Besoin en eau des fourragères et réponse à l'irrigation

Résumé

Les questions autour de l'importance de l'irrigation en agriculture se posent de plus en plus avec le changement climatique. Dans ce contexte, des essais ont été mis en place pour étudier l'impact de l'irrigation sur des cultures fourragères (luzerne, raygrass anglais, raygrass hydride et fétuque). Ces essais visent à déterminer l'efficience de l'eau pour ces cultures, c'est-à-dire la quantité de matière sèche produite par millimètre d'eau apporté, ainsi que l'impact de l'irrigation sur la qualité des fourrages. Les résultats préliminaires donnent des efficiences de l'eau entre 18 et 29 kg MS/ha/mm en fonction des espèces, ainsi qu'un très faible impact du régime hydrique sur la qualité alimentaire. Ces résultats doivent être encore consolidés par une dernière année d'expérimentation.

Summary

Importance of grasslands for biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes

Inquiries regarding the significance of irrigation in agriculture are increasingly pertinent among climate change dynamics. Within this framework, experiments have been initiated to study the influence of irrigation on forage crops (alfalfa, English ryegrass, hybrid ryegrass, and fescue). These trials aim to ascertain water use efficiency for these crops, defined as the quantity of dry matter produced per millimeter of water applied, alongside investigating irrigation's repercussion on forage quality. Preliminary findings reveal water use efficiencies ranging from 18 to 29 kg DM/ha/mm contingent upon species, alongside a negligible impact of the hydration regime on forage nutritional quality. These findings necessitate further validation through a final year of experimentation.

Article accepté pour publication le 17 juin 2024.

Auteurs

P. Larsonneau[1], A. Uijttewaal

S. Gendre

1 ARVALIS - Institut du végétal, Station Inter-Instituts, 6 Chemin de la Cote Vieille, F-31450 Baziege, France

Auteur correspondant:

Pierre LARSONNEAU: p.larsonneau@arvalis.fr

Mots clés

Irrigation, eau, fourrages, efficience, luzerne, raygrass, fétuque.

Key words

Irrigation, water, forages, efficiency, alfalfa, ryegrass, fescue.

Références de l'article

LARSONNEAU P., UIJTTEWAAL A., GENDRE S., (2024). Besoin en eau des fourragères et réponse à l'irrigation, *Fourrages* 258, 115-121.

Introduction

Les cultures fourragères sont aujourd'hui relativement peu irriguées, mais le changement climatique, et son impact sur les précipitations, amène à se reposer la question de la pertinence de l'irrigation sur ces cultures. Les tensions grandissantes autour de l'usage de l'eau ainsi que la sécurité alimentaire des élevages poussent à avoir des références scientifiques sur ce sujet, afin de pouvoir décider au mieux. Peu de travaux ont été menés sur la réponse à l'eau des ressources fourragères prairiales (Lemaire *et al.*, 2008 ; Smeal *et al.*, 2005), essentiellement sur la réponse à l'eau de la luzerne (del Pozo *et al.*, 2017 ; Djaman *et al.*, 2020 ; Wang *et al.*, 2021 ; Zhang *et al.*, 2020). Les travaux menés sur la luzerne montrent une importante variabilité de la réponse à l'eau de la culture, entre 10 et 40 kg MS/mm/ha, quand l'efficience de l'eau des graminées est comprise entre 10 et 25 kg MS/mm/ha selon les différents articles. Ces travaux sont datés et/ou en dehors du territoire français. Il a donc été décidé de faire une étude sur la réponse à l'eau des cultures fourragères en France. Ainsi, le travail mené ici vise à déterminer l'efficience de l'eau de différentes cultures fourragères, pour évaluer l'impact de l'irrigation sur la qualité alimentaire et d'obtenir une fonction de réponse à l'eau pour ces espèces.

