

Effets du mode d'utilisation sur les besoins en phosphore et en potassium d'une prairie du Jura

Bernard Jeangros et Sokrat Sinaj

Agroscope, 1260 Nyon, Suisse

Renseignements: Bernard Jeangros, e-mail: bernard.jeangros@agroscope.admin.ch



L'essai s'est déroulé sur une prairie typique du Jura dont une partie a été pâturée (au premier plan) et une autre fauchée (arrière-plan).

Introduction

La pâture se distingue de la fauche par une utilisation généralement moins homogène du fourrage et surtout par des restitutions d'éléments nutritifs dans les déjections des herbivores. Ces particularités influencent le bilan des éléments nutritifs et par conséquent les recommandations de fertilisation (Huguenin-Elie *et al.* 2017). Si la fertilisation des prairies fauchées de plaine a fait l'objet de nombreuses études, les besoins en éléments nutritifs des pâturages de montagne sont moins bien connus. Un essai a été mis en place dans le Jura pour préciser les effets à long terme de différents apports de phosphore (P) et de potassium (K) sur un herbage exploité comme pâturage ou comme prairie de fauche. Les résultats obtenus avec une fauche peu intensive (deux coupes par année) ont été publiés précédemment (Jeangros et Sinaj 2018). Dans ce deuxième article, les effets de la fertilisation PK en cas de pâture sont analysés et comparés à ceux observés avec la fauche pour une même fréquence d'utilisation (quatre utilisations par année).

L'objectif est de préciser l'effet du mode d'utilisation et les quantités de P et de K qui doivent être apportées en cas de pâture pour concilier maintien d'une composition botanique équilibrée, production fourragère adaptée au milieu et préservation de l'environnement.

Matériel et méthodes

Site expérimental

L'essai s'est déroulé de 1992 à 2006 dans le Jura sur l'alpage de La Petite Ronde, commune des Verrières (NE, 1100 m), sur une surface précédemment le plus souvent pâturée, mais parfois aussi fauchée. Dominée par la fétuque rouge (*Festuca rubra*) et l'agrostide capillaire (*Agrostis capillaris*), la végétation de cette prairie appartient à l'association *Festuco-Agrostietum*. Les conditions de sol et de climat sont décrites par Jeangros et Sinaj (2018).

Dispositif expérimental

L'essai complet comprend trois modes d'utilisation (procédés principaux: P4 = quatre pâtures par an, C4 = quatre coupes par an et C2 = deux coupes par an) et huit sous-procédés de fertilisation PK (de 0 à 26 kg P/ha/an et de 0 à 116 kg K/ha/an) dans un dispositif en split-plot avec quatre répétitions (parcelles élémentaires de 10 m × 3 m). Cet article se concentre sur les procédés P4 et C4. Entre 1992 et 2005, les parcelles du procédé P4 ont été pâturées 11 années sur 14 par de jeunes bovins de différentes races 24 heures sur 24, à raison de quatre pâtures par année d'une dizaine de jours chacune entre fin mai et mi-septembre (pâture tournante). Les parcelles du procédé C4 ont été fauchées quatre fois par année au moment où les parcelles du procédé P4 étaient pâturées. Le procédé C4 a été mis en place pour mettre en évidence les effets spécifiques de la pâture. Dans les conditions du site de La Petite Ronde, cette intensité de fauche ne peut pas être recommandée dans la pratique. Dans les deux procédés, la 1^{re} utilisation a eu lieu au stade début à pleine épiaison du dactyle et les

suivantes sur des repousses âgées en moyenne de cinq à six semaines. En 1997, 2001 et 2005, les parcelles du procédé P4 ont été fauchées en même temps et de la même façon que celles du procédé C4 (hauteur de coupe de 5 à 7 cm) afin de pouvoir comparer précisément la quantité et la composition du fourrage dans les deux procédés. Les modalités des apports de P, K, magnésium (Mg) et calcium (Ca), identiques pour les deux modes d'utilisation, sont décrites par Jeangros et Sinaj (2018). Les parcelles pâturées n'ont reçu aucun apport d'azote, tandis que les parcelles du procédé C4 ont reçu 25 kg N/ha (nitrate d'ammoniaque) une fois par année après la 2^e coupe. Les dégâts de campagnols, surtout *Arvicola terrestris*, ont été maîtrisés grâce une lutte régulière à l'aide de rodenticides.

Observations, mesures et analyse des données

Les méthodes utilisées pour caractériser le sol, la composition botanique et le fourrage sont précisées par Jeangros et Sinaj (2018).

Les teneurs annuelles en éléments nutritifs sont des moyennes pondérées par le rendement en matière sèche de chaque pousse. Les quantités de P et K exportées annuellement avec le fourrage ont été calculées en multipliant, pour chaque coupe, la teneur P ou en K par le rendement en matière sèche, puis en additionnant toutes les coupes. Pour le calcul du bilan dans le procédé P4, les restitutions au pâturage ont été estimées à partir des quantités à déduire par pâture pour une pâture peu intensive (Huguenin-Elie *et al.* 2017) et du nombre standard de pâtures. Ce nombre a été calculé en déduisant 20 % de pertes du rendement annuel et en divisant ce rendement corrigé par 15 dt MS/ha (rendement standard d'une pâture).

