

Disponibilité en eau et production fourragère en zone de grandes cultures

Eric Mosimann, Claire Deléglise, Marielle Demenga, David Frund, Sokrat Sinaj et Raphaël Charles
Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Eric Mosimann, e-mail: eric.mosimann@agroscope.admin.ch, tél. +41 22 363 47 36



Comparaison de cultures fourragères avec et sans irrigation.

Introduction

Pour participer au programme «production de lait et de viande basée sur les herbages» de la Confédération (Barth *et al.* 2011), une part d'herbe d'au moins 80 % est requise dans la ration des herbivores. Actuellement, la moitié des élevages laitiers suisses ne remplissent pas ce critère (Schmid et Lanz 2013). En effet, la majorité des exploitations de plaine utilisent de l'ensilage de maïs, en raison du potentiel de production élevé de cette culture (Winckler *et al.* 2012). Cependant, si le maïs ensilage donné aux vaches gardées à l'étable permet une productivité laitière supérieure à celle des troupeaux nourris au pâturage, ces derniers génèrent un revenu significativement supérieur, comme le montre un essai effectué en Suisse centrale (Hofstetter *et al.* 2011; Gazzarin *et al.* 2011). Des comparaisons entre stratégies fourragères manquent pour d'autres régions d'élevage, notamment en conditions plus sèches. En été, le bassin lémanique est moins arrosé

que la Suisse centrale. De mai à août, la pluviométrie moyenne est respectivement de 325 mm et 530 mm dans ces deux régions (données MétéoSuisse pour Changins et Sempach, moyennes 1981–2010). Avec le changement climatique et la réduction prévisible des précipitations en période estivale, les besoins en eau d'irrigation seront de plus en plus importants dans l'ouest du pays (Fuhrer et Jasper 2009) où l'on s'attend à une extension des surfaces de maïs. Déjà en 2003 et 2011, les systèmes herbagers dans le bassin lémanique ont été fortement pénalisés par les sécheresses qui ont induit une diminution de l'ordre de 40 % du rendement annuel des pâturages (Mosimann *et al.* 2012). Pour apporter des références de comparaison entre stratégies fourragères dans les régions sèches de grandes cultures, il est donc nécessaire de mieux connaître les effets de la limitation en eau.

L'essai «Maïzen'herbe» se déroule dans le bassin lémanique et compare diverses voies de production de fourrages (cultures en rotation vs surfaces toujours en

herbe) soumises à deux régimes hydriques: ('limité' = pluviométrie locale vs 'non-limité' = pluviométrie locale + apports supplémentaires d'eau). Les objectifs sont de répondre aux questions suivantes:

1. Quel est l'effet de la disponibilité en eau sur la production de fourrage?
2. Quelles cultures fourragères choisir en zone de grandes cultures exposées à la sécheresse?

Les résultats de trois années d'essai (2010–2012) sont présentés ici, en mettant l'accent sur le rendement et les exportations en éléments nutritifs.

Matériel et méthodes

Site expérimental

L'essai a été implanté en avril 2009, après labour d'un blé d'automne, sur une parcelle située à Prangins (VD, altitude 390 m). Les données de pluviométrie proviennent de la station météo de Changins pour la période hivernale et de relevés effectués sur la parcelle d'essai durant la période hors gel.

Le sol brun calcaire est anthropisé, faiblement pseudogleyifié, avec peu de pierres issues de la moraine de fond. Sa profondeur utile est de 90 cm. La texture moyenne dans les 20 premiers cm est argilo-limoneuse avec 31 % d'argile et 43 % de silt. Il devient un peu moins argileux dès 30 cm. Au début de l'essai, les analyses indiquaient un pH-H₂O de 8,2, une capacité d'échange cationique (CEC) de 17,7 méq par 100 g de sol et une bonne teneur en matière organique de 3 %. Les teneurs en phosphore (P) et potassium (K) extraites à l'acétate ammonium EDTA (Sinaj *et al.* 2009) sont respectivement satisfaisante et très riche.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental en split-plot a permis de comparer cinq variantes de cultures (tabl. 1) et deux sous-variantes d'approvisionnement en eau ('limité' et 'non-limité') à l'aide de quatre répétitions. Les quarante parcelles de l'essai mesuraient 12 m x 6 m. Les cultures ont été mises en place et travaillées avec des machines agricoles (travaux du sol, semis, sarclages et traitements), puis récoltées avec des machines expérimentales qui permettent de peser et d'échantillonner toutes les biomasses produites sur chaque parcelle.

