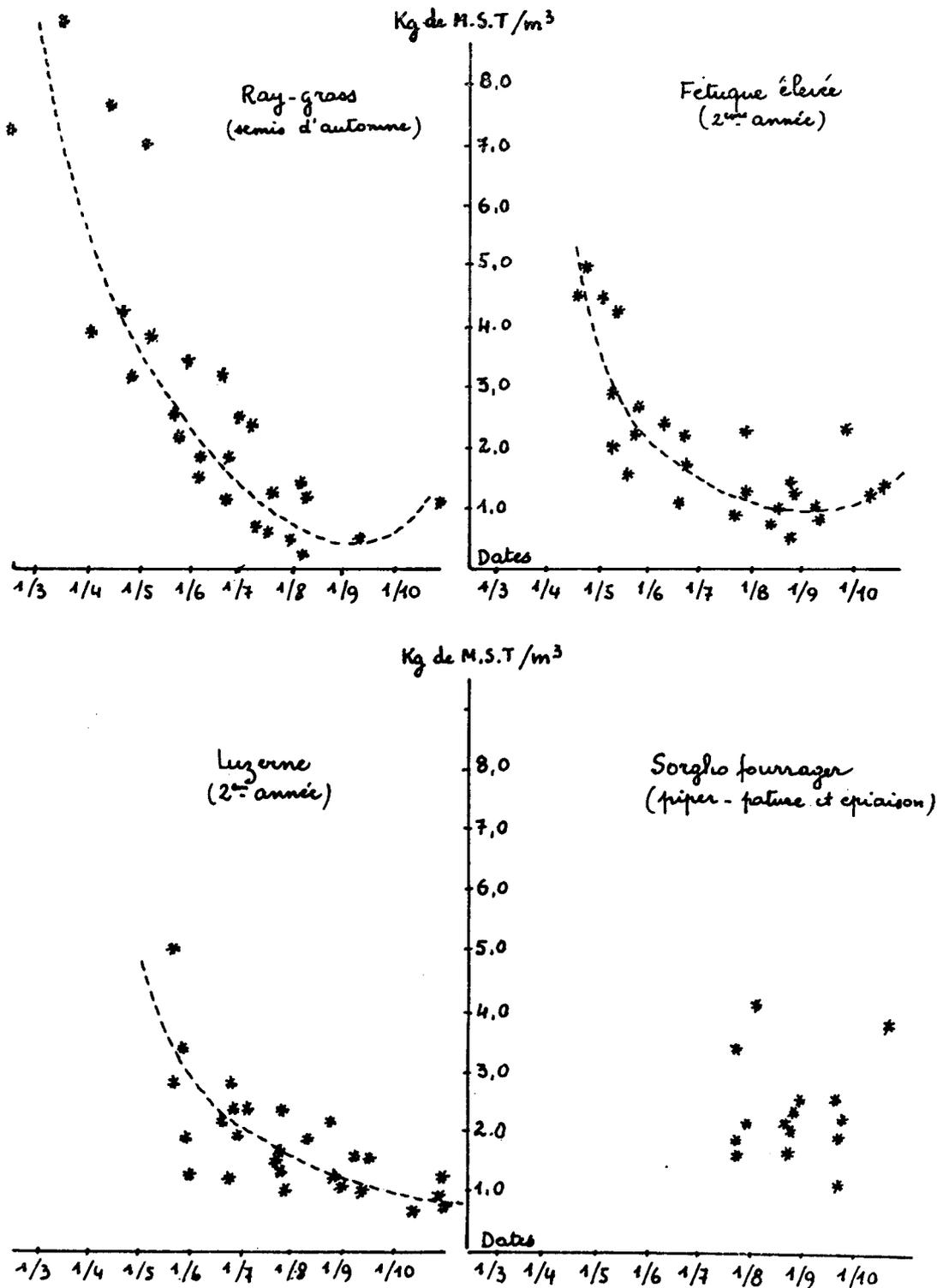
2) Variation de l'efficience au cours de l'année.

Sur le graphique 6 figurent les valeurs de l'efficience de l'eau consommée par quelques espèces fourragères au cours de différentes années climatiques, pour des cultures irriguées sensiblement à l'ETM.