Les indices de nutrition pour P (PNI) et K (KNI) ont été calculés à l'aide des équations suivantes (Duru et Thélier-Huché 1997):

$$PNI = 100 \times \frac{P_{\text{four.}}}{0,15 + 0,065 \times N_{\text{four.}}}$$

$$KNI = 100 \times \frac{K_{\text{four.}}}{1,6 + 0,525 \times N_{\text{four.}}}$$

P_{four.}: teneur en P du fourrage (%)

N_{four.}: teneur en N du fourrage (%)

K_{four.}: teneur en K du fourrage (%)

PNI et KNI ont été déterminés pour chacune des quatre utilisations et un indice annuel moyen a ensuite été calculé en pondérant chaque indice par le rendement en matière sèche de la pousse correspondante. L'apport en

Résumé

La pâture se distingue de la fauche par une utilisation généralement moins homogène du fourrage et, surtout, par des restitutions d'éléments nutritifs dans les déjections des herbivores. L'effet du mode d'utilisation (quatre pâtures ou quatre coupes par an) sur les besoins en phosphore (P) et en potassium (K) d'une prairie du Jura a été étudié de 1992 à 2006 dans un essai comprenant divers apports de P (0 à 26 kg/ha/an) et de K (0 à 116 kg/ha/an). Pour une même fertilisation PK, les teneurs en P et K du sol sont toujours plus élevées avec la pâture qu'avec la fauche. Des apports croissants de P et de K permettent d'augmenter ces teneurs de façon significative pour K, quel que soit le mode d'utilisation, et pour P seulement en cas de fauche. Le mode d'utilisation a un effet important sur la composition botanique, mais pas la fertilisation PK. L'absence de fertilisation PK s'est traduite par une diminution significative de la quantité de fourrage; celle-ci est apparue plus tardivement avec la pâture (2005) qu'avec la fauche (2001). Les teneurs en P et K du fourrage ont nettement augmenté avec la fertilisation PK, aussi bien en cas de pâture qu'en cas de fauche. En tenant compte de l'ensemble des paramètres observés, un apport annuel de 9 kg P/ha/an peut être recommandé pour ce type de pâturage produisant environ 40 dt MS/ha/an. En cas de pâture, apporter du K n'est pas nécessaire pour maintenir la disponibilité en K dans le sol, préserver la composition botanique et produire le fourrage attendu. Cet essai confirme que les besoins en P et K d'un pâturage sont inférieurs à ceux d'une prairie fauchée avec la même intensité.

éléments nutritifs est considéré comme suffisant lorsque l'indice est compris entre 80 et 120, tandis qu'un indice inférieur à 80 indique une déficience et un indice supérieur à 120 une consommation de «luxe».

Des analyses de variance à un facteur (fertilisation PK) ont été effectuées sur chaque variable mesurée, séparément pour chaque mode d'utilisation et année d'observation. Des analyses de variances à deux facteurs (dispositif en split-plot avec le mode d'utilisation comme procédé principal et la fertilisation PK comme sous-

Tableau 1 | Effets de 13 ans de fertilisation PK sur les teneurs en P, K, Mg et Ca et le pH du sol selon le mode d'utilisation (4 pâtures ou 4 coupes par an, 2005, horizon 0-10 cm). Pour une caractéristique donnée, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Caractéristique du sol	P _{AA-EDTA} mg/kg	P _{CO₂} mg/kg	K _{AA-EDTA} mg/kg	K _{CO₂} mg/kg	Mg _{AA-EDTA} mg/kg	Mg _{CaCl₂} mg/kg	Ca _{AA-EDTA} mg/kg	pH
Valeur initiale (1991)	–	0,59	–	11,5	–	95	–	5,51
4 pâtures par an (P4)								
Fertilisation P/K								
0/0	39,3 a	0,79 a	187 bc	21,0 bc	241 a	184 a	3116 a	5,90 a
9/0	32,9 a	0,94 a	180 c	19,1 c	232 ab	177 a	2911 a	5,65 a
9/29	20,7 a	0,76 a	203 bc	21,6 bc	219 ab	170 a	2547 a	5,60 a
9/58	42,9 a	0,78 a	233 b	27,2 b	215 abc	163 a	2772 a	5,70 a
17/29	46,7 a	0,91 a	208 bc	23,9 bc	222 ab	176 a	2436 a	5,58 a
17/58	51,9 a	0,97 a	221 bc	24,3 bc	208 bc	159 a	2805 a	5,60 a
17/87	62,5 a	1,02 a	287 a	35,5 a	207 bc	158 a	2794 a	5,68 a
26/116	72,7 a	1,01 a	330 a	39,4 a	190 c	149 a	2572 a	5,58 a
Moyenne	46,2	0,90	231	26,5	217	167	2744	5,66
Valeur P	0,31	0,518	0,000	0,000	0,020	0,099	0,345	0,121
ppds	–	–	50	7,9	26	–	–	–
4 coupes par an (C4)								
Fertilisation P/K								
0/0	7,9 c	0,50 c	143 d	13,7 d	203 a	158 a	2698 a	5,68 a
9/0	22,2 b	0,72 ab	150 d	13,5 d	206 a	160 a	2725 a	5,60 ab
9/29	23,1 b	0,62 bc	162 cd	14,7 cd	202 a	156 a	2514 a	5,45 bc
9/58	16,6 bc	0,51 c	154 d	14,1 d	173 b	137 c	2405 a	5,50 abc
17/29	43,9 a	0,76 ab	171 cd	15,8 cd	204 a	159 a	2446 a	5,50 abc
17/58	43,4 a	0,85 a	198 bc	20,3 bc	196 a	154 ab	2221 a	5,38 c
17/87	37,5 a	0,71 ab	230 b	24,3 b	176 b	140 bc	2279 a	5,33 cd
26/116	44,5 a	0,81 a	319 a	36,7 a	163 b	137 c	1692 b	5,13 d
Moyenne	29,9	0,69	191	19,1	190	150	2372	5,44
Valeur P	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,007	0,010	0,001
ppds	10,6	0,19	37	6,0	18	15	504	0,21

