

Typologie de production des pâturages

Zoé Vuffray¹, Claire Deléglise¹, Fredy Schori², Walter Glauser², Pierluigi Calanca³, Marco Meisser¹, David Frund¹, Luc Stévenin¹, Alexandre Bittar¹ et Eric Mosimann¹

¹Agroscope, 1260 Nyon, Suisse

²Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

³Agroscope, 8046 Zurich, Suisse

Renseignements: Marco Meisser, e-mail: marco.meisser@agroscope.admin.ch



La croissance de l'herbe a été mesurée de 2000 à 2015 dans divers pâturages pour vaches laitières du sud-ouest de la Suisse. (Photo: E. Mosimann)

Introduction

Gérer le pâturage consiste à équilibrer l'offre en fourrage et sa consommation. Le chargement, soit le nombre d'animaux par unité de surface, peut être calculé selon les besoins journaliers du troupeau et les quantités d'herbe produites. La croissance de l'herbe varie au cours des saisons et des années, de par l'influence de nombreux paramètres tels que la météo, l'altitude, le sol, la fertilisation et le type botanique (Mosimann 2005). La croissance de l'herbe a été mesurée de 2000 à 2015 en Suisse occiden-

tale (fig. 1) sur des pâturages exploités de manière plutôt intensive.

Les données de ces essais ont été analysées et classées de manière à estimer le potentiel de production de l'herbe dans une situation donnée, à l'aide de critères simples. La démarche fait suite et complète la fiche technique de l'ADCF n° 4.2.1 «Pâturage des vaches laitières: besoins en surface» (Mosimann et Stettler 2004).

Matériel et méthodes

Les mesures de croissance de l'herbe ont été réalisées le plus souvent en lien avec des essais de conduite du pâturage avec les bovins. Elles concernaient le plus souvent des pâturages pour vaches laitières, exploités de manière intensive à mi-intensive. Le dispositif de mesure consistait en deux bandes de 6 à 10 m² fauchées et pesées en alternance toutes les deux semaines. Une fertilisation azotée a été appliquée après chaque utilisation (apport maximal: 200 kg N/ha par année), à l'exception des zones d'estivage du Jura au-dessus de 1000 m, sans fumure, et de trois exploitations bio appliquant des engrais organiques en deux à trois apports par année. Les rendements en matière sèche des coupes réalisées durant toute la saison servaient au calcul standardisé de la croissance journalière de l'herbe (Corrall et Fenlon 1977; Mosimann 2001). Quelque 226 séries (année × site) de mesures, correspondant chacune à une courbe de croissance, ont été analysées. En tout, 46 communes ont été concernées, avec un nombre d'années de mesures pouvant varier de un à douze sur un même site. Le terme «courbe de croissance» décrit la variation du taux de croissance de l'herbe au fil de l'année. La saison de pâture peut être décomposée en quatre périodes principales, correspondant aux changements physiologiques de la végétation et aux variations météorologiques (fig. 2). Pour obtenir ces courbes, le programme R (*R Core Team*, 2015) a été utilisé, les taux de croissance journaliers ont été extrapolés pour la totalité de l'année grâce à la fonction de lissage *splines* (fonction *smooth.spline* du *package stats*). Pour analyser les facteurs de variation de la croissance de l'herbe, deux séries de variables ont été retenues. D'une part, les variables explicatives (ou variables climato-environnementales) ont servi au classement des courbes de croissance en catégories (tabl. 1). D'autre part, les variables de réponse décri-

Résumé ■ Pour planifier le chargement en bétail des pâturages, le calcul prévisionnel des besoins en surface s'appuie sur une appréciation du potentiel de production fourragère. La croissance de l'herbe a été mesurée depuis l'année 2000 dans divers pâturages intensifs à mi-intensifs du sud-ouest de la Suisse. La dynamique et l'amplitude annuelle de 226 courbes de croissance ont été analysées et mises en relation avec diverses variables climato-environnementales. Les valeurs mesurées ont été regroupées en catégories générales, donnant lieu à une typologie comportant deux tableaux. Le premier définit les dates des quatre périodes clés de la pâture («départ», «pic de croissance», «été», «automne») selon l'altitude et la précocité de la saison. Le second précise les taux de croissance de référence utiles au calcul du chargement. Quatre variables expliquent 32% de la variance totale. L'effet du «type botanique» étant diffus, seules la «classe d'altitude», la «profondeur du sol» et la «nature du climat» ont été retenues pour la typologie. Les taux de croissance de référence ont été calculés pour les quatre périodes et pour les trois variables retenues. La grande variabilité résiduelle indique cependant que la prise en compte de toutes les caractéristiques d'une prairie et du climat annuel est indispensable pour décrire précisément la croissance de l'herbe. Le développement d'un modèle agro-climatique devrait permettre d'améliorer la précision de l'estimation de la croissance de l'herbe pour un lieu et une année donnés.