Chacun des points figure l'efficience moyenne au moment de la récolte à l'irrigation ou non pour la période comprise entre deux productions successives. A chaque période 107

GRAPHIQUE 6

VARIATION DE L'EFFICIENCE DE L'EAU CONSOMMÉE AU COURS DE L'ANNÉE
PAR QUELQUES CULTURES FOURRAGÈRES IRRIGUÉES DE 1970 A 1975



et pour toutes ces espèces, on constate des variations de l'efficience. Quelles que soient ces variations, on remarque à partir de l'été une chute très importante de l'efficience de l'eau consommée pour le ray-grass, un peu moindre pour la fétuque et la luzerne, alors qu'à cette époque l'efficience pour les sorghos fourragers est plus élevée et a tendance à croître au cours de l'été. Nous retrouvons bien là les comportements spécifiques à chacune de ces espèces : consommation en eau légèrement supérieure des luzernes par rapport aux fétuques et aux ray-grass (meilleures utilisations par les luzernes des réserves hydriques profondes) et productions globales moyennes sur l'été des luzernes plus élevées que celles des graminées traditionnelles.

3) Efficacité de l'eau apportée par l'irrigation.

L'efficacité de l'eau apportée par l'irrigation s'exprime par le supplément de production (M.S., U.F., M.A.T.) obtenu par m³ d'eau apportée. Les résultats du tableau IX sont calculés à partir des moyennes de production et d'irrigation de 1969 à 1975.

TABLEAU IX

EFFICACITÉ MOYENNE DE L'EAU APPORTÉE PAR L'IRRIGATION POUR DIVERSES CULTURES FOURRAGÈRES

(Irrigations moyennes annuelles : luzernes et fétuques 180 mm, ray-grass et sorghos fourragers 200 mm, maïs-ensilage 240 mm)

	Luzerne	Fétuque	Ray-grass	Sorghos fourragers	Maïs-ensilage (culture principale)
M.S.T. : En kg/m ³ d'eau d'irrigat.	0,8	1,2	1,1	1,2	2,4
U.F. : Par m ³ d'eau d'irrigation	0,7	0,8	0,8	0,7	1,2
M.A.T. : En kg/m ³ d'eau d'irrigat.	0,14	0,08	0,15	0,25	0,08

Ces résultats montrent :

- une bonne valorisation de l'eau d'irrigation par le maïs pour la production de M.S.T. et d'U.F., mais une réponse moins favorable de la matière azotée malgré une fumure azotée apparemment satisfaisante (150 kg de N en sec et 200 kg de N en irrigué) ;
- les sorghos fourragers répondent moins bien à l'eau, mais peuvent produire davantage de M.A.D. en présence d'irrigation, si la fumure azotée est convenablement assurée (soit environ 300 unités d'azote).
- par son enracinement profond et l'importance des réserves hydriques naturelles dont elle dispose, la luzerne est la culture qui valorise

le moins bien l'eau apportée par l'irrigation. De plus, cette technique diminue sa pérennité, accident qui n'existe pas pour le ray-grass et à un degré moindre pour la fétuque.

Signalons enfin, pour l'Ouest de la France, que l'efficacité de l'eau d'irrigation est plus faible pour le maïs (de 1 à 2,4 kg M.S./m³) et tend à être meilleure pour le ray-grass (de 0,5 à 2,5 kg M.S./m³) que celle que nous observons dans le Sud-Ouest (LEMAIRE).

Il faut enfin rappeler que ces résultats proviennent de cultures installées en sols profonds, à fortes réserves hydriques et que, à climat comparable, l'efficacité de l'irrigation serait plus importante en sols disposant de réserves hydriques plus faibles.

LES COUTS PARTIELS DE PRODUCTION

1) Les charges prises en compte.

Nous avons calculé, en francs 1976, les frais engagés par les diverses techniques mises en œuvre, soit :

- le coût de l'implantation des cultures et les frais de traction : labour, récolte — 225 F/ha en exploitation pâture, 550 F/ha en exploitation fauche, de 350 F/ha à 500 F/ha pour maïs et sorghos ensilages selon le niveau de rendement et pour chaque chantier ;
- les coûts de semence ;
- la fertilisation N, P₂O₅, K₂O, compte tenu des besoins et des exportations des différentes cultures, avec ou sans possibilité d'économie par restitution du bétail en pâture. Nous avons admis comme restitution par tonne de M.S. consommée en herbe verte pâturée : 10 kg d'azote, 3,5 kg d'acide phosphorique, 20 kg de potasse ;
- l'irrigation, basée sur les quantités moyennes d'eau utilisées pour des sols profonds et un coût de 0,50 F/m³ ;
- les traitements indispensables : pesticides divers, herbicides, insecticides, hélicides...