procédé) ont également été réalisées pour évaluer l'effet du mode d'utilisation. Lorsqu'un effet était significatif, les moyennes ont été comparées deux par deux en se basant sur la plus petite différence significative (ppds). Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R 3.3.3 (R Core Team 2017).

Résultats et discussion

Teneurs en macroéléments du sol

Pour un même sous-procédé PK, la teneur en P du sol est toujours plus élevée dans le procédé P4 que dans le procédé C4. Cette différence entre pâture et fauche peut s'expliquer par les restitutions de P dans les déjections des animaux.

Dans le procédé P4, la fertilisation PK n'a pas eu d'effet significatif sur la teneur en P du sol en 2005, aussi bien avec la méthode d'extraction à l'acétate d'ammonium EDTA (AA-EDTA) qu'avec celle à l'eau saturée de CO₂ (tabl. 1). Des apports croissants de P ont toutefois tendance à augmenter les teneurs en P du sol. En cas de pâture, les teneurs du sol en P_{CO₂} peuvent être qualifiées

de satisfaisantes dans tous les sous-procédés de fertilisation, celles en P_{AA-EDTA} varient de médiocre à riche selon le sous-procédé (Flisch *et al.* 2017). En cas de fauche, l'état de fertilité du sol en P est le plus souvent resté médiocre dans les quatre procédés les moins fertilisés et a atteint le niveau satisfaisant dans les sous-procédés recevant 17 ou 26 kg P/ha.

Comme pour P et pour les mêmes raisons, les teneurs en K du sol sont systématiquement plus élevées avec la pâture qu'avec la fauche. Dans les procédés P4 et C4, la fertilisation PK exerce un effet significatif sur la teneur en K du sol, quelle que soit la méthode d'extraction (tabl. 1). L'amplitude de variation des teneurs est un peu plus forte dans le procédé C4 que dans le procédé P4. En cas de pâture, toutes les teneurs en K_{AA-EDTA} peuvent être qualifiées de riches, celles en K_{CO₂} de satisfaisantes, sauf dans les deux sous-procédés recevant le plus de K où elles correspondent au niveau «riche» (Flisch *et al.* 2017). En cas de fauche, la majorité des teneurs en K_{AA-EDTA} et K_{CO₂} correspondent au niveau «satisfaisant».

Les teneurs en Mg du sol ont légèrement diminué avec l'augmentation des apports de P et K. Dans le procé-

Tableau 2 | Effets de 14 ans de fertilisation PK sur la composition botanique selon le mode d'utilisation (4 pâtures ou 4 coupes par an; 2006). Pour un groupe botanique donné, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Groupe botanique	Graminées %	Légumineuses %	Autres plantes %
4 pâtures par an (P4)			
Valeur initiale (1992)	65,7	7,8	26,2
Fertilisation P/K			
0/0	65,1 a	7,2 a	27,6 a
9/0	68,0 a	8,8 a	23,3 a
9/29	71,6 a	7,8 a	20,5 a
9/58	65,7 a	10,1 a	23,3 a
17/29	69,5 a	8,9 a	21,8 a
17/58	66,3 a	11,0 a	22,7 a
17/87	69,9 a	8,1 a	21,8 a
26/116	71,0 a	10,8 a	18,4 a
Moyenne	68,4	9,1	22,4
Valeur P	0,645	0,233	0,488
ppds	–	–	–
4 coupes par an (C4)			
Valeur initiale (1992)	63,5	8,8	27,5
Fertilisation P/K			
0/0	54,0 a	2,3 a	43,2 a
9/0	55,7 a	4,4 a	39,4 ab
9/29	56,2 a	6,0 a	36,3 abc
9/58	56,2 a	4,8 a	36,6 abc
17/29	53,3 a	4,7 a	40,1 ab
17/58	59,6 a	6,1 a	34,0 bc
17/87	59,0 a	7,5 a	32,3 c
26/116	50,4 a	5,3 a	42,0 a
Moyenne	55,5	5,1	38,0
Valeur P	0,356	0,397	0,044
ppds	–	–	7,02

dé P4, cet effet n'est significatif qu'avec l'extraction à l'acétate d'ammonium EDTA. Cette diminution s'explique par une augmentation des exportations en Mg dans les sous-procédés les plus fertilisés (voir ci-après) et par le fort antagonisme entre K et Mg. Le pH et la teneur en Ca du sol ont également légèrement diminué avec l'augmentation des apports PK. Les différences entre les sous-procédés sont significatives en cas de fauche, mais pas en cas de pâture.