Matériel et méthodes

Afin de répondre à cette question, un réseau d'essais a été mis en place en 2022, pour une durée de trois ans, dans différents sites de production répartis sur le territoire. Les essais en micro-parcelles sont réalisés sur des stations expérimentales Arvalis, à Pusignan (69), à La Jaillère (44) et au Magneraud (17). Les zones de prélèvement ont une surface entre 6 et 9 m², chaque modalité est reproduite sur trois à quatre blocs selon le site expérimental. Seule la luzerne (Medicago sativa) est présente sur ces trois sites, du raygrass hydride (Lolium xhybridum) et de la fétuque élevée (Festuca arundinacea) sont présents sur le site de Pusignan et de la Jaillère, et on retrouve également sur ce dernier site du raygrass anglais (Lolium perenne L.). Toutes ces espèces ont été semées en 2021 pour pouvoir être étudiées dès 2022. Le raygrass hydride a dû être ressemé en 2022 sur le site de Pusignan à la suite d'une trop grosse perte de plan sur certaines modalités. Le site de la Jaillère n'a pas été irrigué en différentiel en 2022, seuls les résultats de 2023 seront donc présentés ici. Chaque année des apports de phosphore, potassium et souffre sont réalisés sur chaque micro-parcelle, ainsi que des apports de bore au Magneraud et du carbonate de calcium à La Jaillère. Pour chaque espèce, à l'exception de la luzerne, une fertilisation azotée est faite entre chaque coupe pour éviter un stress azoté potentiellement limitant.

Le terme ETM fait référence à l'EvapoTranspiration Maximale, correspondant a la quantité d'eau qui serait transpirée par la plante et évaporée par le sol en conditions hydriques optimales. Pour chaque espèce, quatre modalités d'irrigations sont mises en place :

- « ETM » (l'irrigation vise à satisfaire à 100 % les besoins en eau).
- « ETM 130 » (30 % d'eau en plus que les apports à l'ETM)
- « ETM 50 » (50 % des apports d'eau à l'ETM)
- « Pluvial » (non irriguée).

En plus de ces quatre modalités, sur le site du Magneraud une modalité « Piloté » a été ajoutée, s'inspirant des pratiques agricoles locales, en faisant uniquement un tour d'eau après une fauche. Il arrive qu'un tour d'eau soit effectué sur l'ensemble des modalités (y compris les modalités pluviales) pour éviter de perdre trop de peuplement, sur cet essai pluriannuel. Toutes les irrigations sont consignées, et ces apports sont pris en compte dans les analyses. Le pilotage de l'irrigation est fait grâce à l'utilisation de tensiomètres placés sur les parcelles à l'ETM, en utilisant les valeurs des seuils tensiométriques du maïs à floraison. Ces seuils dépendent du type de sol. L'irrigation, quant à elle, est faite en utilisant des cadres mobiles construits spécifiquement pour ces essais, adaptés à la taille des parcelles d'essai. La fauche est faite à la période de floraison pour la luzerne, et à l'épiaison pour les graminées.

Pour chaque fauche, la biomasse prélevée est séchée à l'étuve pendant 48 heures à 80 °C pour obtenir le rendement en biomasse sèche par hectare. Des échantillons sont envoyés en laboratoire d'analyse pour obtenir les valeurs alimentaires des fourrages (notamment la matière azotée totale, MAT, et les unités fourragères laitières, UFL). Les parcelles sont équipées de sondes capacitives pour suivre l'évolution de la quantité d'eau dans le sol. Des prélèvements sont réalisés pour pouvoir calibrer les sondes, ainsi qu'une mesure de la densité apparente du sol.

Afin d'apporter un élément de réponse à la question initiale, l'efficience de l'eau d'irrigation (iWUE) a été calculée pour les différentes fauches et les différentes modalités. L'iWUE permet de déterminer le gain de rendement par millimètre d'eau apporté. Cette efficience par modalité est calculée avec la formule suivante :

$$iWUE(\text{modalité}) = (\text{Rendement (modalité)} - \text{Rendement (pluvial)}) / (\text{Irrigation (modalité)} - \text{Irrigation (pluvial)}) \quad (1)$$

La matière azotée totale, obtenue par les analyses de valeur alimentaire des fourrages, permet de déterminer l'indice de nutrition azoté (INN) des fourrages. L'INN se calcule de la manière suivante :

$$INN = (\%N)/(\%Nc) \quad (2)$$

Avec Nc le taux d'azote critique, déterminé par les formules suivantes :

$$\%NcLuzerne = 4.8 \times DM^{-0.32} \quad (3)$$

$$\%NcGraminée = 4.073 \times DM^{-0.38} \quad (4)$$

Avec DM la quantité de matière sèche (Dry Matter) en t/ha.