Compte tenu des charges différentes à chaque culture, de leur production respective et de la variabilité de ces productions depuis 1969, nous avons pu 110 établir le tableau X.

2) Les coûts moyens partiels de production et leur variabilité pour différentes cultures fourragères.

Malgré les incertitudes d'une telle approche, par ailleurs critiquable sous différents aspects, il est intéressant de comparer les résultats du tableau X obtenus pour les différentes espèces avec la même méthode.

Ainsi, il apparaît que :

- l'irrigation augmente toujours les coûts moyens annuels de production, en proportion plus grande en système « pâture » qu'en système « fauche ». En effet, les charges liées à l'irrigation sont plus importantes que l'économie d'engrais qui peut être réalisée par les restitutions du bétail en pâture, compte tenu d'un excédent de production dû à l'irrigation relativement modéré dans nos conditions pédo-climatiques. A noter que le plus faible coût de production dû à l'irrigation intéresse la matière sèche totale du maïs-ensilage, alors que le plus élevé est celui du sorgho-ensilage ;
- le coût de production du kilo de matière azotée totale est généralement plus élevé en présence d'irrigation, quel que soit le système d'exploitation. Le sorgho fourrager semble bien utiliser la fumure azotée en présence d'irrigation ;
- l'irrigation régularise à un niveau plus élevé qu'en sec les coûts de l'U.F., de la M.S. et de la M.A.T., quel que soit le système d'exploitation de l'herbe, grâce à la moins grande variabilité de production de la M.S.T. (cf. tableau II) ;
- le coût de production de l'herbe en système « fauche » est plus élevé qu'en système « pâture », surtout pour les U.F. Il faut cependant signaler que le coût « fauche » est surestimé car les restitutions par fumier ou lisier permettant des économies d'engrais n'ont pas été prises en compte ;
- l'économie d'azote réalisée sur luzerne se répercute peu sur l'abaissement des coûts par suite des traitements annuels d'entretien (désherbage, insecticide) que nécessite cette culture. L'écart des coûts du kilo de M.S. et de M.A.T. entre fauche et pâture tend à être le plus faible par suite des restitutions azotées par le bétail qui ne peuvent constituer une économie de fertilisation pour cette légumineuse. La luzerne possède enfin le plus faible coût de production du kilo de matière azotée.

TABLEAU X

COUTS MOYENS PARTIELS DE PRODUCTION ANNUELLE
ET VARIABILITE DE CES COUTS

	Fétuque			Luzerne			Ray-grass			Sorgho fourrager (1)	Maïs
	Pâture	Fauche	% augment. fauche/ pâture	Pâture	Fauche	% augment. fauche/ pâture	Pâture	Fauche	% augment. fauche/ pâture	Ensilage	Ensilage
	<i>En F par kg de M.S. à l'hectare</i>										
<i>Sec :</i>											
Moyenne ..	0,12	0,19	+ 58	0,14	0,18	+ 29	0,15	0,21	+ 40	0,20	0,15
Mini (2) .	0,20	0,26		0,19	0,23		0,21	0,27		—	—
Maxi (2) .	0,10	0,16		0,13	0,15		0,15	0,18		—	—
<i>Irrigué :</i>											
Moyenne ..	0,19	0,23	+ 21	0,22	0,26	+ 18	0,22	0,28	+ 27	0,32	0,19
Mini	0,27	0,32		0,28	0,33		0,28	0,33		—	—
Maxi	0,17	0,20		0,20	0,23		0,21	0,24		—	—
Augm. moy. due à l'irriga- tion (en %) .	+ 58	+ 21		+ 57	+ 44		+ 47	+ 33		+ 60	+ 27