Composition botanique

Quatorze ans de fertilisation PK différenciée n'ont guère influencé la part des graminées, des légumineuses et des autres plantes (tabl. 2). Dans le procédé P4, l'augmentation des apports PK a eu tendance à favoriser les graminées et les légumineuses au détriment des autres plantes. Dans le procédé C4, la part des légumineuses a légèrement augmenté et celle des autres plantes diminué. Seules trois espèces ont réagi de façon significative à la fertilisation PK. Lorsque celle-ci est plus importante, la part de pâturin commun (*Poa trivialis*) et celle de trèfle blanc (*Trifolium repens*) augmentent dans le procédé P4,

Tableau 3 | Effets de 13 ans de fertilisation PK sur les teneurs en macroéléments du fourrage selon le mode d'utilisation (4 pâtures ou 4 coupes par an; 2005). Pour un élément donné, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Macroélément	P*	K*	N*	Mg*
	g/kg MS	g/kg MS	g/kg MS	g/kg MS
4 pâtures par an (P4)				
Fertilisation P/K				
0/0	1,89 e	21,1 d	23,1 c	2,05 bc
9/0	2,64 cd	21,7 d	24,5 bc	2,31 a
9/29	2,47 d	24,2 c	24,4 bc	1,99 bc
9/58	2,51 d	25,8 abc	24,6 bc	1,95 bc
17/29	2,95 ab	24,9 bc	25,4 ab	2,12 ab
17/58	2,79 bc	24,9 bc	25,5 ab	2,06 bc
17/87	2,86 b	26,3 ab	24,6 bc	1,89 c
26/116	3,09 a	27,7 a	26,3 a	1,95 bc
Moyenne	2,65	24,6	24,8	2,04
Valeur P	0,000	0,000	0,024	0,015
ppds	0,18	2,0	1,6	0,22
4 coupes par an (C4)				
Fertilisation P/K				
0/0	1,77 d	15,8 e	21,5 a	2,22 b
9/0	2,61 bc	15,3 e	21,7 a	2,60 a
9/29	2,52 c	18,3 d	21,6 a	2,11 b
9/58	2,41 c	20,1 bc	22,2 a	1,87 c
17/29	3,00 a	18,6 cd	22,5 a	2,09 b
17/58	2,99 a	20,7 b	23,0 a	1,85 c
17/87	2,85 ab	21,8 b	22,3 a	1,69 c
26/116	3,08 a	23,4 a	22,8 a	1,71 c
Moyenne	2,65	19,3	22,2	2,02
Valeur P	0,000	0,000	0,101	0,015
ppds	0,26	1,7	–	0,20

*Moyenne pondérée par le rendement en matière sèche de chaque utilisation.

alors que la part de véronique petit-chêne (*Veronica chamaedrys*) baisse dans le procédé C4.

Si la fertilisation PK n'a pas eu beaucoup d'effet sur la composition botanique, le mode d'utilisation a par contre conduit à une forte différenciation de la composition botanique (fig. 1). La pâture (P4) a favorisé les graminées, en particulier la crételle (*Cynosurus cristatus*) et le pâturin commun, ainsi que le trèfle violet (*Trifolium pratense*). Les parcelles du procédé à quatre coupes (C4) sont caractérisées par la présence d'espèces de petite taille, comme la brunelle vulgaire (*Prunella vulgaris*), la stellaire graminée (*Stellaria graminea*), la véronique à feuilles de serpolet (*V. serpyllifolia*) et la véronique petit-chêne, alors que l'oseille des prés (*Rumex acetosa*), la cardamine des prés (*Cardamine pratensis*), la gesse des prés (*Lathyrus pratensis*) et le crocus à fleurs blanches (*Crocus albiflorus*) sont très présents dans le procédé à deux coupes par an (C2; voir Jeangros et Sinaj 2018).

Quantité de fourrage

La quantité de fourrage produite annuellement a progressivement diminué entre 1997 et 2005 dans le

Tableau 4 | Effets de la fertilisation PK sur le bilan (apports – exportations, kg/ha) en P et K en 1997, 2001 et 2005 selon le mode d'utilisation (4 pâtures ou 4 coupes par an). Dans le procédé P4, les apports comprennent les restitutions au pâturage estimées à partir des indications de Huguenin *et al.* (2017). Pour une année donnée, les bilans suivis d'une même lettre ne sont pas significativement différents.

Bilan	P kg/ha			K kg/ha		
	Année	1997	2001	2005	1997	2001
4 pâtures par an (P4)						
Fertilisation P/K						
0/0	-9 d	-6 d	-2 e	-87 e	-68 e	-21 d
9/0	-1 c	1 c	2 d	-66 cde	-53 de	-48 e
9/29	-2 c	1 c	2 cd	-82 e	-44 cde	-33 de
9/58	-2 c	1 c	4 c	-47 bcd	-20 bc	6 bc
17/29	4 b	6 b	8 b	-73 de	-58 e	-37 de
17/58	6 b	7 b	9 b	-43 bc	-28 cd	-1 c
17/87	5 b	6 b	9 b	-27 ab	-2 b	17 ab
26/116	13 a	15 a	16 a	-0 a	32 a	32 a
Moyenne	2	4	6	-53	-30	-11
Valeur P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ppds	3	2	2	27	26	18
4 coupes par an (C4)						
Fertilisation P/K						
0/0	-11 d	-5 e	-3 d	-105 ef	-44 d	-28 e
9/0	-6 c	2 c	4 c	-110 f	-43 d	-30 e
9/29	-4 c	1 cd	2 c	-75 cd	-28 c	-21 de
9/58	-5 c	-0 d	3 c	-65 cd	-12 b	5 c
17/29	2 b	7 b	9 b	-82 de	-31 c	-22 de
17/58	2 b	6 b	7 b	-57 bc	-26 c	-12 d
17/87	2 b	6 b	8 b	-37 ab	-2 b	20 b
26/116	11 a	15 a	18 a	-13 a	30 a	53 a
Moyenne	-1	4	6	-68	-20	-4
Valeur P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ppds	3	2	2	25	12	15