Potentiel de production fourragère

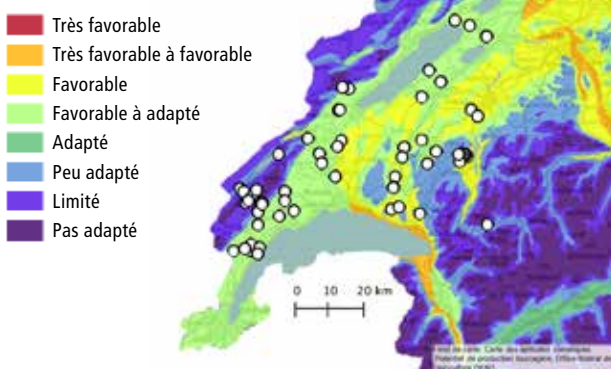


Figure 1 | Sites de mesures de la croissance de l'herbe de 2000 à 2015.

vant la dynamique et l'amplitude des courbes de croissance ont été utilisées pour délimiter les dates des quatre périodes, ainsi que pour fixer les valeurs de référence de croissance de l'herbe correspondantes. Leur calcul est brièvement expliqué dans le tableau 2.

L'indice de sécheresse, ou «déficit hydrique théorique», est souvent utilisé dans la pratique (Meisser et al. 2016). Il correspond à la différence entre les précipitations effectives et l'évapotranspiration potentielle. Il est calculé pour deux périodes du «départ de végétation à la fin du pic» et de la «fin du pic à la fin de l'été» (fig. 2). Il est calculé sur une base journalière selon la méthode suivante, avec ETC = évapotranspiration calculée selon la méthode

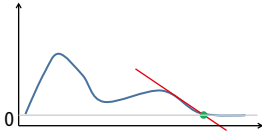
Tableau 1 | Variables explicatives utilisées pour établir la typologie des courbes de croissance.

Paramètres environnementaux	
Altitude	Altitude de la parcelle
Type de pâturage	Temporaire (semé) ou permanent
Graminée	% de graminées dans la composition botanique
Légumineuse	% de légumineuses dans la composition botanique
Botanique	Type botanique: «G» > 70 % de graminées; «E» 50 à 70 % de graminées; «L» > 50 % de légumineuses
Sol	Profondeur du sol (deux niveaux: superficiel et profond)
Paramètres climatiques*	
Précipitations annuelles	Précipitations totales cumulées durant l'année de mesure
Précipitations printemps	Précipitations cumulées du 1 ^{er} mars au 31 mai de l'année de mesure
Précipitations été	Précipitations cumulées du 1 ^{er} juin au 31 août de l'année de mesure
Température moyenne	Tmoy annuelle de l'année de mesure
Phénologie	Variable semi-quantitative décrivant la précocité de l'année (1= tardif 2=normal 3=précoce)
Indice de sécheresse printemps	Σ (précipitations-ETC) sur la phase de départ et pic
Indice de sécheresse été	Σ (précipitations-ETC) sur la phase d'été
Indice sécheresse relatif printemps	Indice de sécheresse printemps par rapport à sa moyenne de 30 ans
Indice sécheresse relatif été	Indice de sécheresse été par rapport à sa moyenne de 30 ans

*Les paramètres climatiques (1985–2015) ont été obtenus pour chaque site grâce aux données extrapolées par MétéoSuisse.
ETC: évapotranspiration calculée selon la méthode de Priestley-Taylor (1972).

Tableau 2 | Variables de réponse utilisées pour caractériser les courbes de croissance.

Paramètres utilisés pour définir les dates des quatre périodes du pâturage	
Départ	Date calculée par régression sur les mesures réalisées avant le pic
Pic	Extrapolation de la date du maximum de la courbe de croissance
Séparation «départ» et «pic»	Lorsque le taux de croissance avant le pic = 70 % du taux maximal
Séparation «pic» et «été»	Lorsque le taux de croissance après le pic = 70 % du taux maximal
Séparation «été» et «automne»	Date où le taux de croissance a atteint 70% de la moyenne de la croissance des périodes d'été et d'automne
Creux estival	S'il y a une «reprise» entre le pic et la fin de la période de végétation, date de croissance minimale
Deuxième pic en été	S'il y a une «reprise» entre le pic et la fin de la période de végétation, date de croissance maximale
Fin de la période de végétation	Date calculée par régression sur les dernières mesures qui présentent une pente négative



Paramètres utilisés pour expliquer la croissance	
Maximum au printemps	Extrapolation de la valeur maximale de la courbe de croissance
Minimum en été	S'il y a une «reprise» en fin de saison, taux minimal en été
Maximum en été	S'il y a une «reprise» entre le pic et la fin de la période de végétation, taux maximal entre le minimum en été et la fin de la période de végétation
Rendement annuel	Cumuls des croissances journalières entre le départ et la fin de la période de végétation
Croissance départ	Médiane des taux journaliers durant la période de départ
Croissance pic	Médiane des taux journaliers durant la période de pic
Croissance été	Médiane des taux journaliers durant la période d'été
Croissance automne	Médiane des taux journaliers durant la période d'automne
Reprise	Variable binaire pour savoir s'il y a une baisse estivale (creux) puis une «reprise» entre le pic et la fin de la période de végétation

Tableau 3 | Dates des quatre périodes de la pâture, selon l'altitude et la précocité de la période.

