

Développement phénologique des prairies de fauche – 21 ans d'observations

Zoé Vuffray¹, Claire Deléglise¹, Michel Amaudruz², Bernard Jeangros³, Eric Mosimann¹ et Marco Meisser¹

¹Agroscope, Institut des sciences en production animale IPA, 1260 Nyon, Suisse

²Agridea Lausanne, 1000 Lausanne 6, Suisse

³Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV, 1260 Nyon, Suisse

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



Figure 1 | La floraison précoce de la cardamine des prés annonce le printemps dans les prairies de fauche. Le développement phénologique printanier de l'herbe est de plus en plus précoce et sujet à de plus grandes variations qu'il y a vingt ans. (Photo: Eric Mosimann)

Introduction

Retour sur 21 ans d'enquêtes phénologiques

La valeur nutritive du fourrage diminue à mesure que les plantes se développent au printemps (Demarquilly et Andrieu 1988). Cette baisse de qualité s'explique par le vieillissement des tissus ainsi que par les changements morphologiques qui surviennent au cours du cycle de végétation. La phénologie, qui décrit la réalisation des

stades de croissance chez les plantes, constitue dès lors un bon indicateur pour estimer la valeur nutritive du fourrage sans analyse chimique. C'est pour cela que depuis 1995, Agridea et Agroscope coordonnent chaque printemps un suivi du développement phénologique des prairies, sur un réseau d'environ 80 parcelles en Suisse romande. Les résultats sont publiés en fin d'année par

l'ADCF (Amaudruz *et al.* 2015). Ils permettent ensuite, grâce au tableau de Daccord *et al.* (2006), d'estimer la qualité du fourrage des prairies de fauche selon sa composition botanique et son mode de conservation. Après 21 ans d'enquêtes, plus de 11 900 suivis (combinaisons «parcelle × année × espèce») ont été réalisés dans 220 communes (fig. 2).

Dans un premier temps, ces données ont servi à évaluer la robustesse de la méthode de calcul du stade moyen des prairies et à la mettre à jour.

Dans un deuxième temps, ces données ont permis l'analyse de l'évolution récente du développement phénologique des prairies. L'observation de ces modifications phénologiques permet, avec une mesure simple et unique, d'évaluer la réaction directe de la végétation aux variations des multiples paramètres météorologiques et ainsi d'appréhender les effets du changement climatique.

Matériel et méthodes

Relevés phénologiques

Les observations ont été réalisées sur des prairies permanentes et temporaires situées entre 380 et 1700 m d'altitude durant quatre à neuf semaines. Les parcelles suivies ont été choisies sur terrain plat pour bénéficier d'un rayonnement similaire. Elles sont réparties selon dix zones thermiques (fig. 2) définies par Schreiber *et al.* (1977) sur la base du développement de plusieurs espèces végétales et de la topographie. Deux échelles phénologiques (tabl. 1) ont été utilisées pour décrire l'avancement du développement de cinq graminées et de cinq dicotylédones.

Résumé ■ Au printemps, le développement phénologique des prairies influence la qualité du fourrage, en particulier l'évolution de la digestibilité de la matière organique. Ainsi, l'observation de la phénologie facilite la gestion des prairies lors de la première pousse. Comme le développement de la végétation dépend fortement des conditions météorologiques, les suivis phénologiques conduits sur une longue période permettent aussi d'appréhender l'impact du changement climatique sur la végétation. Cette étude a pour but i) de mettre à jour la méthode servant à établir le stade phénologique moyen d'une prairie en considérant plusieurs espèces et ii) d'étudier les changements de précocité des prairies survenus entre 1995 et 2015. Les résultats de cette étude montrent que la première pousse de l'herbe est de plus en plus précoce en plaine (date de pleine épiaison avancée de deux à trois jours tous les dix ans) et que l'alternance entre printemps très précoces et très tardifs est devenue plus fréquente. Ces changements soulignent l'importance de suivre le développement phénologique des prairies dans leur ensemble, notamment à l'aide de la méthode proposée dans cet article.

Tableau 1 | Echelle décrivant les stades de développement phénologique pour les dicotylédones et les graminées

Stade	Graminées	Dicotylédones*
1	Tallage-début de montaison	Rosette (la majorité des plantes ont développé trois feuilles)
2	Montaison (les épis montent chez 50% des plantes)	Boutons floraux (visibles chez 50% des plantes)
3	Début épiaison (quelques épis visibles)	Montaison (les boutons floraux montent chez 50% des plantes)
4	Pleine épiaison (50% des plantes avec épis)	Début de floraison (10% des plantes fleurissent)
5	Fin épiaison (90% des plantes avec épis)	Pleine floraison (50% des plantes fleurissent)
6	Pleine floraison (50% des plantes fleurissent)	Fin floraison (flétrissement)
7	Fructification (50% des plantes avec fruit)	Fructification (50% des plantes avec fruit)
8	Dispersion des graines	Dispersion des graines

*Stade 2 inutilisé pour les dicotylédones formant le bouton après la montaison (ex. renoncule âcre, anthriscus sauvage et trèfle violet).