procédé P4 (diminution de 23% en moyenne des huit sous-procédés de fertilisation). Cette diminution est plus marquée avec la fauche (C4: -32%). Cette baisse du rendement au cours des années a aussi été observée dans le procédé à deux coupes par an (Jeangros et Sinaj 2018). Des conditions relativement sèches en 2005 expliquent en partie cette diminution.

Le rendement moyen obtenu dans le procédé P4 en 2005 (39 dt MS/ha) correspond assez bien au rendement de référence indiqué par Huguenin-Elie *et al.* (2017) pour un pâturage peu intensif à 1100 m d'altitude utilisé jusqu'à trois fois par année (36 dt MS/ha). Il est par contre nettement inférieur au rendement de référence pour un pâturage mi-intensif utilisé quatre fois par année (59 dt MS/ha).

Dans le procédé P4, la fertilisation PK a un effet significatif sur la quantité de fourrage en 2005, mais pas en 1997 ni en 2001 (fig. 2a). En 2005, l'écart de production annuelle entre le procédé 0/0 et le procédé 26/116 est conséquent (+57%), alors qu'il est proche de 0 en 1997 (+3%) et 2001 (+4%). Avec la fauche (C4), l'effet de la

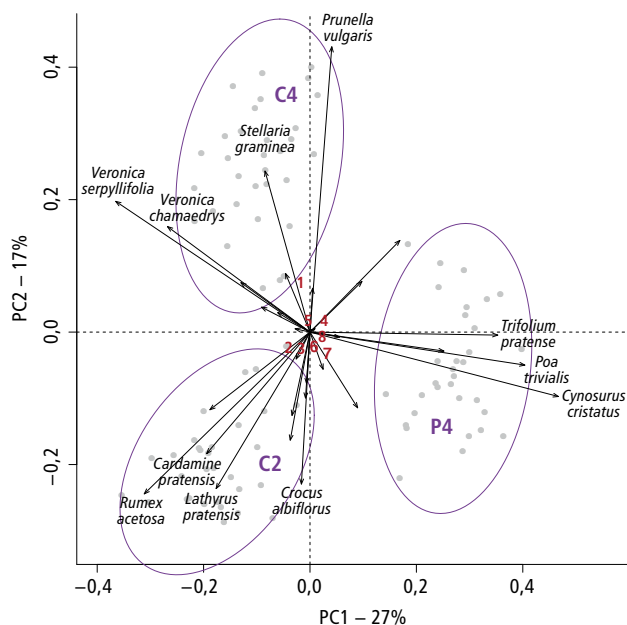


Figure 1 | Projection sur les axes 1 (27% de variance expliquée) et 2 (17%) de l'analyse en composantes principales des relevés botaniques effectués en 2006 (contributions spécifiques), 14 ans après le début de l'essai, sur l'ensemble des 96 parcelles (trois modes d'utilisation, huit sous-procédés de fertilisation PK et quatre répétitions). Les flèches représentent les espèces botaniques (seuls les noms des espèces contribuant de façon importante aux axes 1 et 2 sont indiqués). Les ronds gris illustrent les parcelles. P4, C4 et C2 indiquent le centroïde des trois modes d'utilisation (quatre pâtures, quatre coupes, deux coupes par année), les chiffres de 1 à 8 celui des sous-procédés de fertilisation PK.

fertilisation PK est significatif dès 2001 (fig. 2B), ce qui était aussi le cas dans le procédé à deux coupes par année (Jeangros et Sinaj 2018). Ces résultats montrent que si l'abandon de toute fertilisation PK n'a que peu d'effet à court terme sur la quantité de fourrage produite, cet effet peut devenir important après plusieurs années.

Teneurs en macroéléments du fourrage

Dans le procédé P4, les teneurs annuelles en P et K du fourrage ont augmenté en 2005 de façon importante et significative avec l'accroissement de la fertilisation PK (tabl. 3). Les teneurs en P ont augmenté de 63% entre les procédés 0/0 et 26/116, celles en K de 32%. La teneur en P des plantes a donc davantage réagi à la fertilisation PK que la teneur en P du sol (tabl. 1).

Les teneurs en K du fourrage sont corrélées positivement et significativement avec les teneurs en $K_{AA-EDTA}$ ($r=0,63$) et en K_{CO_2} du sol ($r=0,54$). Pour P, le coefficient de corrélation entre la teneur du fourrage et la teneur du sol est plus faible (respectivement $r=0,13$ et $0,26$ pour $P_{AA-EDTA}$ et P_{CO_2}).