En absence d'irrigations différenciées, les rendements des

premières coupes de la 1ere année ne sont pas significativement différentes, indiquant une bonne homogénéité de l'essai (Tableau 1 et 2). Cependant certaines coupes sans différences de régime hydrique présentent des différences significatives après plusieurs irrigations (en 2023, la C1 pour la luzerne de Pusignan et du Magneraud, la C1 fétuque de Pusignan, ainsi que la C5 fétuque et raygrass anglais et hybride de La Jaillère).

À l'exception de trois coupes, toutes les fauches irriguées ont des rendements significativement différents. Pour presque toutes les coupes (sauf deux sur la luzerne-2022/C5/Pusignan et 2023/C4/La Jaillère - et sept sur les graminées fourragères – 2022/Fétuque/Pusignan/C4, 2022/RGH/Pusignan/C4, 2023/Fétuque/Pusignan/C2/C3/C4, 2023/Fétuque/La Jaillère/C4, 2023/RGH/La Jaillère/C4-), les rendements des modalités ETM et ETM130 ne sont pas significativement différents, et pour deux tiers des coupes irriguées, les modalités ETM et ETM50 sont significativement différentes quand elles sont irriguées.

Les figures 1 et 2 montrent que le iWUE est relativement variable au sein d'une même espèce, allant parfois presque du simple au double pour le raygrass anglais. Le raygrass anglais n'est observé ici que sur un site et une année. Les valeurs médianes, toutes modalités confondues, vont de 29 kgMS/ha/mm pour le raygrass anglais à 18 kgMS/ha/mm pour la fétuque, avec des valeurs de 22 kgMS/ha/mm et 19 kgMS/ha/mm pour la luzerne et

TABLEAU 1 : Rendement pour la luzerne (en kgMS/ha) et quantité d'eau apportée (en mm) pour chaque coupe et chaque modalité, des lettres différentes indiquent une différence significative au sein d'une même coupe pour un site et une année donnée.
TABLE 1 : Alfalfa yield (in kgDM/ha) and water application (in mm) for each harvest and treatment. Different letters indicate significant differences within the same harvest for a given site and year.

Site/ année		C1		C2		C3		C4		C5		C6	
	Modalité	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau
Pusignan 2022	ETM 130	4679 a	96	3087 ab	120	2599 a	80	3091 a	150	2561 a	80	839 a	0
	ETM	4263 a	96	3143 a	90	2692 a	60	2729 a	120	2361 b	60	939 a	0
	ETM 50	4327 a	96	2872 b	45	2511 ab	30	865 b	75	1484 c	30	904 a	0
	Pluvial	4497 a	96	2326 c	0	2351 b	0	0	30	518 d	0	891 a	0
Pusignan 2023	ETM 130	2962 a	0	3674 a	120	2781 a	80	3120 a	232	2247 a	80		
	ETM	3618 b	0	3854 a	90	2677 a	60	2927 a	182	2230 a	6		
	ETM 50	4001 c	0	3806 a	70	2224 b	30	1926 b	107	1702 b	30		
	Pluvial	4107 c	0	2608 b	0	964 c	0	749 c	32	836 c	0		
Magne-raud 2022	ETM 130	4710 a	80	5435 ab	160	5082 a	120	4112 a	200	2290 a	100		
	ETM	4715 a	60	5490 a	120	4515 a	90	3209 a	150	2048 a	80		
	ETM 50	3933 a	30	3698 bc	60	3692 ab	45	1600 b	75	1417 b	50		
	Piloté	3436 a	0	2828 c	40	3381 b	40	836 d	40	1424 b	60		
	Pluvial	3707 a	0	1649 d	0	1923 c	0	143 c	0	704 c	20		
Magne-raud 2023	ETM 130	4132 a	0	4998 a	100	4633 a	40	3097 a	80	2498 a	10		
	ETM	4407 ab	0	4752 ab	70	4629 a	30	2809 ab	60	2203 ab	70		
	ETM 50	5210 b	0	4411 ab	35	4396 a	15	2503 b	30	2062 b	35		
	Piloté	5266 b	0	3875 b	0	4373	0	2445	40	2193 c	60		
	Pluvial	4737 ab	0	3837 b	0	4180 a	0	1665	0	1223 ab	0		
La jaillère 2023	ETM 130	4048 a	0	3070 a	0	4504 a	120.0	2554	70	1991 a	0		
	ETM	4151 a	0	2913 a	0	3885 a	90.0	1734	60	1778 a	0		
	ETM 50	4208 a	0	3016 a	0	2653 b	45.0	754	45	1685 a	0		
	Pluvial	4227 a	0	3048 a	0	111 c	0.0	284	30	1841 a	0		