Variantes culturales

Les deux premières variantes culturales consistaient en une rotation maïs, orge, dérobée luzerne + ray-grass d'Italie (RGI) sur deux ans et sont décalées d'une année. >

Résumé

Un essai de comparaison entre diverses stratégies fourragères (cultures en rotation *versus* prairies temporaires) a été mis en place en 2009 dans le bassin lémanique, à une altitude de 390 m. Dès 2010, deux régimes d'approvisionnement en eau ont été testés, correspondant à des quantités annuelles moyennes de 900 mm (pluviométrie du site) et de 1200 mm (apports d'eau supplémentaires par irrigation).

Lors des périodes de sécheresse en 2010 et 2011, les apports d'eau ont été les plus efficaces sur les mélanges graminées-trèfles. Une quantité de dix litres d'eau au mètre carré a permis d'augmenter leur rendement de 120 kg MS/ha, alors que cette augmentation n'était que de 50 kg MS/ha pour le maïs. En revanche, une forte dégradation de la composition botanique des prairies temporaires a été constatée dès leur troisième année. Elle s'est accompagnée d'une baisse constante de production. L'effet des apports d'eau se traduit par une faible baisse des teneurs en N pour l'ensemble des cultures et par une augmentation des teneurs en K des mélanges graminées-légumineuses (consommation de luxe). Les teneurs des autres éléments analysés (P, Ca et Mg) ont peu été influencées. Cette étude met en évidence les faiblesses des herbages en situation de sécheresse et les avantages que procurent les cultures de maïs et de luzerne.

Tableau 1 | Caractéristiques des cinq variantes culturales: dates de semis et de récolte (première et dernière coupes sur les variantes 4 et 5), cultures, variétés, nombre de coupes et quantité de N minéral (kg N/ha)

	V1	V2	V3	V4	V5
	Rotation deux ans	Rotation deux ans	Rotation longue	Prairie	Prairie
2009	27/04 Maïs Ronaldinio N 110	27/04 Orge printemps Eunova N 40	14/04 Mst 210 4 coupes	14/04 Mst 430 7 coupes	14/04 Mst 430 5 coupes
	26/08	30/07 Luzerne-RGI 2 coupes N 30	N 130	N 220	N 160
	02/10 Orge automne Plaisant	29/10	29/10	19/11	22/10
2010	N 100	25/04 1 coupe N 30	15/03 Pois printemps Gregor N 0	14/04	07/05
	25/06 Luzerne-RGI 2 coupes N 30	11/05 Maïs Ricardinio N 120	19/07 20/07 AP 1 coupe N 0	7 coupes N 240	5 coupes N 150
	19/10	16/09 29/09 Orge automne Plaisant	30/09 08/10 Blé automne Arina	27/10	19/10
	20/04 1 coupe N 30	N 100	N 100	06/04	11/05
2011	06/05 Maïs Ricardinio N 120	24/06 24/06 Luzerne-RGI 2 coupes N 30	15/07 15/07 AP 1 coupe N 0	8 coupes N 180	5 coupes N 150
	01/09 04/10 Orge automne Fredericus	07/10	30/09 04/10 Orge automne Fredericus	09/11	07/10
	N 100	30/04 1 coupe N 30	N 100	04/04	04/05
2012	04/07 10/07 Luzerne-RGI 2 coupes N 30	14/05 Maïs Ricardinio N 120	04/07 10/07 Sorgho Hayking 2 coupes N 80	8 coupes N 180	Mst 330 MA 4 coupes N 90
	24/10	28/08 29/09 Orge automne Plaisant	22/10 25/10 Métail	29/10	24/10

Les densités de semis suivantes ont été appliquées: Maïs 95 000 plantes/ha; orge d'automne 300 grains/m²; luzerne-ray-grass d'Italie (RGI) 35 kg/ha; Mst 210* = trèfles violet et d'Alexandrie + ray-grass d'Italie et Westerwold 30 kg/ha; pois de printemps 262 kg/ha; AP = avoine-vesce de printemps 200 kg/ha; blé d'automne 450 graines/m²; sorgho hybride 40 kg/ha; Mst 430* = trèfles blanc et violet, ray-grass anglais, dactyle tardif, fléole des prés, fétuque rouge et pâturin des prés 36 kg/ha; Mst 330 A* = trèfles blanc, violet et d'Alexandrie, ray-grass anglais, dactyle tardif, fléole des prés et fétuque des prés 34 kg/ha.

*Mélanges standard (Mst): la composition des mélanges de graminées et légumineuses figure dans la Liste des mélanges standard (Mosimann *et al.* 2012).