Tableau 5 | Effets de la fertilisation PK sur les indices de nutrition P (PNI) et K (KNI) en 1997, 2001 et 2005 selon le mode d'utilisation (4 pâtures ou 4 coupes par an). Pour un indice et une année donnés, les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Indice	PNI*			KNI*		
	Année	1997	2001	2005	1997	2001
4 pâtures par an (P4)						
Fertilisation P/K						
0/0	84 e	78 d	63 e	92 c	92 a	75 c
9/0	93 cd	92 bc	86 cd	80 d	79 b	75 c
9/29	91 d	90 c	80 d	101 ab	97 a	84 b
9/58	93 cd	89 c	81 d	102 ab	101 a	90 ab
17/29	103 ab	106 a	94 ab	99 b	100 a	85 b
17/58	97 bcd	96 bc	89 bc	102 ab	98 a	85 b
17/87	99 abc	98 b	93 ab	106 a	97 a	91 ab
26/116	104 a	106 a	97 a	105 ab	101 a	93 a
Moyenne	95	95	85	99	96	85
Valeur P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
ppds	7	7	6	6	10	7
4 coupes par an (C4)						
Fertilisation P/K						
0/0	77 c	71 d	61 d	74 ef	63 de	58 d
9/0	94 b	96 bc	90 bc	72 f	59 e	56 d
9/29	94 b	93 c	87 c	82 de	70 c	67 c
9/58	94 b	90 c	82 c	86 bcd	74 c	73 bc
17/29	108 a	109 a	101 a	83 cd	69 cd	67 c
17/58	109 a	112 a	100 a	91 bc	88 ab	74 b
17/87	105 a	104 ab	97 ab	95 ab	87 b	79 ab
26/116	107 a	110 a	103 a	101 a	93 a	84 a
Moyenne	98	98	90	85	75	70
Valeur P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ppds	10	9	9	8	6	7

*Moyenne pondérée par le rendement en matière sèche de chaque utilisation.

La comparaison des procédés P4 et C4 permet d'analyser les effets spécifiques du mode d'utilisation sur les teneurs en macroéléments de plantes de même âge. Pour un même sous-procédé de fertilisation PK, les teneurs en P du fourrage sont très proches dans les procédés P4 et C4 (tabl. 3), bien que les teneurs du sol soient plus élevées avec la pâture qu'avec la fauche (tabl. 1). Le fourrage dans le procédé P4 est par contre plus riche en K que celui du procédé C4 – ce qui reflète bien, dans ce cas, la plus grande disponibilité en K dans le sol des parcelles pâturées.

Les teneurs en P observées dans les procédés P4 et C4 sont inférieures aux teneurs de référence indiquées par Daccord *et al.* (2017) qui tiennent compte du type botanique (E) et du stade de développement des plantes au moment de l'utilisation (première pousse au stade 3–4, repousses de cinq à six semaines). Les teneurs en K observées dans cet essai sont aussi inférieures aux teneurs de référence, plus nettement avec la fauche qu'avec la pâture.

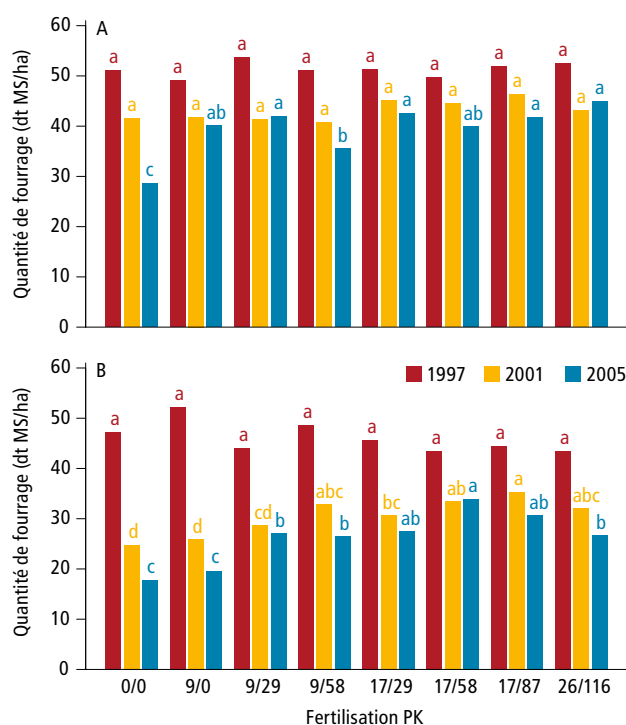


Figure 2 | Effets de la fertilisation PK sur la quantité de fourrage (somme des quatre utilisations, dt MS/ha/an) en 1997, 2001 et 2005 avec quatre pâtures par an (A) et quatre coupes par an (B). Pour une année donnée, les valeurs surmontées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

La teneur en N du fourrage a légèrement augmenté avec l'augmentation de la fertilisation PK dans le procédé P4, mais pas dans le procédé C4. Cela peut en partie s'expliquer par la réaction positive des légumineuses à la fertilisation PK, celles-ci constituant près de 10 % de la composition botanique en cas de pâture, contre seulement 5 % en cas de fauche.

Dans les deux procédés, la teneur en Mg du fourrage a diminué avec l'augmentation des apports de P et K, de façon un peu moins marquée avec la pâture qu'avec la fauche (tabl. 3). Pour les deux modes d'utilisation, les teneurs en Mg du fourrage sont proches des teneurs de référence indiquées par Daccord *et al.* (2017).