En F par U.F. à l'hectare

<i>Sec :</i>											
Moyenne ..	0,18	0,32	+ 78	0,21	0,39	+ 85	0,20	0,33	+ 65	0,32	0,22
Mini	0,19 (3)	0,30 (3)		0,26	0,42		0,24	0,39		—	—
Maxi	0,15	0,26		0,21	0,38		0,18	0,30		—	—
<i>Irrigué :</i>											
Moyenne ..	0,27	0,39	+ 44	0,33	0,53	+ 61	0,31	0,45	+ 45	0,50	0,31
Mini	0,25 (3)	0,33 (3)		0,34	0,48		0,35	0,50		—	—
Maxi	0,26	0,34		0,31	0,51		0,26	0,39		—	—
Augm. moy. due à l'irriga- tion (en %) ..	+ 50	+ 22		+ 57	+ 36		+ 55	+ 36		+ 56	+ 41

En F par kg de M.A.T. à l'hectare

<i>Sec :</i>											
Moyenne ..	0,82	1,28	+ 56	0,75	0,96	+ 28	1,00	1,47	+ 47	1,73	1,63
Mini	1,15	1,52		0,85	0,97		1,25	1,76		—	—
Maxi	0,79	1,47		0,76	0,95		0,85	1,30		—	—
<i>Irrigué :</i>											
Moyenne ..	1,41	1,76	+ 25	1,23	1,42	+ 15	1,53	2,01	+ 31	2,40	2,66
Mini	1,60	1,91		1,20	1,32		1,84	2,31		—	—
Maxi	1,42	1,66		1,21	1,41		1,22	1,60		—	—
Augm. moy. due à l'irriga- tion (en %) ..	+ 72	+ 38		+ 64	+ 48		+ 53	+ 37		+ 39	+ 63

(1) Production moyenne Piper - Grazer.

(2) Correspondent aux productions minimum et maximum avec fertilisation - restitutions différenciées.

(3) Compte tenu des variabilités de production et de la valeur énergétique du fourrage récolté qui ne varient pas toujours dans le même sens.

Enfin, les variations de production d'une année à l'autre et au cours d'une même année, de la qualité des restitutions, des bilans de fertilisation, se répercutent différemment sur la variabilité des coûts de production de M.S., des U.F., de la M.A.T. C'est ainsi, par exemple, que la production estivale du ray-grass ou de la fétuque est très onéreuse, mais de manière moindre si l'été est doux et pluvieux parce que la quantité de M.S. élaborée augmentera. Par contre, dans de telles conditions climatiques, sorghos fourragers et maïs irrigués accuseront des chutes de production entraînant une augmentation des coûts.

POLITIQUE D'IRRIGATION DES CULTURES FOURRAGÈRES

Il est évident que la politique d'irrigation qui sera adoptée dépendra de nombreux facteurs :

- économiques et techniques : coûts, matériel, disponibilité en eau ;
- agronomiques : sol et climat, possibilité de production, efficacité et réponse à l'eau, possibilités d'extraction de l'eau du sol par les différentes cultures fourragères.

Par conséquent, nous ne pouvons tracer que les grandes lignes en tenant compte de quelques aspects précédents qui nous paraissent importants.

C'est ainsi que MAERTENS C. et CABELGUENNE M. (1971) ont montré que les espèces végétales présentent des seuils différents d'épuisement des réserves du sol à partir desquels la production de matière sèche totale diminue, à la condition que d'autres facteurs limitants ne soient pas déjà en jeu (nutrition minérale ou ETP élevées pour ray-grass et fétuque, par exemple). Il faut donc, dans tous les cas, que les cultures fourragères soient irriguées avant que ces seuils de dessèchement du sol ne soient atteints, seuil à partir duquel la consommation en eau diminue fortement et par conséquent la production de matière sèche.

On a pu déterminer, dans nos conditions expérimentales, que l'épuisement des réserves du sol calculées sur la profondeur exploitée par les racines ne doit pas dépasser :

- 65 % pour les luzernes,
- 45 % pour les sorghos et les fétuques,
- 30 % pour le maïs-plante entière,
- 20 % pour le ray-grass d'Italie.

Ceci correspond à un classement d'adaptation à la sécheresse par rapport aux possibilités d'extraction de l'eau du sol de ces différentes espèces.