La troisième variante comprenait une succession variée de cultures (rotation longue). Les variantes 4 et 5 ont toujours été couvertes d'herbe avec un mélange graminées-trèfles. Elles ont été fauchées selon deux fréquences (variante 4: 7 à 8 coupes/année = simulation pâturage; variante 5: 5 coupes/année = prairie de fauche). Les caractéristiques techniques de l'essai sont décrites dans le tableau 1.

Sous-variantes de disponibilité en eau

A partir d'avril 2010, des apports d'eau supplémentaires ont été appliqués sur les parcelles de la sous-variante 'non-limité', sur la base de mesures de tension dans le sol. Ils ont été effectués au goutte-à-goutte, à l'aide de tuyaux percés espacés de 50 cm (75 cm pour le maïs) et disposés à même le sol. Les quantités d'eau appliquées variaient de 5 à 15 l/m² par jour selon le déficit hydrique

atteint. Les mesures de tension ont été réalisées dans toutes les variantes et sous-variantes d'une répétition avec des sondes Watermark® (bougies poreuses) placées à deux profondeurs (20 et 40 cm) et connectées à un boîtier qui enregistre trois mesures par heure. Les apports étaient déclenchés manuellement dès que la tension dans le sol excédait 60 cb (1 cb = 1 kPa), seuil théorique d'épuisement de la réserve utile du sol (Puech *et al.* 2003).

Fertilisation

L'essai a été fertilisé avec des engrais minéraux du commerce. Les quantités d'azote, différenciées selon les cultures (tabl. 1), ont été appliquées sous forme de nitrate d'ammoniaque (27,5 %) et, ponctuellement sur les céréales, avec de l'urée liquide. Compte tenu de l'état de fertilité des éléments de fond au début de l'essai, et pour être sûr de ne pas limiter le développement des

Tableau 2 | Rendement en MS et quantités d'eau par variante culturale et sous-variante hydrique, ainsi que la réponse aux apports d'eau durant trois années. Les niveaux de signification statistique des rendements totaux par variante sont issus de comparaisons post-hoc après analyse de la variance (* P < 0,001; ** P < 0,01; * P < 0,05)**

Année	Culture	Rendement MS (dt MS/ha)		Quantité d'eau (l/m ²)		Apport d'eau	
		limité	non-limité	limité	non-limité	quantité (l/m ²)	réponse (g MS/l)
Variante 1	Total 2010-12	585,6	641,1***	2711	3630	920	0,6
2010	Orge grain	90,7	94,3	371	474	103	0,3
	Orge paille	60,4	69,9				0,9
2010	Luzerne-RGI (automne)	37,8	55,8	442	719	277	0,6
2011	Luzerne-RGI (printemps)	55,0	53,0	106	132	25	-0,8
2011	Maïs	172,4	195,0	311	677	366	0,6
2011-12	Orge grain	83,5	77,2		845		-1,9
	Orge paille	57,4	54,2	812	0	33	-1,0
2012	Luzerne-RGI (automne)	28,3	41,8	669	784	115	1,2
Variante 2	Total 2010-12	539,4	590,4**	2711	3844	1133	0,5
2010	Luzerne-RGI (printemps)	29,4	27,9	218	218	0	
2010	Maïs	167,7	179,9	321	710	389	0,3
2010-11	Orge grain	54,4	63,1		792		0,3
	Orge paille	31,3	46,2	496	0	296	0,5
2011	Luzerne-RGI (automne)	29,9	33,7	534	744	210	0,2
2012	Luzerne-RGI (printemps)	42,2	40,9	228	234	7	-1,9
2012	Maïs	184,4	198,6	332	563	231	0,6
2012	Orge			583	583		
Variante 3	Total 2010-12	366,3	417,4**	2711	3522	811	0,6
2010	Mst 210			143	143	0	
2010	Pois grain	29,9	24,5	256	415	159	-0,3
2010	Avoine vesce d'été (AP)	49,6	66,2	154	301	147	1,1
2010-11	Blé grain	48,7	59,7		857		0,3
	Blé paille	31,3	60,1	540	0	317	0,9
2011	Avoine vesce d'été (AP)	36,9	34,5	172	251	79	-0,3
2011-12	Orge grain	84,5	74,0		801		-4,5
	Orge paille	60,1	66,6	777	0	24	2,7
2012	Sorgho	25,1	31,8	231	317	86	0,8
2012	Méteil			438	438	0	
Variante 4	Total 2010-12	251,4	377,3***	2711	3871	1159	1,1
2010	Mst 430: 8 coupes	110,3	165,0	813	1320	507	1,1
2011	Mst 430: 8 coupes	78,0	125,7	756	1144	388	1,2
2012	Mst 430: 8 coupes	63,1	86,7	1142	1407	264	0,9
Variante 5	Total 2010-12	258,8	402,5***	2711	3834	1122	1,3
2010	Mst 430: 5 coupes	117,0	172,3	813	1309	496	1,1
2011	Mst 430: 5 coupes	85,2	122,3	756	1185	429	0,9
2012	Mst 330: 4 coupes	56,7	107,8	1142	1339	197	2,6

cultures, une fumure uniforme de 90 kg P₂O₅/ha et 280 kg K₂O/ha a été distribuée sur l'ensemble des variantes en mars 2011 et en avril 2012.