TABLEAU 2 : Rendement pour les graminées fourragères (en kgMS/ha) et quantité d'eau apportée (en mm) pour chaque coupe et chaque modalité, des lettres différentes indiquent une différence significative au sein d'une même coupe pour un site et une année donnée
TABLE 2 : Yield for forage grasses (in kgDM/ha) and water application (in mm) for each harvest and treatment. Different letters indicate significant differences within the same harvest for a given site and year.

		C1		C2		C3		C4		C5		C6	
Site/année	Modalité	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau	RDT	Eau
Pusignan fétuque 2022	ETM 130	4843 a	64	4561 a	72	3580 a	40	3290 a	150	2558 a	80	1291 a	0
	ETM	4962 a	64	4571 a	62	3235 a	30	2513 b	120	2270 a	60	1422 a	0
	ETM 50	4931 a	64	3480 b	47	3202 a	15	1200 c	75	1234 b	30	1252 a	0
	Pluvial	5068 a	64	2401 c	32	2900 a	0	734 d	30	505 c	0	949 a	0
Pusignan fétuque 2023	ETM 130	4747 a	0	2704 a	160	2638 a	160	2694 a	232	1770 a	80		
	ETM	5006 ab	0	2473 b	120	2683 b	120	3078 b	182	1895 a	60		
	ETM 50	5221 b	0	1894 c	60	1535 c	60	2040 c	107	1573 b	30		
	Pluvial	5274 b	0	980 d	0	455 d	0	417 d	32	678 c	0		
La jaillère Fétuque 2023	ETM 130	7970 a	0	3089 a	0	3857 a	120	2779 a	70	2606 a	0		
	ETM	7833 a	0	3146 a	0	3852 a	90	2038 b	60	2481 a	0		
	ETM 50	7448 a	0	3117 a	0	2964 b	45	1302 c	45	2110 b	0		
	Pluvial	7764 a	0	3085 a	0	1592 c	0	727 d	30	2060 b	0		
Pusignan RGH 2022	ETM 130	8088 a	96	3625 a	160	1278 ab	40	1877 a	150				
	ETM	7808 a	96	3224 ab	120	1300 ab	30	1075 b	120				
	ETM 50	7782 a	96	3083 b	60	1493 a	15	427 c	75				
	Pluvial	7278 a	96	2147 c	0	1243 b	0	0	30				
Pusignan RGH 2023	ETM 130	5412 a	0	3376 ab	80	826 a	40	993 a	80	1639 a	80		
	ETM	5096 a	0	2955 a	60	764 a	30	853 a	60	1493 a	60		
	ETM 50	5061 a	0	2706 bc	30	681 a	15	637 b	30	947 b	30		
	Pluvial	5228 a	0	2303 c	0	29 b	0	198 c	0	184 c	0		
La jaillère RGH 2023	ETM 130	5826 a	0	3944 a	0	3577 a	120	1549 a	70	1372 a	0		
	ETM	6024 a	0	3990 a	0	3317 a	90	898 b	60	1039 a	0		
	ETM 50	6156 a	0	3812 a	0	1819 b	45	297 b	45	446 b	0		
	Pluvial	5644 a	0	3727 a	0	646 c	0	0	30	0	0		
La jaillère RGA 2023	ETM 130	5325 a	0	3572 a	0	3159 a	120	2304 a	70	2278 a	0		
	ETM	5263 a	0	3477 a	0	3151 a	90	1707 a	60	2188 ab	0		
	ETM 50	5520 a	0	3592 a	0	2025 b	45	698 b	45	1660 bc	0		
	Pluvial	5152 a	0	3600	0	733 c	0	397 b	30	1322 c	0		

le raygrass hydride respectivement.