Altitude	Précocité	Départ	Pic	Été	Automne	Fin
< 600 m	précoce	13.03	10.04	14.05	29.08	04.11
	tardif	26.03	22.04	30.05	23.09	25.11
< 700 m	précoce	19.03	16.04	20.05	29.08	04.11
	tardif	01.04	28.04	03.06	23.09	25.11
< 800 m	précoce	25.03	22.04	25.05	29.08	04.11
	tardif	08.04	03.05	08.06	23.09	25.11
< 900 m	précoce	31.03	28.04	30.05	28.08	30.10
	tardif	15.04	08.05	13.06	22.09	20.11
< 1000 m	précoce	05.04	04.05	05.06	18.08	28.10
	tardif	22.04	13.05	17.06	14.09	16.11
< 1100 m	précoce	11.04	10.05	10.06	07.08	21.10
	tardif	28.04	19.05	22.06	05.09	09.11
> 1100 m	précoce	17.04	16.05	15.06	27.07	16.10
	tardif	05.05	24.05	27.06	28.08	06.11

de Priestley-Taylor (1972) et ajustée avec le coefficient de culture pour les pâturages ($k_c = 1,15$):

$$\text{Déficit hydrique théorique} = \sum_{(\text{période})} (\text{Précipitations} - \text{ETc}) \text{ [mm]}$$

Pour rendre compte du climat de l'année de mesure par rapport au climat moyen dans chaque site, une comparaison de ces indices a été réalisée avec leur moyenne sur 30 ans. Le «déficit hydrique théorique» a été calculé pour les 30 années passées pour les deux périodes «départ de végétation-fin du pic» et «fin du pic-fin de l'été» puis moyenné. La différence entre l'indice de l'année de mesure et sa moyenne des 30 ans correspond à un indice de sécheresse relatif.

Les corrélations entre les variables explicatives du tableau 1 ont été calculées, afin de réduire le nombre de paramètres utiles à une typologie des courbes de croissance. Des analyses de redondance (RDA), réalisées avec le *package vegan* du programme R ont servi à analyser la relation entre les variables des tableaux 1 et 2. Par la représentation simultanée des variables explicatives et de réponse, elles permettent d'établir le pouvoir explicatif de chacune d'elles (Legendre et Legendre 1998). Avant d'effectuer les RDA, toutes les variables ont été centrées et réduites (moyenne nulle, écart-type unitaire) pour permettre la comparaison de valeurs d'origine et d'échelle différentes. La significativité de chaque variable explicative et du modèle global obtenu par la RDA ont été testés *a posteriori* à l'aide d'ANOVA (*package vegan* de R).

Pour permettre de choisir au mieux les variables explicatives pour la typologie, trois RDA ont été réalisées.

- La première RDA a permis de tester toutes les variables explicatives du tableau 1 et de distinguer celles qui jouent un rôle prépondérant dans le modèle explicatif.
- La deuxième est basée sur la sélection de la meilleure combinaison de variables possible. Un choix par calculs automatisés (*forward selection*; Borcard 2011) a été réalisé. Cette méthode basée sur le critère d'Aikake permet de trouver par itérations la combinaison qui explique le maximum de variance pour un nombre restreint de variables.
- Une troisième RDA a été réalisée en se basant sur les résultats des deux analyses précédentes. Les variables ayant le plus grand pouvoir explicatif et qui sont facilement disponibles par les agriculteurs ont été choisies, puis transformées en variable de classes pour former la typologie finale. Cette RDA a permis de connaître quelle part de la variance est expliquée par ce modèle final.

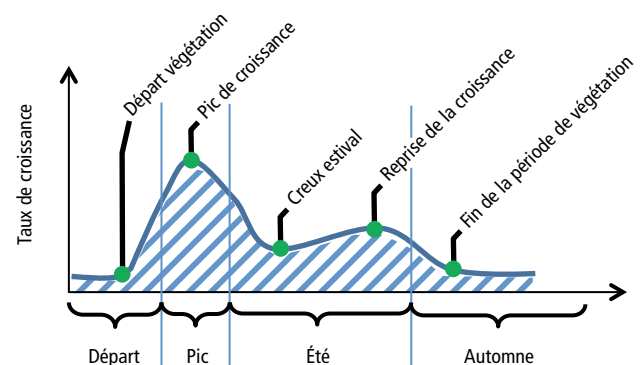


Figure 2 | Les quatre périodes (en abscisse) et les événements clés de la saison de pâture.

Tableau 4 | Résultats ANOVA des variables explicatives utilisées dans les trois RDA.