Mesures et calculs

Pour l'orge et le blé, les grains et les pailles ont été récoltés séparément. Broyées, les pailles du pois sont restées au champ. Toutes les biomasses exportées des parcelles ont été pesées et fractionnées en deux échantillons. L'un était pesé et séché pour obtenir le taux de matière sèche (MS) et calculer le rendement en MS. Le second a été séché, puis moulu en vue de déterminer ses teneurs en éléments nutritifs. Les teneurs des végétaux en N, P, K, Ca et Mg ont été

déterminées selon les méthodes de référence des stations de recherche Agroscope (1996). Les exportations en éléments nutritifs ont été calculées en multipliant les quantités de MS produites par les teneurs pour chacune des récoltes.

La réponse aux apports d'eau a été calculée en divisant la différence de rendement en MS entre les deux sous-variantes par la quantité d'eau apportée dans les parcelles du procédé 'non-limité'.

Analyses statistiques

Le test des effets de la variante de culture (V1 à V5) et de la sous-variante d'approvisionnement en eau ('limité' et 'non-limité') sur les rendements en MS et exportations en

minéraux a été effectué à l'aide d'analyses de la variance à deux facteurs pour un dispositif expérimental en split-plot (parcelles divisées), suivies de tests post-hoc. Les variables de réponse utilisées sont les rendements, ou les exportations de minéraux, de chacune des variantes (cumul des différentes cultures et des trois années d'essai; tabl. 2 et 4).

Les tests de l'effet de l'approvisionnement en eau sur les teneurs en minéraux des cultures, ainsi que sur les exportations de minéraux par culture, ont été réalisés à l'aide d'une analyse de variance à un facteur (disponibilité en eau), en considérant les données des différentes années et des différentes variantes comme répétitions (tabl. 3 et 5).

Ces analyses ont été réalisées avec le logiciel R, version 3.0.1 (R Development Core Team 2008).

Résultats et discussion

En 2009, l'essai a été conduit sans différenciation du régime hydrique. Il a ainsi été vérifié que la parcelle était homogène et que le rendement des cultures se situait à un niveau moyen à bon par rapport aux valeurs de référence pour l'agriculture suisse (Sinaj *et al.* 2009). Les résultats présentés ici concernent 2010 à 2012, années durant lesquelles les deux sous-variantes de disponibilité en eau ont été testées.

Régime hydrique

Après deux années plutôt sèches (813 et 756 l/m² par année), en particulier durant l'été 2010 et le printemps 2011, l'année 2012 a été plus humide (1142 l/m²). Les périodes où les besoins en eau sont les plus importants sont caractérisés par une forte augmentation de la tension de l'eau dans le sol (>200 cb à 20 cm, fig. 1) et peuvent être distinguées selon les cultures. En été 2010, ce sont le maïs et les prairies qui ont le plus souffert de la sécheresse; en automne 2010, les dérobées et les prairies; au printemps 2011, les céréales et les prairies; en fin d'été 2011, le maïs et les dérobées; en fin d'été 2012: le maïs et les prairies. Ainsi par exemple, des quantités d'eau supplémentaire de 220 l/m² en juillet 2010 pour le maïs (V2) et de 159 l/m² en mai 2011 pour la prairie (V5) ont été apportées dans les sous-variantes 'non-limité'. En moyenne des trois années, les deux sous-variantes testées correspondaient à des pluviométries annuelles moyennes de 900 ('limité') et de 1250 mm/année ('non-limité'). Une analyse des besoins en eau d'une culture de soja, valable par analogie pour d'autres cultures estivales comme le maïs, a montré que le nombre de situations de stress hydrique varie de 0 à 5 selon les années, les régions et le sol (Waridel *et al.* 1997). Il s'avérait aussi