Bilans P et K

En 2001 et 2005, l'apport de 9 kg P/ha permet d'à peu près compenser les exportations de P par le fourrage dans les procédés P4 et C4 (tabl. 4). Avec un apport de 17 ou 26 kg P/ha, le bilan P devient nettement excédentaire. Le bilan P est assez proche dans les deux procédés P4 et C4, car les exportations un peu plus élevées dans

le procédé P4, dues à une production de fourrage légèrement supérieure, sont compensées par les restitutions de P pendant la pâture.

Le bilan K est négatif en 1997 dans pratiquement tous les sous-procédés de fertilisation du procédé P4. Ce déficit diminue progressivement pour s'approcher de 0 en 2005 avec un apport de 58 kg K/ha/an. En 2001 et 2005, le déficit en K est généralement un peu plus marqué dans le procédé P4 que dans le procédé C4, ce qui montre que l'augmentation des exportations dans le procédé pâturé n'a pas été entièrement compensée par les restitutions de K pendant la pâture.

Indices de nutrition

L'augmentation de la fertilisation PK a provoqué une augmentation significative des indices de nutrition P (PNI) et K (KNI) dans les procédés P4 et C4 (tabl. 5). Ces indices ont légèrement diminué de 1997 à 2005, mais ils sont restés le plus souvent supérieurs à 80 dans le procédé P4, indiquant une disponibilité en P et en K suffisante (Duru et Thélier-Huché 1997). Seuls les sous-procédés sans apport de P (0/0) ou de K (0/0 et 9/0) ont conduit en 2001 et 2005 à un PNI ou à un KNI inférieur à 80. Globalement, les indices PNI sont un peu plus faibles dans le procédé P4 que dans le procédé C4, alors que les indices KNI sont plus élevés dans le procédé P4 que dans le procédé C4.

L'évaluation de la fertilité basée sur les indices de nutrition peut être comparée à celle fournie par l'interprétation des analyses de sol (Flisch *et al.* 2017). Selon Flisch *et al.* (2017), les seuils pour passer de la classe de fertilité B (médiocre) à la classe de fertilité C (satisfaisant) sont respectivement de 30 et 0,62 mg P/kg sol pour $P_{AA-EDTA}$ et P_{CO_2} lorsque le sol contient entre 20 et 30 % d'argile. Dans le procédé P4, les teneurs en P du sol nécessaires pour que PNI dépasse en 2005 la valeur de 80 sont proches respectivement de 30 et 0,8 mg/kg pour $P_{AA-EDTA}$ et P_{CO_2} . Ces valeurs sont un peu plus faibles dans le procédé C4 où elles atteignent respectivement 20 et 0,6 mg/kg. Pour P, il y a donc une assez bonne concordance entre l'évaluation de la fertilité fournie par PNI et celle donnée par les deux méthodes d'analyse du sol. La petite différence entre les procédés P4 et C4 pourrait indiquer que la disponibilité du P restitué dans les déjections au pâturage est un peu surestimée par les deux méthodes d'analyse du sol.

Pour K, les seuils pour passer de la classe de fertilité B (médiocre) à la classe de fertilité C (satisfaisant) sont respectivement de 100 et 12,5 mg K/kg sol pour $K_{AA-EDTA}$ et K_{CO_2} (Flisch *et al.* 2017). Dans notre essai, les teneurs du sol correspondant à un indice KNI de 80 atteignent respectivement environ 200 et 22 mg/kg. Cet écart important

avec les valeurs précédentes indique que, dans notre essai, les deux méthodes d'analyse du sol surestiment la disponibilité en K dans le sol. Cette surestimation pose la question de la pertinence des méthodes d'analyse du K mises au point sur des sols de terres ouvertes pour des prairies permanentes, surtout lorsqu'elles sont pâturées.

Conclusions

Des apports croissants de K permettent d'améliorer la disponibilité du K dans le sol de façon significative, quel que soit le mode d'utilisation. Des apports croissants de P conduisent aussi à une augmentation de la disponibilité en P dans le sol, mais celle-ci n'est pas significative en cas de pâture.

Avec la pâture comme avec la fauche, la fertilisation PK n'influence guère la composition botanique. Par contre, le mode d'utilisation provoque une nette différenciation de la composition botanique.

Si l'abandon de toute fertilisation PK n'a que peu d'effet à court terme sur la quantité de fourrage produite, il peut provoquer une diminution de rendement importante après plusieurs années. Cette perte de rendement est apparue plus tardivement avec la pâture qu'avec la fauche.

Les teneurs en P et K du fourrage augmentent nettement avec la fertilisation PK, mais restent inférieures aux teneurs de référence.

Sur la base de l'évolution de la teneur en P du sol, de la composition botanique, de la quantité de fourrage et de sa teneur en P, du bilan apports – exportations et de l'indice de nutrition PNI, un apport annuel de 9 kg P/ha/an peut-être recommandé pour ce type de pâturage produisant environ 40 dt MS/ha/an. Cet apport est légèrement supérieur à celui proposé par Huguenin-Elie *et al.* (2017) pour un pâturage peu intensif (7 kg P/ha/an). Un apport de K ne semble pas nécessaire pour maintenir la disponibilité du K dans le sol, préserver la composition botanique et produire le fourrage attendu pour ce type de pâturage.