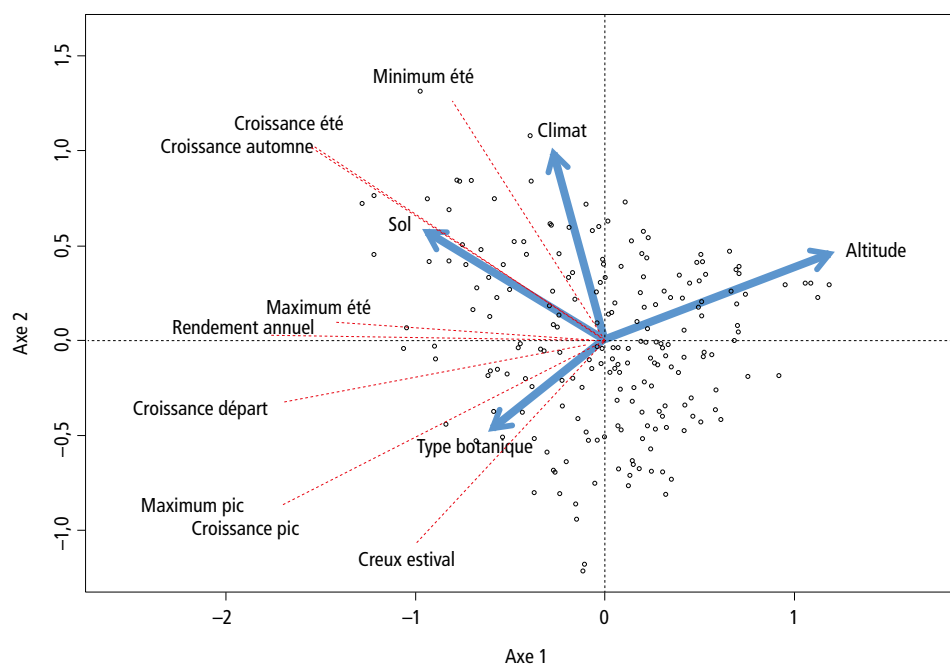
	RDA1				RDA2				RDA3			
	Variance	F	P		Variance	F	P		Variance	F	P	
Altitude (valeurs continues)	25,55	82,50	< 0,001	***	24,45	81,41	< 0,001	***				
Altitude (paliers de 100 m)									23,39	71,88	< 0,001	***
Sol	3,55	11,51	< 0,001	***	2,99	9,95	< 0,001	***	3,90	11,98	< 0,001	***
Botanique	1,08	3,52	0,018	*	1,07	3,55	0,018	*	1,22	3,74	0,015	*
Climat (trois classes)									3,26	10,02	0,001	**
Indice sécheresse été	3,49	11,34	< 0,001	***	6,24	20,76	< 0,001	***				
Indice sécheresse relatif été	0,44	1,42	0,218	ns	0,90	2,99	0,041	*				
Précipitations en été	3,49	11,32	< 0,001	***	1,67	5,56	0,002	**				
Précipitations au printemps	0,26	0,85	0,422	ns								
Indice sécheresse printemps	0,75	2,45	0,066	ns								
Indice sécheresse relatif printemps	0,97	3,15	0,037	*								
Type de pâturage	1,28	4,16	0,014	*								
Phénologie	0,31	1,00	0,361	ns								
Variance expliquée	41,17				37,31				31,76			

Résultats

Détermination des dates clés de la saison de pâture

A l'aide des variables de réponse définies dans le tableau 2, les dates délimitant les quatre périodes «départ», «pic», «été», «automne» (fig. 2) ont été obtenues pour chacune des 226 séries de mesures. Leur variabilité a été examinée au sein de chacune des classes d'altitude à l'aide de *box plots*. Les années précoces et tardives correspondent aux données se situant de part et d'autre de la date médiane.

Les 1^{er} et 3^e quartiles (limites inférieure et supérieure de la boîte) ont été considérés comme les dates moyennes des années précoces et des années tardives. L'espace interquartile représente l'écart moyen entre années précoces et années tardives et correspondait à 12–13 jours (toutes altitudes confondues). De plus, un décalage d'environ six jours par 100 m d'altitude a été constaté. Le tableau 3 présente les résultats obtenus, avec l'échelonnement des périodes. Selon Vuffray *et al.* (2016), les suivis phénologiques réalisés au cours des vingt dernières années


Figure 3 | Biplot illustrant la projection des variables explicatives (bleu) et de réponse (rouge).

dans les prairies de fauche en Suisse romande révélait un écart moyen des dates d'épiaison du dactyle (*Dactylis glomerata*) de 18 jours entre les années les plus tardives et les plus précoces, ainsi qu'un décalage moyen de cinq jours par 100 m d'altitude.

Sélection des variables explicatives

Les corrélations ($n=226$) entre les variables «altitude» et «précipitations totales annuelles» ($r=0,82$), ainsi qu'entre l'«altitude» et la «température moyenne annuelle»

($r=0,84$) sont significatives ($p<0,001$), attestant des conditions plus froides et plus humides en montagne. Ainsi, seule l'«altitude» a été prise en compte pour les analyses qui suivent. Les variables «pourcentage de légumineuses» et «pourcentage de graminées» n'ont pas été retenues, car ces informations ne sont disponibles que pour un trop petit nombre de séries de mesures. En revanche, elles sont corrélées à la variable «type botanique».

La première RDA a été réalisée avec l'ensemble des variables explicatives du tableau 1. Elle expliquait de ma-

Tableau 5 | Taux moyen de croissance de l'herbe pour les quatre périodes de la pâture et rendement annuel en matière sèche, selon l'altitude, le sol et le climat.