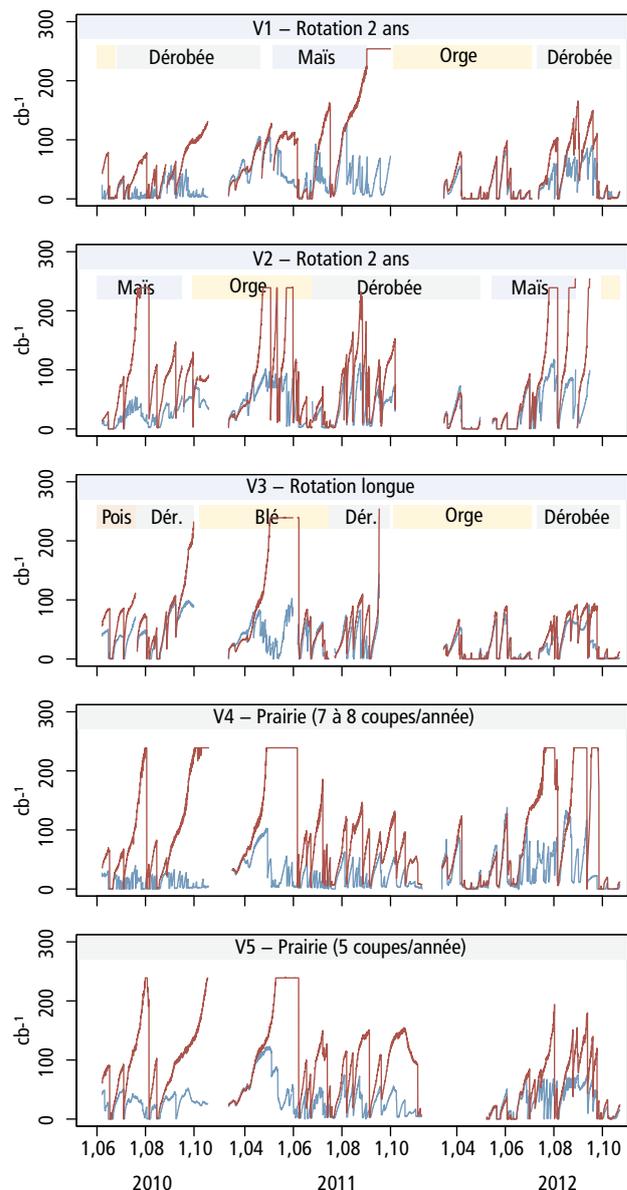


Figure 1 | Tension de l'eau à 20 cm dans le sol pour les cinq variantes culturales de 2010 à 2012.

que l'irrigation est opportune chaque année dans la région lémanique, si l'objectif est de satisfaire les besoins en eau de la culture.

Production de matière sèche et réponse aux apports d'eau

Les cultures en rotation sur deux ans des variantes 1 et 2 ont produit les plus grandes quantités de MS, avec en moyenne des trois années 187,5 dt MS/ha/année pour la sous-variante 'limité' et 205,3 dt MS/ha/année pour la

Tableau 3 | Teneurs en minéraux des cultures (g/kg MS) en moyenne des trois années 2010-2012. Les niveaux de signification statistique sont issus de l'analyse de la variance (* P < 0,001; ** P < 0,01; * P < 0,05; ms [marginalement significatif] 0,05 < P < 0,1; pas de symbole = non significatif)**

Variante	Culture	N (g/kg MS)			P (g/kg MS)			K (g/kg MS)		Ca (g/kg MS)		Mg (g/kg MS)				
		limité	non-limité		limité	non-limité		limité	non-limité	limité	non-limité	limité	non-limité			
1 - 2	Maïs	10,1	9,2	*	1,8	1,8		7,3	7,6		2,5	2,1	*	1,4	1,2	*
1 - 3	Orge grain	16,3	15,9	ms	4,0	4,2		4,9	5,0		0,5	0,5		1,3	1,3	
1 - 3	Orge paille	4,3	3,9	ms	1,0	0,9		15,6	17,2	ms	3,2	3,2		0,7	0,7	
1 - 2	Luzerne-RGI	33,4	31,4	*	3,7	3,8		32,9	36,0	**	17,3	14,5	***	2,1	1,9	ms
3	Pois grain	33,4	34,3		4,8	5,3	**	10,6	11,8	**	1,1	1,1		1,3	1,3	**
3	Dérobée AP	23,0	24,5		3,5	3,8		24,2	26,1		11,0	12,0		1,7	2,0	**
3	Blé grain	19,0	16,3	*	3,5	3,5		4,4	4,4		0,5	0,4		1,2	1,3	*
3	Blé paille	5,8	4,0	ms	1,0	0,8	ms	11,5	9,8		3,6	2,7	ms	0,7	0,6	ms
3	Sorgho	18,9	17,9	ms	4,4	4,1		24,7	24,1		8,3	7,3	*	1,8	1,9	
4	Mst 430: 8 coupes	27,1	26,5		4,1	4,3		31,4	34,7	**	11,6	11,4		2,4	2,4	
5	Mst 430: 5 coupes	25,5	23,6		3,7	3,8		29,5	32,2	*	14,4	14,5		2,7	2,6	