On peut donc en déduire les considérations générales suivantes :

- les ray-grass devront être irrigués souvent et à faible dose, lorsque l'ETP ne dépasse pas 4,5 mm/jour. Au-delà, l'eau d'irrigation serait mal valorisée. Ceci est aussi valable pour la fétuque, quoique les interventions puissent être moins fréquentes. En période de très fortes chaleurs (15 juillet-15 août), on peut donc adopter une politique d'arrêt des arrosages de ces cultures et bénéficier ensuite, comme l'a observé ROBELIN (4), de « reprises de croissance » accélérées sous l'effet d'irrigation suivant une sécheresse ;
- la luzerne, au contraire, grâce à son enracinement puissant en sols profonds et bien installée dès la première année, doit avoir des irrigations plus espacées qui seront nécessairement plus importantes en quantité. Cette technique devrait aussi permettre de réduire l'intensité de certaines attaques parasitaires et de pouvoir dessécher les horizons profonds, processus important à l'égard de la structure et de la circulation de l'eau (résistance de la culture en hiver et démarrage au printemps) ;
- enfin, l'irrigation du maïs est actuellement préférable à celle des sorghos fourragers du point de vue rentabilité de l'eau apportée. Toutefois, l'irrigation des maïs est plus contraignante (30 % au lieu de 45 % d'épuisement des réserves) et devra couvrir impérativement les besoins pendant les phases de développement et de croissance. Par contre, l'irrigation des sorghos fourragers pourra être plus souple sur le régime des interventions et plus modérée sur les quantités d'eau à apporter.

DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

Les cultures fourragères traditionnelles, fétuque, ray-grass, luzerne, ont une bonne production quand le climat est doux, moindre quand la température augmente. L'efficacité de l'eau consommée à ces périodes chaudes diminue fortement.

Il s'ensuit, pour ces espèces, des disponibilités en herbe très variables qui suivent les aléas climatiques durant la période précédant chaque coupe. Ces disponibilités sont élevées et régulières au printemps, faibles et incertaines

en été. On ne peut donc compter uniquement sur ces cultures pour assurer un étalement et une régularité de la production en étés relativement chauds, même si l'on dispose de l'irrigation.

En effet, l'irrigation de ces prairies s'avère peu avantageuse du fait des faibles augmentations de production estivale dues à l'apport d'eau et notamment si l'on ramène ces augmentations à la totalité de la matière sèche produite annuellement, dont environ la moitié est récoltée avant toute nécessité d'irrigation.

Pour combler le creux de production estivale des cultures traditionnelles, il faut faire appel à d'autres dont la croissance est importante pendant la période chaude : ce sont essentiellement les maïs et les sorghos ; leur production moyenne journalière de matière sèche peut atteindre 200 kg/ha en présence d'irrigation. Toutefois, il faut remarquer que les maïs ne sont exploitables qu'une fois, ce qui pose des problèmes de stockage, de redistribution avec les risques de perte en quantité (environ 30 %) et en qualité, alors que les sorghos pâturables, bien que moins productifs, peuvent assurer plus de souplesse au système et à un moindre coût.

L'efficacité de l'eau consommée par les sorghos fourragers et les maïs est bien meilleure en été que celle des prairies traditionnelles. Cependant, calculée sur la totalité de la période végétative, on obtient pour toutes ces cultures fourragères des efficacités globales annuelles à peu près comparables, grâce à l'efficacité élevée de l'eau consommée par les prairies traditionnelles au printemps.