Altitude (m)	Sol (profondeur)	Climat (humidité)	Taux de croissance (kg MS/ha/j)				Rendement annuel (kg MS/ha)
			Départ	Pic	Été	Automne	
< 600	superficiel	sec	30	65	40	15	8754
< 600	superficiel	normal	35	70	40	20	9455
< 600	superficiel	humide	40	70	55	30	12026
< 600	profond	sec	30	80	45	15	9846
< 600	profond	normal	40	85	55	20	11797
< 600	profond	humide	40	85	65	35	14055
< 700	superficiel	sec	25	60	35	15	7648
< 700	superficiel	normal	30	65	40	20	8873
< 700	superficiel	humide	35	65	50	30	10835
< 700	profond	sec	30	75	45	15	9372
< 700	profond	normal	30	80	50	20	10460
< 700	profond	humide	35	85	65	35	13510
< 800	superficiel	sec	20	55	30	15	6591
< 800	superficiel	normal	25	60	35	15	7402
< 800	superficiel	humide	30	60	45	25	9300
< 800	profond	sec	30	65	40	15	8212
< 800	profond	normal	30	70	50	15	9395
< 800	profond	humide	30	75	55	25	10827
< 900	superficiel	sec	20	45	30	15	6080
< 900	superficiel	normal	20	55	30	15	6418
< 900	superficiel	humide	25	55	40	20	7895
< 900	profond	sec	25	55	35	15	7027
< 900	profond	normal	30	60	45	15	8284
< 900	profond	humide	30	70	50	25	9878
< 1000	superficiel	sec	15	40	25	15	5030
< 1000	superficiel	normal	15	50	30	15	5768
< 1000	superficiel	humide	20	50	35	15	6300
< 1000	profond	sec	20	55	30	10	5629
< 1000	profond	normal	20	60	40	15	7038
< 1000	profond	humide	25	60	45	25	8433
< 1100	superficiel	sec	10	35	20	10	3505
< 1100	superficiel	normal	10	45	25	10	4164
< 1100	superficiel	humide	15	45	30	10	4620
< 1100	profond	sec	15	50	30	10	4782
< 1100	profond	normal	20	60	30	10	5230
< 1100	profond	humide	20	60	45	15	6624
> 1200	superficiel	sec	10	30	15	5	2410
> 1200	superficiel	normal	10	40	20	5	2989
> 1200	superficiel	humide	10	40	25	5	3250
> 1200	profond	sec	15	35	25	5	3210
> 1200	profond	normal	10	45	30	10	4104
> 1200	profond	humide	15	55	40	10	5063

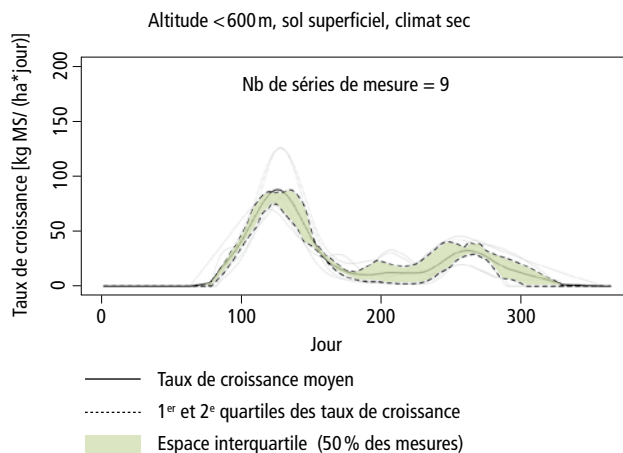


Figure 4 | Variabilité des mesures au sein d'une catégorie proposée dans la typologie.

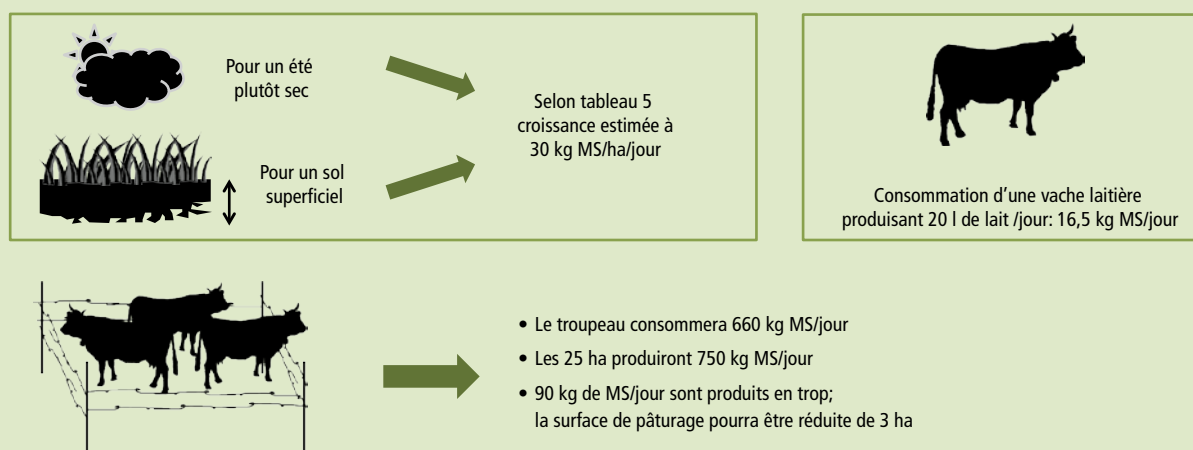
nière significative (avec α fixé à 0,05) 41 % de la variance totale des données de croissance. Elle a permis de vérifier le poids de chacune des variables. Testées avec une ANOVA (tabl. 4), les variables expliquant de manière significative la dispersion des résultats étaient l'«altitude» (25 % de la variance), ainsi que la classe de «sol», la «somme des précipitations en été» et l'«indice sécheresse cumulé en été» (environ 3 % de la variance chacune). Seules les variables climatiques de l'été semblaient jouer un rôle significatif sur l'amplitude du taux de croissance. Le climat au printemps a seulement influencé la temporalité du pic. Les résultats de la seconde RDA effectuée sur les variables choisies par la *forward selection* expliquaient 37 % de la variance des variables décrivant les courbes de croissance