Tableau 4 | Exportations de minéraux dans les cinq variantes au cours des trois années 2010-2012 (kg/ha). Les niveaux de significativité sont issus de comparaisons post-hoc après analyse de la variance (* P < 0,001; ** P < 0,01; * P < 0,05).**

Variante	Culture	Exportations N		Exportations P		Exportations K		Exportations Ca		Exportations Mg						
		limité	non-limité	limité	non-limité	limité	non-limité	limité	non-limité	limité	non-limité					
1	Rotation 2 ans	921	967		159	176	*	813	987	***	318	321		82	88	
2	Rotation 2 ans	784	780		121	138	*	659	786	**	257	238		77	76	
3	Rotation longue	616	657		116	127		494	592		160	197		44	53	
4	Prairie	692	1017	***	101	159	***	775	1294	***	293	437	***	60	90	***
5	Prairie	661	944	***	94	152	***	742	1284	***	365	577	***	67	104	***

sous-variante 'non-limité' (tabl. 2). La production des prairies, variantes 4 et 5, atteignait en moyenne 85,0 et 130,0 dt MS/ha/année pour les deux sous-variantes respectives. Les gains de production obtenus durant trois ans en évitant les déficits hydriques sont significatifs (variantes 1, 4 et 5: $p < 0,001$; variantes 2 et 3: $p < 0,01$). Ils sont les plus importants avec les mélanges graminées-trèfles (V4 et V5), dont le rendement a augmenté en moyenne sur trois ans de 53 % grâce aux apports d'eau. L'augmentation moyenne était de 9 % pour les cultures annuelles avec de fortes variations entre années, en particulier pour l'orge, le blé ou la dérobée avoine-vesce d'été (AP). En 2012, le rendement des céréales était même pénalisé par l'irrigation, conséquence possible de déséquilibres physiologiques. Des essais d'irrigation sur soja ont montré des antagonismes entre les parties végétatives et génératives suite à une disponibilité trop importante en eau avant floraison (Charles *et al.* 1999). Selon les années, le rendement du maïs a augmenté de 7 à 13 % dans la variante 'non-limité'. Selon une étude récente, les températures durant la période de formation des épis expliquent une grande part de la variabilité du rendement (Baux 2013).

Si les mélanges graminées-trèfles (V4 et V5) ont très bien valorisé les apports d'eau, leur production a en revanche diminué au cours des années, en raison notamment d'une dégradation de leur composition botanique. En automne 2011, la présence massive de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) dans la variante 5 a conduit à sa rénovation par ressemis au printemps suivant. Dès lors, la nouvelle prairie a très bien valorisé les apports d'eau, avec une augmentation du rendement de 90 % en 2012.

Le ratio entre la différence de rendement entre sous-variantes et la quantité d'eau apportée précise ces observations. La réponse aux apports d'eau (tabl. 2) est la meilleure dans les variantes 4 et 5, avec en moyenne respectivement 1,1 et 1,3 g MS par litre d'eau au m². Ainsi, une quantité d'eau de 10 litres/m² peut engendrer une augmentation moyenne du rendement des prairies de 120 kg MS/ha. L'eau est moins bien valorisée par les cultures annuelles, à l'exception des pailles de céréales et des dérobées en automne (entre 0,5 et 0,6 g MS par litre d'eau au m² dans les variantes 1 à 3). Au printemps, les dérobées luzerne-RGI ont plutôt été pénalisées par les apports d'eau.

Tableau 5 | Exportations de minéraux par les cultures en moyenne des trois années 2010-2012 (kg/ha/année). Les niveaux de significativité sont issus de comparaisons après l'analyse de la variance (*) $P < 0,001$; ** $P < 0,01$; * $P < 0,05$; ms [marginale significatif] $0,05 < P < 0,1$; pas de symbole = non significatif)**