Stade moyen d'une prairie

Le stade moyen des prairies permanentes est difficile à déterminer en raison de la vitesse de développement variable des nombreuses espèces qui les composent. Pour remédier à ce problème et rendre possible des comparaisons entre prairies, les stades observés des dix espèces de référence sont standardisés. Ils sont transposés en «stade équivalent dactyle» (SED), c'est-à-dire en stade qu'aurait le dactyle (*Dactylis glomerata*) lors de l'observation. Jusqu'à présent, la transposition s'effectuait grâce à neuf équations obtenues par des régressions linéaires mettant en relation le stade du dactyle et celui des neuf espèces de référence. Ces équations ont été établies sur la base des observations de 1990 à 1994 (Jeangros et Amaudruz 2005). Le stade moyen de la prairie correspond à la moyenne des SED, c'est-à-dire des observations standardisées de toutes les espèces suivies.

Dans un premier temps, la méthode de Jeangros et Amaudruz (2005) a été évaluée avec les observations réalisées entre 1995 et 2015 pour vérifier si elle est applicable dans toutes les conditions climatiques de Suisse romande. Pour cela, les paramètres (pente et intercept) des équations de référence ont successivement été soumis à des ANOVA (ou aux tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis) pour tester s'ils étaient différents de leur moyenne lors d'années spécifiques ou dans des zones thermiques particulières.

Dans un deuxième temps, et pour affiner la méthode existante, de nouvelles équations ont été formulées en considérant les 21 années d'observation. La précision devrait être améliorée, car le développement des espèces tardives et précoces est mieux pris en compte, notamment grâce à l'introduction d'équations du 2^e ou 3^e degré et à l'adoption de deux nouvelles espèces de référence. De plus, les équations ont été différenciées pour les prairies permanentes et les prairies temporaires.

Analyse des changements phénologiques

Une analyse de tendance de la date de réalisation de la pleine épiaison (stade 4, tabl. 1) a été menée sur les prairies permanentes du réseau. Ce stade est un repère important pour la gestion des prairies car la diminution de la digestibilité s'y accentue considérablement. A cet effet, les stades observés ont été transformés en SED avec les nouvelles équations. Le meilleur modèle de régression a été choisi à l'aide du critère d'Akaike, pour décrire l'évolution phénologique moyenne de chaque parcelle (choix entre les fonctions polynomiales du 1^{er}, 2^e et 3^e degré). Les dates de réalisation de pleine épiaison ont été déterminées pour chaque parcelle

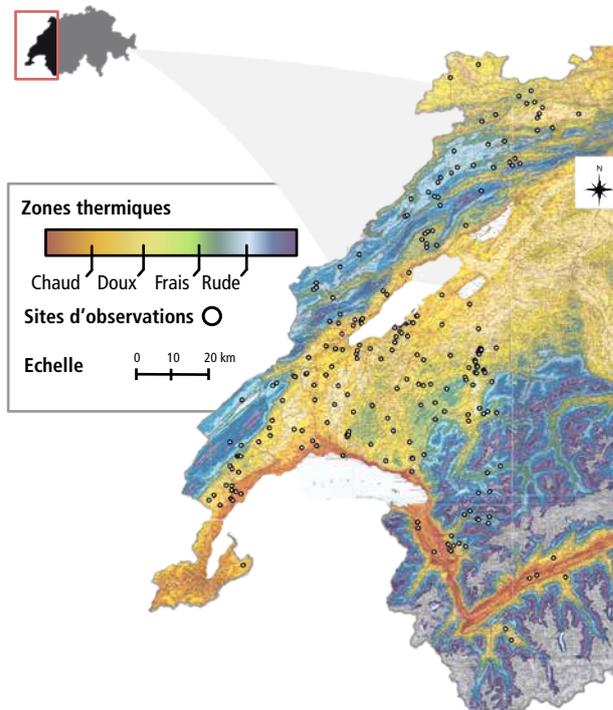


Figure 2 | Localisation des suivis phénologiques réalisés entre 1995 et 2015 (certains sites sont suivis sur plusieurs années). Les couleurs de la carte indiquent les zones thermiques définies par Schreiber et al. (1977).

grâce à ces régressions et une étude de tendance de ces dates a été réalisée sur la période 1995 à 2015 selon la méthode de Theil-Sen (Theil 1992; Sen 1968). La significativité de ces tendances a ensuite été testée grâce au test de Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1948). Finalement, une analyse de variance des dates de réalisation du stade pleine épiaison a été réalisée grâce au test de Bartlett.