(tabl. 4), ce modèle explique de manière significative la dispersion des variables de réponse (avec α fixé à 0,05). La principale variable explicative était toujours l'«altitude» (24,5 % de la variance). Les autres variables sélectionnées sont la classe de profondeur de sol, le type botanique, l'indice de sécheresse en été, l'indice de sécheresse relatif en été, et les précipitations en été; elles ont joué un rôle complémentaire important puisqu'elles étaient toutes significatives.

La troisième RDA a été réalisée avec un nombre réduit des variables. Ainsi, les «précipitations cumulées en été» et «l'indice de sécheresse en été» ont été mis de côté, car redondants avec l'«indice sécheresse relatif en été». Ce dernier ne pouvant pas être facilement obtenu par les agriculteurs, il a été transformé en variable de classe nommée «climat». Au final, quatre variables explicatives ont été testées:

- Altitude: sept classes échelonnées par paliers de 100 m (tabl. 3).
- Climat: trois classes: «humide», «normal» et «sec». La classe «normal» correspondait à un indice de sécheresse relatif en été compris entre -75 (mm cumulés) et $+75$ (mm cumulés). Les valeurs inférieures correspondaient à «sec» et celles supérieures à «humide». Cette variable qui décrit aussi bien le climat de la saison que le climat moyen du site permet de laisser une liberté d'interprétation à l'utilisateur de la typologie.
- Sol: deux classes de profondeur: >80 cm et <80 cm.
- Type botanique: trois classes de composition botanique: «G» >70 % de graminées; «E» 50 à 70 % de graminées; «L» >50 % de légumineuses (Daccord et al. 2006).

Exemple d'utilisation de la typologie pour un pâturage de vaches laitières situé à 730 m d'altitude



Voir calculatrice de surface sur <https://croissancepaturages.shinyapps.io/croissance/>

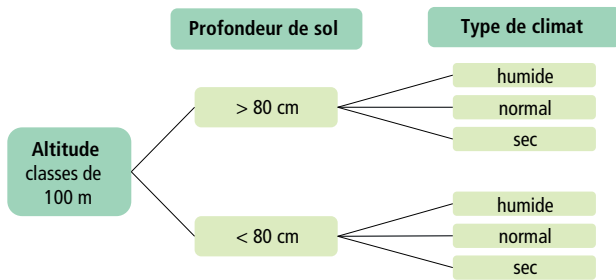


Figure 5 | Arborescence des paramètres utilisés dans la typologie de la croissance de l'herbe.

Le modèle final ainsi retenu expliquait 32 % de la variance des variables décrivant les courbes de croissance (tabl. 4). Les quatre variables explicatives ont toutes permis d'expliquer la variance de manière significative. Celle ayant le pouvoir explicatif le plus élevé était la classe d'altitude (23,4 %) suivie de la classe de sol (3,9 %), du climat (3,2 %) puis du type botanique (1,2 %). En revanche, le fait d'avoir pris des variables de classe (à l'opposé des variables continues) et d'avoir enlevé des variables peu pratiques a fortement diminué la puissance du modèle qui explique toutefois toujours la variance de manière significative (avec α fixé à 0,05).

Dans la figure 3, la projection des séries de mesures a été effectuée sur un plan dont les deux axes représentaient à eux seuls 31,6 % des variables décrivant les courbes

de croissance. La validité du modèle explicatif est ainsi confortée. Notamment, le rendement total annuel était corrélé négativement avec la classe d'altitude et positivement avec la profondeur du sol. Outre le fait de conforter le choix des variables pour la typologie, la RDA a montré d'autres faits intéressants, par exemple la grande corrélation entre la part de graminées et le taux de croissance au pic et le fait qu'il y ait une reprise à l'automne. On peut donc formuler l'hypothèse que pour les sites de plaine c'est surtout grâce aux graminées qu'il y a des pics importants au printemps et à l'automne.

Finalement, la comparaison des courbes de croissance au sein de chaque catégorie de la typologie montre que la dispersion des mesures autour de la moyenne reste modeste avec une distance interquartile d'environ 20 kg MS/ha/jr durant la période de végétation (fig. 4).