Variante	Culture	Exportations N		Exportations P		Exportations K		Exportations Ca		Exportations Mg						
		limité	non-limité	limité	non-limité	limité	non-limité	limité	non-limité	limité	non-limité					
1 - 2	Maïs	176,7	175,9	31,0	35,2	**	128,4	145,7	44,2	40,9	24,1	23,3				
1 - 3	Orge grain	126,8	122,3	31,3	32,2		38,6	39,4	4,1	4,1	10,2	10,3				
1 - 3	Orge paille	21,8	23,0	5,2	5,5		81,5	101,9	*	16,6	19,1	ms	3,4	4,3	*	
1 - 2	Luzerne-RGI	185,2	197,1	20,3	24,0		185,7	227,7		96,4	92,8		11,5	12,3		
3	Pois grain	100,0	84,0	14,2	13,0		31,7	28,9		3,2	2,7	ms	3,8	3,1	ms	
3	Dérobée AP	98,5	123,0	14,8	18,5	ms	103,4	130,5		47,7	62,8		7,2	10,1		
3	Blé grain	92,2	97,3	17,2	21,1		21,3	26,3		2,6	2,7		5,9	7,5		
3	Blé paille	17,9	23,5	3,1	4,7	*	35,4	59,1	*	11,5	15,9		2,2	3,4	*	
3	Sorgho	47,3	56,7	11,0	13,0		62,4	76,8		20,9	23,1		4,6	6,1	ms	
4	Mst 430: 8 coupes	230,7	339,1	*	33,6	53,1	***	258,4	431,3	***	97,5	145,5	*	20,0	30,1	**
5	Mst 430: 5 coupes	220,4	314,8	*	31,3	50,7	***	247,3	428,0	***	121,5	192,4	**	22,3	34,8	***

Teneurs en éléments nutritifs et exportations

Le tableau 3 indique les teneurs en N, P, K, Ca et Mg des biomasses des différentes cultures. Ces valeurs correspondent à la moyenne des résultats des trois années d'essai. De manière générale, les apports d'eau ont provoqué une diminution des teneurs en N (significative pour la plupart des cultures en rotation) et en Ca (significative pour maïs, luzerne-RGI et sorgho). L'augmentation des teneurs en K (significative pour luzerne-RGI, pois et prairies) est due à l'action de l'eau sur la libération de cet élément par les argiles dans le sol. Elle s'est traduite par une consommation de luxe de K par les cultures mentionnées.

Le bilan de trois ans reporté au tableau 4 indique que les exportations en minéraux ont été les plus faibles dans la variante 3 chargée en céréales. Les valeurs du tableau 5 montrent que les cultures herbagères, luzerne-RGI et Mst 430, ont mobilisé les quantités les plus élevées d'éléments nutritifs, en particulier de N, K et Ca, en sous-variante 'non-limité'. Une explication des fortes exportations en N est que l'absence de stress hydrique a favorisé la minéralisation de la matière organique par les micro-organismes du sol. Simultanément à la forte augmentation du rendement en MS évoquée précédemment, les apports d'eau ont multiplié par un facteur de 1,5 à 1,7 les exportations d'éléments nutritifs dans les variantes 4 et 5 au cours des trois ans. Cet effet n'était par contre pas significatif pour la plupart des cultures annuelles des variantes 1 à 3.

Conclusions

La caractérisation de la production de fourrages a été effectuée pour deux régimes de disponibilité en eau, tels que l'on peut les observer sur le plateau suisse (900 versus plus de 1200 mm/année). En 2010 et en 2011, les résultats montrent que les herbages ont davantage été pénalisés par la sécheresse que les cultures annuelles. Dans ces conditions, la réponse des herbages aux apports d'eau est excellente: dix litres d'eau au m² permettent un gain de rendement de l'ordre de 120 kg MS/ha. Cette réponse est plus faible et plus variable d'une année à l'autre avec les cultures de maïs et de céréales. Les analyses ont révélé que les teneurs en éléments minéraux ont peu été influencées par la disponibilité en eau. En conséquence, le calcul des besoins en fertilisants des cultures effectué sur la base du rendement annuel est pertinent. Les variations de production des prairies temporaires sont non seulement liées à la réserve en eau dans le sol, mais aussi à un effet de vieillissement, voire de dégradation de leur végétation. Cette étude montre bien l'importance de développer des mélanges spécifiques pour les régions sèches. Ce constat concerne particulièrement les formules de graminées et de légumineuses destinées à des cultures d'une durée supérieure à trois ans (mélanges longue durée). Les résultats de l'essai démontrent l'intérêt des cultures annuelles dans les zones exposées à la sécheresse, où le maïs et la luzerne permettent de sécuriser l'approvisionnement en fourrages. ■

Remerciements

L'essai Maïzen'herbe a bénéficié du soutien financier de l'Association pour le développement de la culture fourragère (ADCF).