Résultats et discussion

Mise à jour de la méthode du «stade équivalent dactyle» (SED)

Pour la majorité des espèces de référence, aucun changement de paramètre des équations SED n'a pu être mis en évidence ni lors de printemps particuliers ni dans certaines zones thermiques. Autrement dit, quels que soient l'année ou le lieu, le développement relatif de la majorité des espèces suivies est resté le même. Pour la majorité des espèces, le développement phénologique n'a pas été accéléré ou retardé par rapport au dactyle. Seule la dent-de-lion (*Taraxacum officinale*) présente des changements de paramètres certaines années ou dans

certaines zones thermiques. Ce constat peut s'expliquer par la période très étendue de floraison de cette espèce ainsi que l'existence de nombreux écotypes de précocités différentes. En excluant la dent-de-lion, la méthode SED peut être considérée comme robuste pour l'amplitude climatique rencontrée dans les zones thermiques de l'étude ces 21 dernières années.

A l'exemple du pâturin commun (fig. 3), les régressions construites sur les données de 1995 à 2015 sont légèrement différentes des équations établies en 1994, notamment sous l'effet du nombre accru d'observations (effet atténué des observations marginales). Pour ces raisons, nous proposons d'utiliser à l'avenir ces nouvelles équations construites sur 21 années d'observation. Elles reposent sur des régressions du 2^e et 3^e degré qui reflètent mieux la phénologie des espèces dont le développement est précoce ou tardif. Les nouvelles équations établies pour onze espèces des prairies permanentes sont listées dans le tableau 2.

Les équations du tableau 2 ne peuvent pas être utilisées pour les prairies temporaires, car le développement de celles-ci est plus tardif que celui des prairies permanentes (fig. 4). Ce retard, notamment pour le dactyle, a été privilégié dans la sélection variétale et la composition des mélanges standards pour allonger la période d'utilisation des prairies (Mosimann et Charles 1996). Aussi, de nouvelles équations SED sont-elles proposées pour les prairies temporaires. A l'heure actuelle, seules les observations de quatre espèces sont en nombre suffisant pour établir de telles équations (tabl. 3).

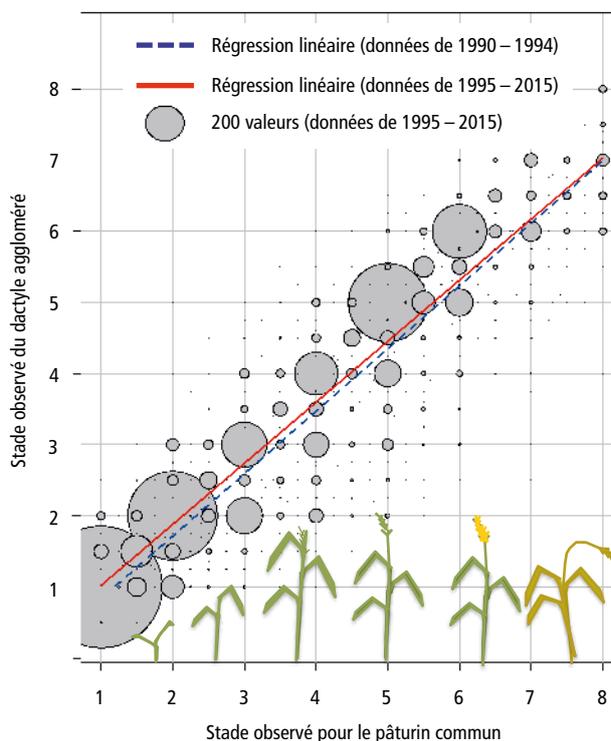


Figure 3 | Relation entre les stades du dactyle et du pâturin commun. En bleu: régression établie en 1994 (Jeangros et Amaudruz 2005). En rouge: régression établie en 2015 (1755 observations, $R^2 = 0,84$, $y = 0,858x - 0,162$) sur les observations de 1995 à 2015, représentées par les points gris (leur taille est proportionnelle au nombre de valeurs).