Proposition de typologie de la croissance de l'herbe

Pour faciliter le classement et l'utilisation des données, l'effet modéré du type botanique sur les variables de réponse n'a pas été pris en compte. La typologie s'appuie dès lors sur les paramètres présentés dans la figure 5. Elle comprend sept classes d'altitude, deux classes de profondeur de sol et trois classes de climat, correspondant à un total de 42 séries de valeurs. Les taux de croissance ont été moyennés pour chaque période (départ, pic, été, automne), donnant quatre valeurs par série. Les

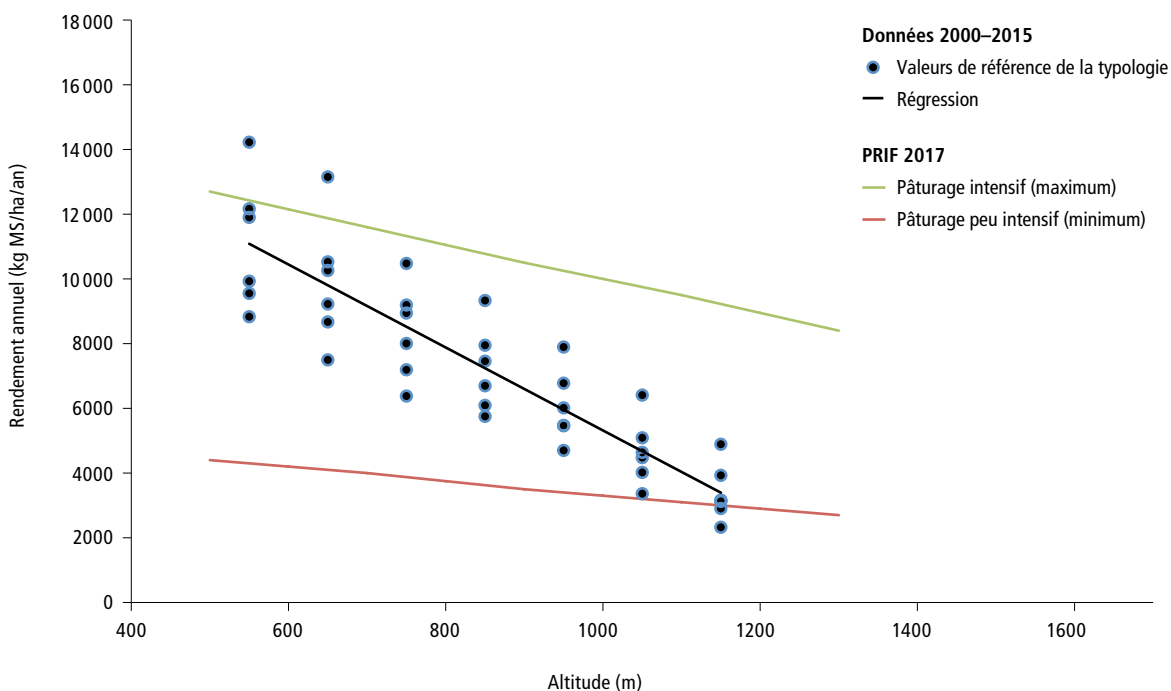


Figure 6 | Relations entre altitude et rendement annuel des pâturages, comparaison avec les valeurs proposées dans les principes de fertilisation PRIF 2017 (Huguenin *et al.* 2017).

taux moyennés ont parfois été corrigés pour avoir des écarts réguliers entre les séries. Pour certaines d'entre elles, aucune donnée n'était disponible et les valeurs ont été extrapolées. Les données ont ensuite été arrondies au multiple de cinq le plus proche et reportées dans le tableau 5. Ces résultats permettent d'affiner la première typologie faisant référence jusqu'à présent (Mosimann 2001). La quantité de données récoltées depuis 2000 a permis d'étudier et quantifier le pouvoir explicatif des conditions de pousse et de proposer une classification plus détaillée et utilisable dans la pratique.

Rendement annuel

Le rendement annuel a été calculé en sommant les croissances cumulées au cours de chacune des quatre périodes, dont la durée, en jours, provient du tableau 3. Quelle que soit la classe d'altitude, les différences de rendement entre années précoces et tardives étaient très faibles (écart maximal de 400 kg MS/ha/année). Les moyennes de ces deux valeurs sont reportées dans le tableau 5. Elles ont été comparées avec les rendements annuels donnés dans les principes de fertilisation (Huguenin *et al.* 2017). Selon toute attente, le rendement diminue avec l'altitude. Cette diminution est plus rapide dans le cadre de cette étude que celle décrite pour la fertilisation des pâturages (fig. 6). Cette différence peut être expliquée par des températures plus basses dans le sud-ouest de

la Suisse pour une même altitude. Une autre spécificité des montagnes du Jura est la présence d'un sous-sol drainant et de sols souvent peu profonds. Enfin, l'intensité d'exploitation diminue avec l'augmentation d'altitude, en particulier dans les zones d'estivage situées au-delà de 1000 mètres, privées de toute fertilisation.

Conclusions

Cette étude a permis d'améliorer la typologie existante des pâturages et ainsi de donner des taux de croissance de référence pour différentes classes d'altitude, de sols et de climats. Ces données sont utiles pour calculer le chargement idéal du pâturage en fonction des conditions de pousse de l'herbe et ainsi optimiser l'utilisation des herbages. En revanche, cette étude pointe du doigt la grande variabilité des rendements et de la dynamique de la croissance au fil de la saison de pâture. On observe aussi des différences entre les données de la zone d'étude (sud-ouest de la Suisse) et le reste du pays. Une estimation fine des taux de croissance ne peut se faire qu'en prenant en compte la totalité des paramètres influant sur la pousse de l'herbe. Le développement d'un modèle agroclimatique devrait permettre d'améliorer la précision de l'estimation de la croissance de l'herbe pour un lieu et une année donnés (Calanca *et al.* 2016). ■

Remerciements

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme pilote Adaptation aux changements climatiques, soutenu par l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG). Elle a également bénéficié de l'appui du canton de Vaud, sous les auspices du projet Progrès-herbe.