Les valeurs alimentaires ici compilées (figures 3 et 4) ne sont issues que des coupes pour lesquelles le niveau d'apport d'eau entre modalité est différent (sont donc exclues les coupes avec une irrigation uniforme sur toutes les modalités, et celles sans irrigations), afin de comparer les impacts de l'apport d'eau par rapport à la modalité « Pluvial ». Pour les UFL comme pour la MAT, l'espèce impacte beaucoup plus que la modalité hydrique. Les UFL moyens vont de 0.84 pour la luzerne à 0.96 pour le raygrass anglais, la MAT va de 18.9% pour le raygrass hybride à 21.5% pour la luzerne.

Discussion

Dans la grande majorité des cas, les rendements entre les modalités ETM et ETM130 ne sont pas significativement différents. Ils le sont en revanche, entre ETM et ETM50, laissant penser que les seuils utilisés (les mêmes que pour le maïs à floraison, en fonction du type de sol) pour piloter l'irrigation des fourrages avec les sondes tensiométriques sont satisfaisants, évitant de surirriguer la culture tout en évitant les stress hydriques. Il est à noter également que les différences de rendements entre ETM50 et Pluvial sont significatives. Les résultats de la première coupe de 2023 (2e année de production irriguée) sur la luzerne et la fétuque à Pusignan et au Magneraud montrent une sous-production de la

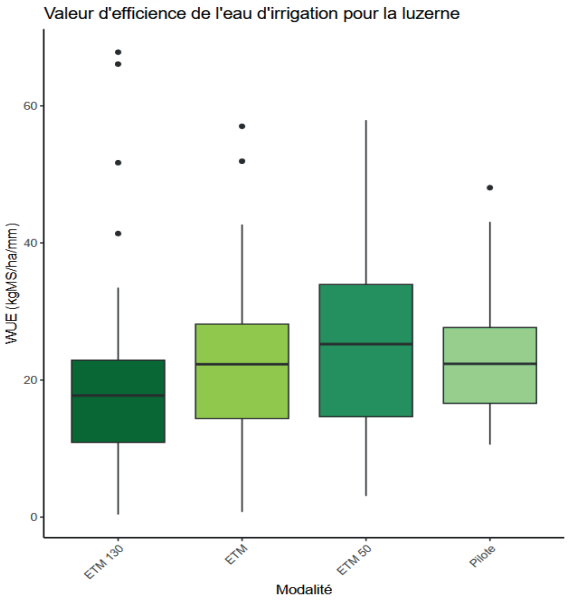

FIGURE 1 : Efficience de l'eau d'irrigation (iWUE, en kgMS/ha/mm) de la luzerne en fonction du régime d'irrigation
FIGURE 1 : Irrigation water efficiency (iWUE, in kgMS/ha/mm) of alfalfa as a function of irrigation regime.

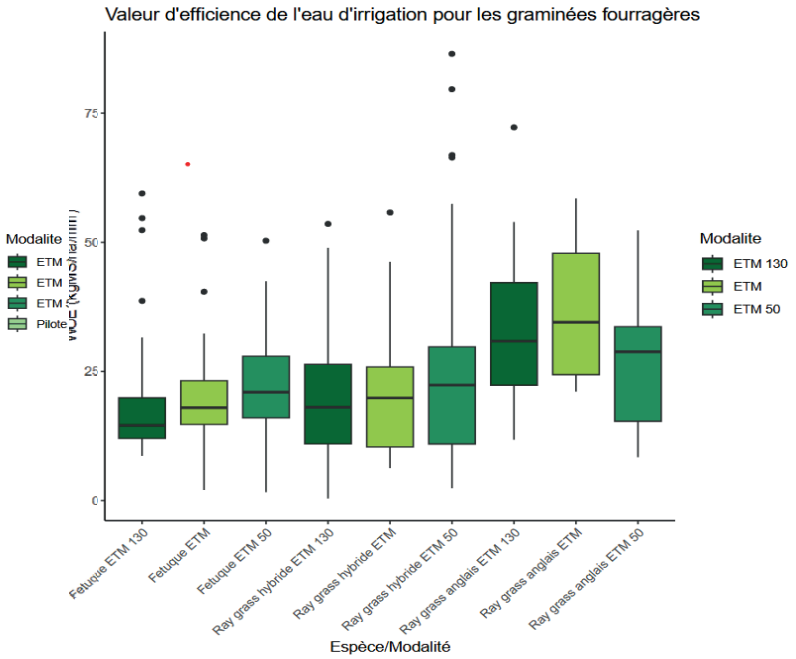

FIGURE 2: : Efficience de l'eau d'irrigation (iWUE, en kg MS/ha/mm) pour les graminées fourragères en fonction du régime d'irrigation
FIGURE 2 : Irrigation water efficiency (iWUE, in kg DM/ha/mm) for forage grasses as a function of irrigation regime