Tableau 2 | Nouvelles équations «stade équivalent dactyle» pour les prairies permanentes

Nom commun	Nom latin	Equation ($y = \text{stade équivalent dactyle}$, $x = \text{stade espèce}$)	R^2
Dent de Lion	<i>Taraxacum officinale</i>	$y = 0,096x^2 - 0,324x + 1,395$	0,74
Pâturin commun	<i>Poa trivialis</i>	$y = 0,858x + 0,162$	0,84
Fléole	<i>Phleum pratense</i>	$y = -0,158x^2 + 2,174x - 0,411$	0,74
Trèfle violet	<i>Trifolium pratense</i>	$y = 0,898x + 0,504$	0,85
Marguerite	<i>Leucanthemum vulgare</i>	$y = 1,006x - 0,070$	0,77
Vulpin des prés	<i>Alopercurus pratensis</i>	$y = 0,109x^2 - 0,206x + 1,214$	0,77
Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne</i>	$y = 0,907x + 0,384$	0,84
Anthriscue sauvage	<i>Anthriscus sylvestris</i>	$y = 0,089x^2 + 0,035x + 0,929$	0,83
Renoncule âcre	<i>Ranunculus acris friesianus</i>	$y = 0,085x^2 + 0,092x + 0,801$	0,84
Flouve odorante	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	$y = 0,032x^3 - 0,239x^2 + 0,560x + 0,787$	0,82
Cardamine des prés	<i>Cardamine pratensis</i>	$y = 0,762x - 1,786$	0,52

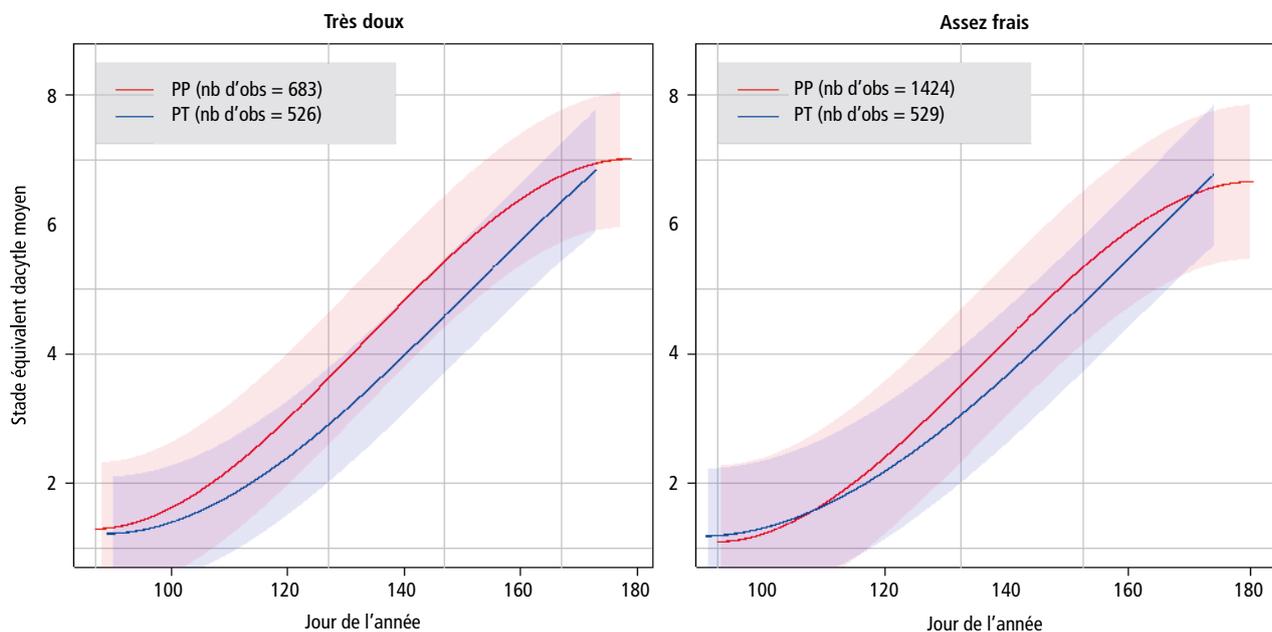


Figure 4 | Comparaison du développement phénologique moyen (1995–2015) des prairies temporaires (PT) et permanentes (PP) et de leur intervalle de prédiction (surfaces colorées) pour deux zones thermiques.

Les régressions obtenues pour les prairies temporaires (tabl. 3) présentent la même qualité d’ajustement que celles proposées pour les prairies permanentes, malgré le fait que des variétés de précocités différentes peuvent être préconisées dans les mélanges standards. La variabilité de réalisation du stade de pleine épiaison des prairies temporaires est identique à celles des prairies permanentes, comme le montrent les intervalles de prédiction des graphes de la figure 4.