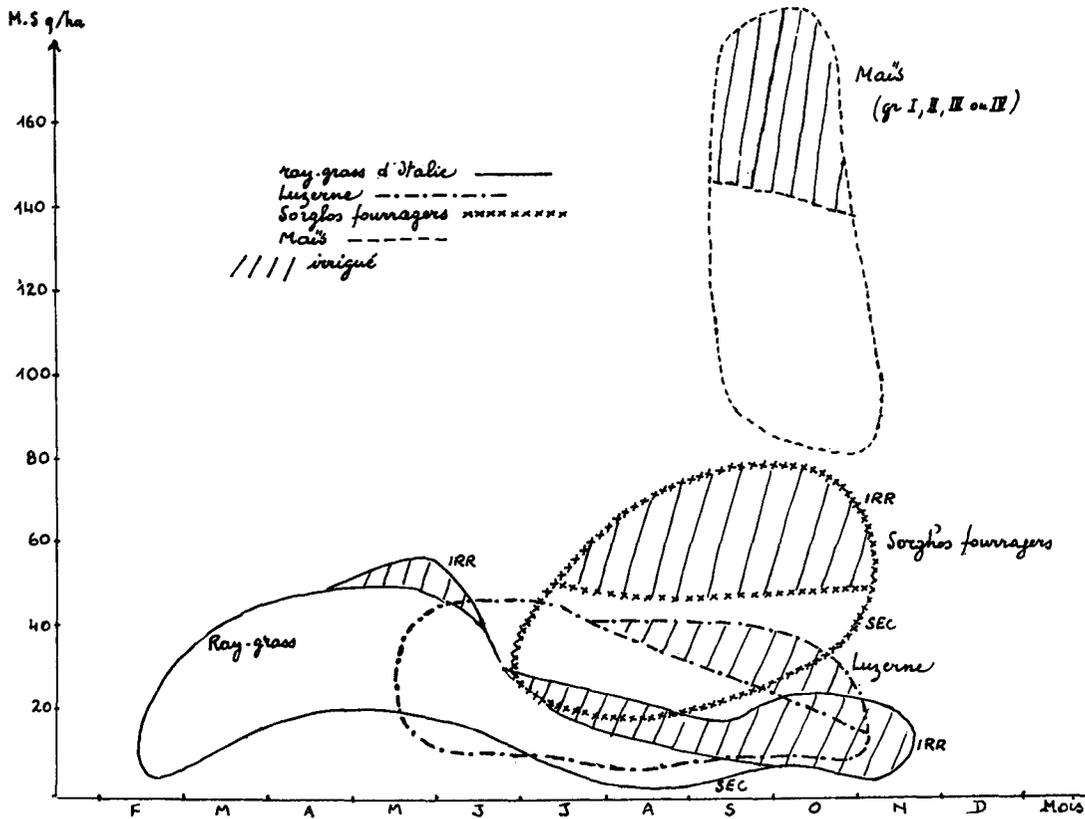
La meilleure efficacité de l'eau apportée par l'irrigation sur la production de matière sèche est obtenue avec le maïs.

L'irrigation améliore généralement la qualité des cultures fourragères (sauf la qualité protéique des maïs), à condition que la fertilisation phosphopotassique, la fumure azotée des graminées et l'apport éventuel d'oligo-éléments soient bien adaptés à la richesse du sol, aux besoins des cultures, aux niveaux de rendements, aux cycles de production et aux modes d'exploitation choisis (avec ou sans restitution par le bétail).

L'irrigation tend à augmenter les coûts partiels de production des fourrages, la plus faible augmentation pour la matière sèche étant obtenue avec le maïs. La variabilité de ces coûts dépend de l'espèce cultivée, de sa régularité de production, de l'incidence de l'irrigation et du mode d'utilisation de l'herbe.

GRAPHIQUE 7

ÉTALEMENT ET VARIABILITÉ DE 1969 A 1975
DE LA PRODUCTION DU SYSTÈME FOURRAGER
AU COURS DE L'ANNÉE (AIRES MINI-MAXI)



En utilisant les données précédentes concernant :

- d'une part, l'instabilité climatique de la région toulousaine, dont les intensités de sécheresse ont varié en six ans de — 134 à — 510 mm
- à l'irrigation ou non 117

entre mai et octobre, et d'une ETP estivale de 4,5 à 6,4 mm/jour, avec des pointes de 7,5 mm/jour sur une décade (cf. tableau I) ;

- d'autre part, le comportement, dans ces conditions, de diverses espèces fourragères tenant compte de la production, la qualité, la valorisation de l'eau, les coûts partiels de production et leur variabilité, on peut concevoir des systèmes et des calendriers fourragers équilibrés et « sécurisés », en utilisant les espèces les moins mal adaptées à nos conditions pédo-climatiques.

Nous préconisons donc un système fourrager à trois volets, dont l'étalement et la variabilité de production figurent au graphique 7 sous forme d'aires couvrant les minimum et les maximum observés sur sept ans :

- *le ray-grass d'Italie*, pour sa précocité et sa production importante et régulière au printemps, de qualité satisfaisante si la fumure azotée est bien maîtrisée et pour sa bonne valorisation de l'eau au moment où elle est abondante et que lui seul est à même de bien utiliser ;
- *la luzerne*, pour sa production intéressante de fin printemps-été, notamment en culture sèche grâce à son enracinement puissant en sols profonds, et qui présente la meilleure qualité fourragère, surtout en matière azotée digestible dont le coût de production est le plus faible. L'irrigation peut prolonger la production en été à condition d'avoir des variétés bien adaptées aux régions à été chauds. Enfin, pour cette culture, il ne faut pas oublier son rôle bénéfique de précédent cultural en tant qu'économie d'azote ;
- enfin, *les sorghos fourragers et/ou les maïs*, qui assurent, en présence d'irrigation, une bonne production d'été et d'automne, qui peut être de bonne qualité si la fertilisation N, P, K est correcte avec cependant une restriction en ce qui concerne la qualité protéique du maïs. Les sorghos fourragers seront préférés en pâture estivale et on choisira les maïs en vue d'ensilage d'hiver, notamment si l'on dispose de l'irrigation. Sorghos et maïs, surtout s'ils sont irrigués, n'ont pas le même rôle bénéfique de précédent cultural que les prairies traditionnelles.