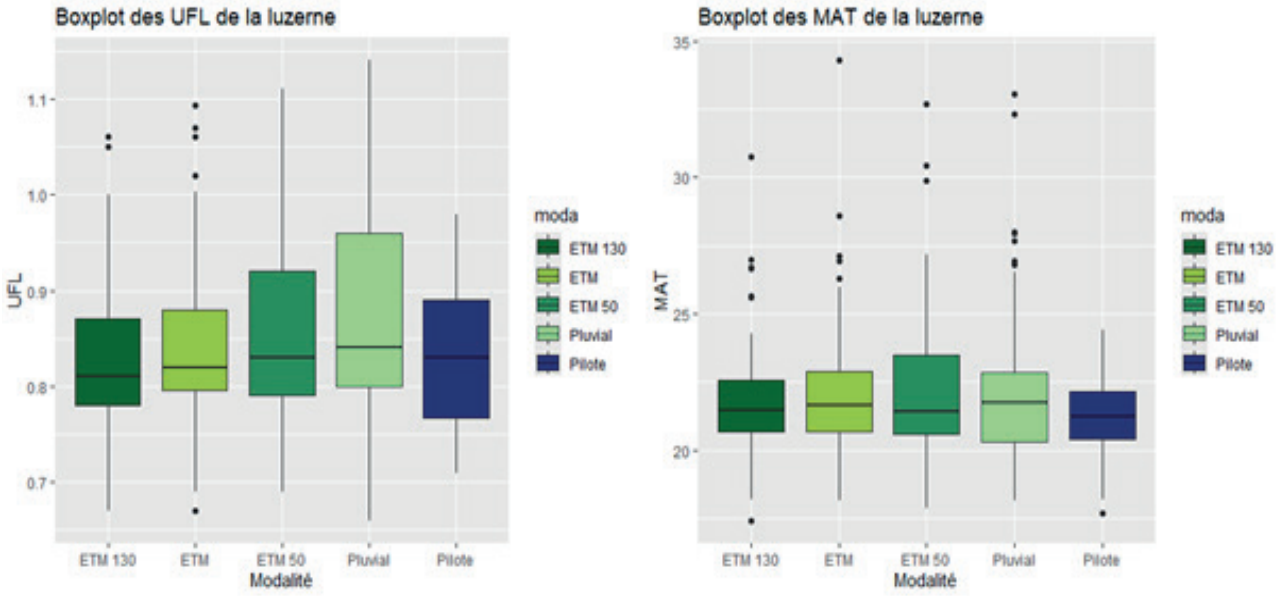

FIGURE 3: Box plot des valeurs alimentaires de la luzerne en fonction du régime d'irrigation. UFL= Unité fourragère laitière, MAT=Matière azotée totale
FIGURE 3 : IBox plot of alfalfa feed values as a function of irrigation regime.