Riassunto**Tipologia di produzione dei pascoli**

Per pianificare il carico di bestiame sui pascoli, il calcolo previsionale del fabbisogno di superficie si basa su una valutazione del potenziale di produzione foraggera. La crescita dell'erba è stata misurata dal 2000 in diversi pascoli intensivi e medio intensivi situati nel sud ovest della Svizzera. Sono state analizzate la dinamica e l'ampiezza annuale di 226 curve di crescita mettendole in relazione ad altre variabili climatiche e ambientali. I valori misurati sono stati raggruppati in categorie generali che hanno generato una tipologia che comporta due tabelle. La prima definisce le date dei quattro periodi chiave del pascolo («inizio», «apice della crescita», «estate», «autunno») secondo l'altitudine e la precocità della stagione. La seconda evidenzia i tassi di crescita di riferimento utili al calcolo del carico. Quattro variabili spiegano il 32 % della varianza totale. Siccome la variabile del «tipo botanico» non è chiaramente definibile, per la tipologia sono state mantenute solo le variabili «classe di altitudine», «profondità del suolo» e «natura del clima». I tassi di crescita di riferimento sono stati calcolati per i quattro periodi e per le tre variabili mantenute. Tuttavia, la grande variabilità residua indica che tenere conto di tutte le caratteristiche di un prato e del clima annuale è essenziale per descrivere accuratamente la crescita dell'erba. Lo sviluppo di un modello agroclimatico dovrebbe consentire di migliorare la precisione della stima della crescita dell'erba per un determinato luogo e per un dato anno.

Bibliographie

- Borcard D., Gillet F. et Legendre P., 2011. Numerical Ecology with R. Springer Science & Business Media, 175–180.
- Calanca P., Deléglise C., Martin R., Carrère P. & Mosimann E., 2016. Testing the ability of a simple grassland model to simulate the seasonal effects of drought on herbage growth. *Field Crops Research* **187**, 12–23.
- Corral A. J. & Fenlon J. S., 1977. A comparative method for describing the seasonal distribution of production from grasses. *J. agric. Sci. Camb.* **91**, 61–67.
- Daccord R., Wyss U., Jeangros B. & Meisser M., 2006. Estimation de la valeur du fourrage des prairies – Valeurs nutritives et production de lait ou de viande. Fiche technique ADCF-AGRIDEA 2.7.1.
- 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. 9/1-9/22.
- Legendre L. & Legendre P., 1998. Numerical ecology. 2nd English Edition. Elsevier, Amsterdam.

Summary**Typology of pasture production**

When planning stocking density on pasture, the preliminary calculation of the surface-area requirement is based on an estimate of the forage production potential. Since the year 2000, grass growth has been measured in various intensively-to-semi-intensively-managed grasslands in the southwest of Switzerland. The dynamism and amplitude over the course of the year of 226 growth curves were analysed and correlated with various climatic and environmental parameters. The measured values were grouped into general categories leading to a typology comprising two tables. The first of these defines the dates of the four key grazing periods (“beginning”, “peak”, “summer”, “autumn”) according to the altitude and precocity of the growing season. The second stipulates the benchmark growth rates useful for calculating stocking density. Four variables explain 32 % of the total variance. Since the effect of the “botanic composition” variable cannot be clearly defined, only “altitude”, “soil depth” and “climate” were retained to describe the typology. The benchmark growth rates were calculated for the four periods and three variables that were retained. Nevertheless, the high residual variability shows that consideration of all the characteristics of a meadow and the climatic conditions over the year are indispensable for the precise description of grass growth. The development of an agro-climatic model should allow us to estimate grass growth for a given place and year more accurately.

Key words: grassland, pasture, yield, modelling.

- Meisser M., Deléglise C., Stévenin L. & Mosimann E., 2015. Évènements de sécheresse: caractérisation et effets sur les services agronomiques des prairies. *Recherche Agronomique Suisse* **6** (9), 400–407.
- Mosimann E. & Stettler M., 2004. Pâturage des vaches laitières – Besoins en surface. Fiche technique ADCF-AGRIDEA 4.2.1., 2 p.
- Mosimann E., 2001. Croissance des herbages. Méthodes de mesure et applications pratiques. *Revue suisse Agric.* **33** (4), 163–167.
- Mosimann E., 2005. Caractéristiques des pâturages pour vaches laitières dans l'ouest de la Suisse. *Revue suisse Agric.* **37** (3), 99–106.
- Priestley C. H. B. & Taylor R. J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Mon. Wea. Rev.* **100**, 81–92.
- R Core Team. 2015. «R: A language and environment for statistical computing». Version 3.1.3. Vienne, Autriche: R Foundation for Statistical Computing.
- Vuffray Z., Amaudruz M., Deléglise C., Jeangros B., Mosimann E. & Meisser M., 2016. Développement phénologique des prairies de fauche – 21 ans d'observations. *Recherche Agronomique Suisse* **7** (7–8), 322–329.