Ce système fourrager dont l'objectif essentiel, pour notre région, est d'assurer une production étalée, de qualité satisfaisante, au moindre coût,

- un assolement fourrager souple susceptible d'être adapté à différents types d'exploitation ;
- un équilibre graminée-légumineuse visant une amélioration du coefficient d'utilisation de l'azote apporté par les fumures ou restitué par le bétail ;
- une efficacité satisfaisante de l'eau consommée par ces différentes espèces compte tenu de leur réponse à l'eau dans nos conditions de climat, que cette eau provienne des réserves plus ou moins profondes du sol, de la pluie ou de l'irrigation ;
- une bonne utilisation moyenne de l'énergie héliothermique grâce à une couverture optimale du sol par des espèces actives et productives aux différentes époques de l'année (printemps, été, automne).

J.-R. MARTY, Nicole BOSC,
*I.N.R.A., Centre de Recherches de Toulouse,
 Station d'Agronomie.*

A. HILAIRE,
S.U.A.D., Haute-Garonne.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- DEMARQUILLY et WEISS (1970) : *Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages*, étude n° 42, S.E.I.-I.N.R.A.
- COOPER J.-P. (1969) : « Potentialités des productions fourragères », *Fourrages* n° 38.
- GILLET et JACQUARD (1969) : « Le potentiel de production des graminées en fonction des rythmes de croissance et de développement », *Fourrages* n° 38.
- GONDRAN J. (1976) : « Répartition en France de la verticilliose de la luzerne », *Ann. Phytopathol.* 8 (2), 203-212.
- LEMAIRE L. : Extrait du rapport d'activité pour les années 1973-1975, Laboratoire de phytotechnie, Station d'Amélioration des Plantes, I.N.R.A., E.N.S.A., Rennes.
- LEMAIRE L. : Extrait du rapport d'activité 1976 (non encore publié, communication de J. BARLOY).
- LENOBLE S. et M., PORCHERON P. (1975) : « Intérêt des variétés de sorghos (Sudan-Grass et hybrides Sorgho × Sudan) », *Fourrages* n° 64.
- MAERTENS C., CABELGUENNE M. (1971) : « Influence des modalités de la fourniture d'eau par le sol sur l'alimentation hydrique de cultures de fétuque et de luzerne », *Acad. Agr. de France*, pp. 920 à 926.
- MAERTENS C., MARTY J.-R. (1971) : « Contrôle de l'utilisation et de l'efficience de l'eau chez diverses cultures irriguées ou non, au moyen d'humidimètres à neutrons », Agence Internationale de l'Energie Atomique et de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, C.R. *Colloque sur l'emploi des radio-isotopes et des rayonnements dans la recherche en phytopédologie y compris leur application en sylviculture*, Vienne (Autriche), pp. 621-630.
- MARTY J.-R., PUECH J. (1971) : « Efficience de l'eau en production fourragère », *Acad. Agric. de France*, pp. 938-949.
- PUECH J., MAERTENS C. (1974) : « Efficience de l'eau consommée de quelques cultures placées dans différentes conditions écologiques », *Agrochimica* XVIII, pp. 223-230.
- RAYNAL G., MARTY J.-R. (1976) : « L'irrigation des luzernes et la maladie des tumeurs marbrées à *Urophlyctis Alfalfae* (Pat et Lag.) », *Revue Phytoma*.
- ROBELIN M., COLLIER D. (1958) : « Evapotranspiration et rendements culturaux », *C.R. Acad. Sci.*, 247, 1774-1776.
- ROBELIN M. (1969) : « L'alimentation en eau des plantes fourragères », *Fourrages* n° 38.

*Productions comparées
à l'irrigation ou non*