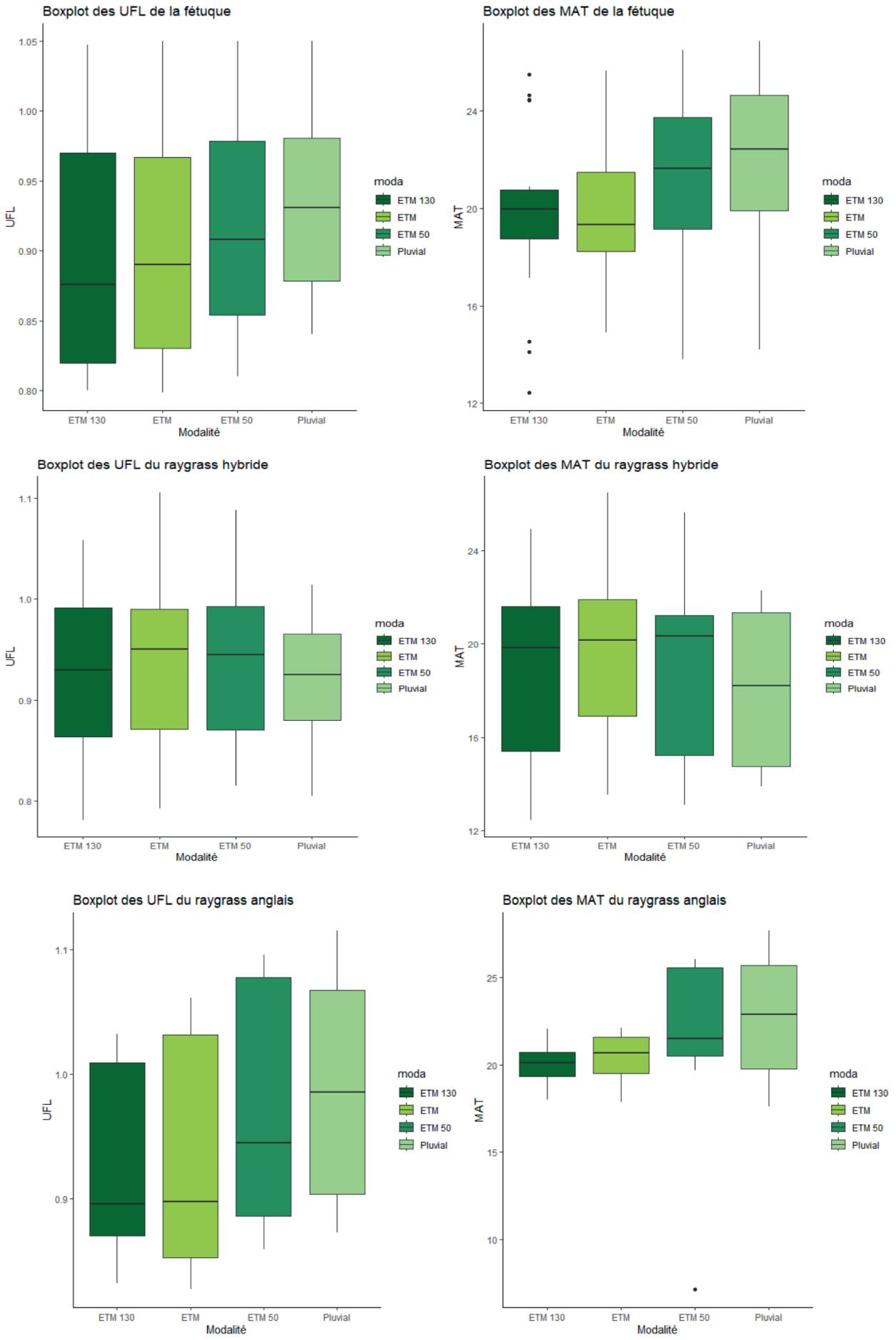

FIGURE '4: Box plot des valeurs alimentaires des graminées fourragères en fonction du régime d'irrigation. UFL= Unité fourragère laitière, MAT=Matière azotée totale
FIGURE 4 : Box plot of feed values for forage grasses as a function of irrigation regime.

modalité ETM130 par rapport aux autres modalités en l'absence d'irrigation, laissant penser à un effet négatif d'une sur-irrigation sur l'année suivante. L'hypothèse pour expliquer cette sous-production en 2e année est une baisse du nombre de pieds avec une trop grosse irrigation, compensée par une augmentation du nombre de tales. Pour la fétuque, un INN plus faible (0.9) a été mesuré sur la modalité ETM130, mais pas de problème de nutrition sur les autres modalités, pour cette espèce. Ainsi, pour la fétuque, l'hypothèse privilégiée pour expliquer la sous-production de la modalité ETM130 en seconde année de production est une carence en azote, la culture ayant consommé tout l'azote disponible au cours de la campagne précédente, contrairement aux modalités où l'eau était limitante.