Riassunto

Disponibilità in acqua e produzione foraggera in zona di campicoltura

Nel 2009 è stato istituito nel bacino lemanico ad un'altitudine di 390 m, una prova di confronto tra diverse strategie foraggere (rotazione delle colture vs prati temporanei). A partire dal 2010 si sono testati due regimi d'approvvigionamento idrico, corrispondenti alle quantità annuali medie di 900 mm (pluviometria del luogo) e di 1200 mm (apporti supplementari d'acqua per irrigazione). Durante i periodi di siccità nel 2010 e 2011 gli apporti d'acqua sono stati più efficaci sulle miscele graminacee-trifogli. Una quantità di dieci litri d'acqua per metro quadrato ha permesso di aumentare la loro resa di 120 kg SS/ha, mentre questo aumento raggiungeva solamente i 50 kg SS/ha per il mais. Tuttavia, si è constatato, a partire dal loro terzo anno, una forte degradazione della composizione botanica dei prati temporanei. Essa era accompagnata da una costante riduzione di produzione. L'effetto degli apporti in acqua si traduce in una debole riduzione dei tenori in N per l'insieme delle colture e in un aumento dei tenori in K delle miscele graminacee-leguminose (consumazione di lusso). I tenori degli altri elementi analizzati (P, Ca e Mg) sono stati poco influenzati. Questo studio evidenzia le debolezze degli erbai in caso di siccità e i benefici che offrono le colture di mais e di erba medica.

Bibliographie

- Barth L., Lanz S. & Hofer C., 2011. Promotion de la production animale basée sur les herbages dans la politique agricole 2014-2017. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (1), 20–25.
- Baux A., 2013. 20 ans d'étude variétale du maïs ensilage en Suisse. *Recherche Agronomique Suisse* 4 (7–8), 330–337.
- Charles R., 1999. Culture du soja: irrigation et rendement. *Revue suisse d'Agriculture* 31 (5), 227–233.
- Fuhrer J. & Jasper K., 2009. Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. *Agrarforschung* 16 (10), 396–401.
- Gazzarin Ch., Frey H., Petermann R. & Höltschi M., 2011. Comparaison de deux systèmes de production laitière : affouragement au pâturage ou à l'étable – qu'est-ce qui est plus rentable? *Recherche Agronomique Suisse* 2 (9), 418–423.
- Hofstetter P., Frey H., Petermann R., Gut W., Herzog L. & Kunz P., 2011. Comparaison de deux systèmes de production laitière: garde à l'étable vs garde au pâturage – alimentation, performances et efficacité. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (9), 402–411.
- Méthodes de référence des stations de recherche Agroscope, 1996. Volume 1 «Analyses de terre et du substrat pour conseil de fumure».

Summary

Water availability and forage production in arable crops areas

A comparison trial between various feed strategies (crop rotation versus ley) was established in 2009 in the western part of Switzerland, at an altitude of 390 m. From 2010, two water regimes were tested, corresponding to the average annual amounts of 900 mm (local rainfall) and 1200 mm (additional water supply by drop irrigation).

During periods of drought in 2010 and 2011, water supplies were the most effective on grass-clover mixtures. A quantity of ten liters of water per square meter has increased performance of 120 kg DM/ha, while the increase was only 50 kg DM/ha for maize. In contrast, a sharp deterioration in the botanical composition of leys was observed from the third year. It was accompanied by a steady decline in production. The effect of additional water supply results in a small decrease in N contents for all crops and an increase in K content of grass-legume mixtures (luxury consumption). The contents of the other elements analyzed (P, Ca and Mg) have been little affected. This study highlights the weaknesses of grassland during drought and the benefits of maize and alfalfa.

Key words: forage, water availability, grassland, crops.

- Mosimann E., Meisser M., Deléglise C. & Jeangros B., 2012. Potentiel fourrager des pâturages du Jura. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (11–12), 516–523.
- Puech J., Isbérie C. & Pexremorte P., 2003. Conduite de l'irrigation: de la stratégie au pilotage de l'irrigation. Irrigation – Guide pratique, Cemagref Editions, ISBN 2-85362-592-3, 344 p.
- R Development Core Team, 2008. R: A language and environment for statistical computing.
- R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Schmid D. & Lanz S., 2013. Composition de la ration fourragère dans l'élevage de vaches laitières en Suisse. *Recherche Agronomique Suisse* 4 (4), 184–191.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). *Revue suisse d'Agriculture* 41 (1), 1–98.
- Waridel P. & Charles R., 1997. Culture du soja : stress hydrique et irrigation. *Revue suisse d'Agriculture* 29 (4), 205–209.
- Winckler L., Cutullic E. & Aeby P., 2012. Efficacité de la surface fourragère en système laitier dans le canton de Fribourg. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (2), 74–81.