Cet essai confirme que les besoins en P et K d'un pâturage sont inférieurs à ceux d'une prairie fauchée avec la même intensité. ■

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de cet essai de longue durée, en particulier à Cédric Bertola, Luc Stévenin et Jakob Troxler. Merci également à Lucie Büchi pour la mise en valeur statistique des données ainsi qu'à Marco Meisser pour les améliorations apportées au manuscrit.

Riassunto**Effetti del tipo di utilizzazione sui fabbisogni di fosforo e di potassio di un prato del Giura**

Il pascolamento si distingue dallo sfalcio a causa di un'utilizzazione generalmente meno omogenea del foraggio e soprattutto grazie alla restituzione di elementi nutritivi contenuti nelle deiezioni animali. L'effetto del tipo di utilizzazione (quattro pascolamenti o quattro sfalci all'anno) sui fabbisogni di fosforo (P) e di potassio (K) di un prato del Giura è stato studiato dal 1992 al 2006 nell'ambito di una prova sperimentale che comportava diversi apporti di P (da 0 a 26 kg/ha/anno) e di K (da 0 a 116 kg/ha/anno). A pari concimazione di PK, i tenori di P e di K del suolo sono sempre più elevati nelle superfici destinate al pascolo rispetto a quelle falciate. Apporti crescenti di P e K permettono di aumentare questi tenori in modo significativo per K, indipendentemente dal tipo di utilizzazione e per P soltanto nel caso dello sfalcio. Il tipo di utilizzazione ha un impatto importante sulla composizione botanica, ma non sulla concimazione PK. L'assenza della concimazione PK ha determinato una diminuzione significativa della quantità di foraggio, verificatasi più precocemente con lo sfalcio (2001) che con il pascolo (2005). I tenori di P e K del foraggio sono aumentati significativamente grazie alla concimazione PK, sia col pascolamento sia con lo sfalcio. In considerazione dell'insieme dei parametri osservati, un apporto annuale di 9 kg/ha/anno può essere raccomandato per questo tipo di pascolo che produce circa 40 q SS/ha/anno. Nel caso del pascolo, gli apporti di K non sono necessari per mantenere la disponibilità di K nel suolo, per preservare la composizione botanica e per produrre il foraggio atteso. Questa prova conferma che i fabbisogni di P e K di un pascolo sono inferiori a quelli di un prato falciato con la stessa intensità.

Summary**Impact of type of use on the phosphorus and potassium requirements of grassland in the Swiss Jura**

Grazing differs from mowing in its generally less homogeneous use of forage, and above all in its return of nutrients in the excreta of herbivores. The impact of the type of use (four grazings vs four cuts per year) on the phosphorus (P) and potassium (K) requirements of a grassland in the Swiss Jura was studied from 1992 to 2006 in a trial with various inputs of P (0 to 26 kg/ha/year) and K (0 to 116 kg/ha/year). For the same PK fertilisation, the P and K content of the soil is always higher for grazing than for mowing. Increasing inputs of P and K enable this content to be increased significantly for K regardless of the type of use, and for P only in the case of mowing. Although type of use has a significant effect on botanical composition, PK fertilisation does not. The absence of PK fertilisation results in a significant decrease in the quantity of forage; this decrease appeared later with grazing (2005) than with mowing (2001). The P and K content of the forage increased significantly with PK fertilisation for both types of use. Bearing in mind all of the observed parameters, an annual input of 9 kg P/ha/year may be recommended for this type of pasture that produces approximately 40 dt DM/ha/year. In the case of grazing, K inputs are not necessary to maintain the availability of K in the soil, preserve the botanical composition, and produce the expected forage. This trial confirms that the P and K requirements of pastures are lower than those of hay meadows managed at the same intensity.

Key words: pasture, meadow, fertilization, soil fertility, botanical composition, forage, nutrition index.

Bibliographie

- Daccord R., Wyss U., Kessler J., Arrigo Y., Rouel M., Lehmann J., Jeangros B. & Meisser M., 2017. Valeur nutritive des fourrages. In: Apports alimentaires recommandés pour les ruminants (Livre vert), chapitre 13, éd. Agroscope, Posieux.
- Duru M. & Thélier-Huché L., 1997. N and P-K status of herbages: use for diagnosis of grasslands. In: Inra (Ed.), Diagnostic procedures for crop management. Les colloques de l'Inra, 125–138.
- Flisch R., Neuweiler R., Kuster T., Oberholzer H., Huguenin-Elie O. & Richner W., 2017. 2/Caractéristiques et analyses du sol. In: Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017) (éd. S. Sinaj & W. Richner). *Recherche Agronomique Suisse* 8 (6), Publication spéciale, 2/1–2/33.
- Huguenin-Elie O., Mosimann E., Schlegel P., Lüscher A., Kessler W. & Jeangros B., 2017. 9/Fertilisation des herbages. In: Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF 2017) (Ed. S. Sinaj & W. Richner). *Recherche Agronomique Suisse* 8 (6), Publication spéciale, 9/1–9/21.
- Jeangros B. & Sinaj S., 2018. Besoins en phosphore et en potassium d'une prairie de fauche du Jura riche en fétuque rouge. *Recherche Agronomique Suisse* 9 (6), 192–199.
- R Core Team, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>