Les efficiences de l'eau d'irrigation des fourrages sont relativement variables, mais sont significativement impactées par les modalités pour la luzerne (p-value=0.04). L'impact est moins significatif pour les graminées fourragères (p-value=0.07). La modalité ETM130 à une plus faible efficience que les autres en général, et c'est un résultat attendu puisque cette modalité est censée recevoir plus d'eau que nécessaire. La valeur médiane, toutes modalités confondues, de l'efficience de l'eau d'irrigation de la luzerne est de 22 kgMS/ha/mm, 18 kgMS/ha/mm pour la fétuque, 19 kgMS/ha/mm pour le raygrass hybride et 29 kgMS/ha/mm pour le raygrass anglais. Il faut cependant être vigilant sur ce dernier chiffre, issu uniquement d'un seul site, d'une année (2023) et seulement sur deux coupes. Des suspicions de stress thermique sur ces deux dernières espèces existent, la prochaine année d'essai permettra éventuellement de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse. Les valeurs de iWUE de la luzerne sont bien comprises dans les valeurs trouvées dans la bibliographie, et pour les graminées fourragères, les valeurs sont proches des 25 kg MS/mm/ha indiquées par Lemaire et al. (2008), qui donnait ces valeurs pour plantes prairiales des régions tempérées.

Les effets de l'irrigation sur les valeurs alimentaires des fourrages sont très faibles. Pour la MAT, l'effet est significatif pour la luzerne (<- 1%, p-value=0.001) et la fétuque (-8%, p-value<0.001), mais pas pour les raygrass anglais (p-value=0.47) et hybride (p-value=0.23). Pour les UFL, l'effet est significatif pour la luzerne (-3%, p-value=0.002), le raygrass anglais (-4%, p-value=0.01) et la fétuque (-3%, p-value<0.001), mais pas pour le raygrass hybride (p-value=0.65). Dans les cas où l'effet de l'irrigation est significatif sur les valeurs alimentaires des fourrages, il correspond à une baisse de MAT et d'UFL lorsque la quantité d'eau apportée augmente.

Conclusion

Les premiers résultats issus de ce dispositif montrent que l'irrigation des fourragères prairiales permet d'augmenter la quantité produite sans détériorer de manière trop importante la qualité alimentaire des fourrages. Les calculs actuels montrent que l'efficience médiane de l'eau d'irrigation des fourrages oscille entre 18 et 29 kgMS/ha/mm, mais ces valeurs doivent être consolidées par les essais ultérieurs. L'irrigation diminue la valeur de la MAT par rapport au pluvial d'environ 8% pour la fétuque et de moins d'un pour cent pour la luzerne. Cette baisse relative est de l'ordre de 3% pour l'UFL de la fétuque, de la luzerne et de -4% pour la ray-grass anglais. Cet essai est encore en cours, et des analyses plus poussées seront effectuées à la fin des trois ans, afin de déterminer plus finement les facteurs explicatifs de la variation de l'efficience de l'eau d'irrigation, ainsi que l'efficience de l'eau totale une fois que toutes les sondes capacitives, d'autres types de sondes en place sur ces essais, pourront être calibrées. D'autres analyses seront effectuées pour analyser les facteurs responsables des baisses de rendements observés en 2e année de production sur les parcelles les plus irriguées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Del Pozo, A., Ovalle, C., Espinoza, S., Barahona, V., Gerding, M., & Humphries, A. (2017). Water relations and use-efficiency, plant survival and productivity of nine alfalfa (Medicago sativa L.) cultivars in dryland Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 84, 16–22. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.002

Djaman, K., Smeal, D., Koudahe, K., & Allen, S. (2020). Hay yield and water use efficiency of alfalfa under different irrigation and fungicide regimes in a semiarid climate. Water (Switzerland), 12(6). https://doi.org/10.3390/W12061721

Lemaire, G. G., Lemaire Sécheresse, G. G., & Lemaire, G. (2008). Sécheresse et production fourragère. *Innovations Agronomiques*, 2, 107–123. https://doi.org/10.17180/ypfa-3k85ï

Smeal, D., O'Neill, M. K., & Arnold, R. N. (2005). Forage production of cool season pasture grasses as related to irrigation. *Agricultural Water Management*, 76(3), 224–236. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.01.014

Wang, L., Xie, J., Luo, Z., Niu, Y., Coulter, J. A., Zhang, R., & Lingling, L. (2021). Forage yield, water use efficiency, and soil fertility response to alfalfa growing age in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 243. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106415

Zhang, Q., Liu, J., Liu, X., Li, S., Sun, Y., Lu, W., & Ma, C. (2020). Optimizing water and phosphorus management to improve hay yield and water- and phosphorus-use efficiency in alfalfa under drip irrigation. *Food Science and Nutrition*, 8(5), 2406–2418. https://doi.org/10.1002/fsn3.1530