Un printemps plus précoce en plaine

L’analyse des données des 21 années montre une tendance vers une date de pleine épiaison de plus en plus précoce dans les zones thermiques tempérées. La figure 5 illustre les tendances observées et le tableau 4 présente l’avancement en jours par décennie et sa significativité pour chaque zone thermique.

Les résultats pour les zones les plus chaudes concordent avec les tendances observées dans d’autres études réalisées en Suisse (Studer *et al.* 2005) et en Europe (Menzel *et al.* 2006; Parmesan et Yohe 2003). La hausse des températures de l’air enregistrée par MétéoSuisse (Rebetez et Reinhard 2007) pourrait expliquer ces changements, car ce paramètre détermine en grande partie le développement des plantes au printemps (Menzel 2003). Le tableau 4 montre en revanche que la date de pleine épiaison présente des tendances non significatives pour les régions de montagne (zones Assez frais, Très frais, Assez rude et Rude). Studer *et al.* (2005) ont observé en Suisse des tendances significatives montrant un avancement du développement phénologique printanier quelle que soit l’altitude sur la période 1951–2002. Il est très probable qu’en multipliant les observations en altitude et en prenant une période d’étude plus longue,

Tableau 3 | Nouvelles équations «stade équivalent dactyle» pour les prairies temporaires

Nom commun	Nom latin	Equation ($y = \text{stade équivalent dactyle}$, $x = \text{stade espèce}$)	R ²
Vulpin des prés	<i>Alopercurus pratensis</i>	$y = 0,071 x^2 - 0,098 x + 1,496$	0,57
Fléole	<i>Phleum pratense</i>	$y = -0,121 x^2 + 2,03 x - 0,868$	0,85
Trèfle violet	<i>Trifolium pratense</i>	$y = 1,007 x + 0,377$	0,82
Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne</i>	$y = 0,992 x + 0,025$	0,86

les tendances phénologique des prairies soient aussi significatives et similaires aux tendances présentées dans le travail de Studer *et al.*

Davantage de printemps très précoces ou tardifs

Un autre constat de cette étude est que la dispersion des dates de pleine épiaison autour de la tendance générale augmente au fil des années. Cette augmentation de la variance est significative pour la majorité des zones thermiques (la variance de la date de pleine épiaison de la première décade 95–05 est significativement plus petite que celle de la décade 05–15 selon le test de Bartlett, $\alpha = 5\%$). Cela démontre un plus grand nombre de développements printaniers particulièrement précoces ou tardifs au cours de ces dernières années qu'entre 1995 et 2005.

Conclusions

La méthode du «stade équivalent dactyle» est robuste. La série d'observations réalisées au cours des 21 dernières années a permis d'une part d'affiner les équations d'origine et, d'autre part, d'évaluer l'évolution du développement printanier. Les nouvelles équations proposées sont spécifiques au type de prairies (permanente ou temporaire). Le développement des prairies permanentes s'avère chaque année un peu plus précoce (deux à trois jours d'avancement pour la date de pleine épiaison par décade), surtout dans les zones de basse altitude. En outre, la fréquence des printemps extrêmes (particulièrement précoces ou tardifs) a augmenté. Dans ce contexte de changements, il est im-

Tableau 4 | Evolution de 1995 à 2015 de la date de pleine épiaison (moyenne des stades équivalent dactyle des dix espèces) pour les prairies permanentes

Niveau thermique et altitude approximative [m]	Date moyenne de pleine épiaison (1995–2015)	Date moyenne de pleine épiaison année la plus précoce (2011)	Date moyenne de pleine épiaison année la plus tardive (2013)	Nombre de prairies suivies	Tendance de la date de pleine épiaison (jrs/décade)	Significativité de la tendance (P-value de Mann Kendall)
Rude à Assez rude	05.06	25.05	17.06	271	–1,3	0,16
1000–1250						
Très frais	27.05	17.05	04.06	184	–0,79	0,4
900–1000 Vallée du Rhône: 1050–1150						
Frais	19.05	08.05	29.05	197	–2,2	0,02
750–900 Vallée du Rhône: 950–1050						
Assez frais	16.05	08.05	23.05	210	–0,06	0,9
650–750 Vallée du Rhône: 800–950						
Assez doux	14.05	04.05	23.05	128	–2,4	0,01
550–650 m Vallée du Rhône: 700–800						
Doux à Très doux	10.05	01.05	16.05	179	–2,73	<0,001
<550						
Rives Léman: 450–550 Vallée du Rhône: 450–700						
Assez chaud à Chaud	07.05	01.05	14.05	90	–2,35	0,06
Rives Léman et Vallée du Rhône: <450						

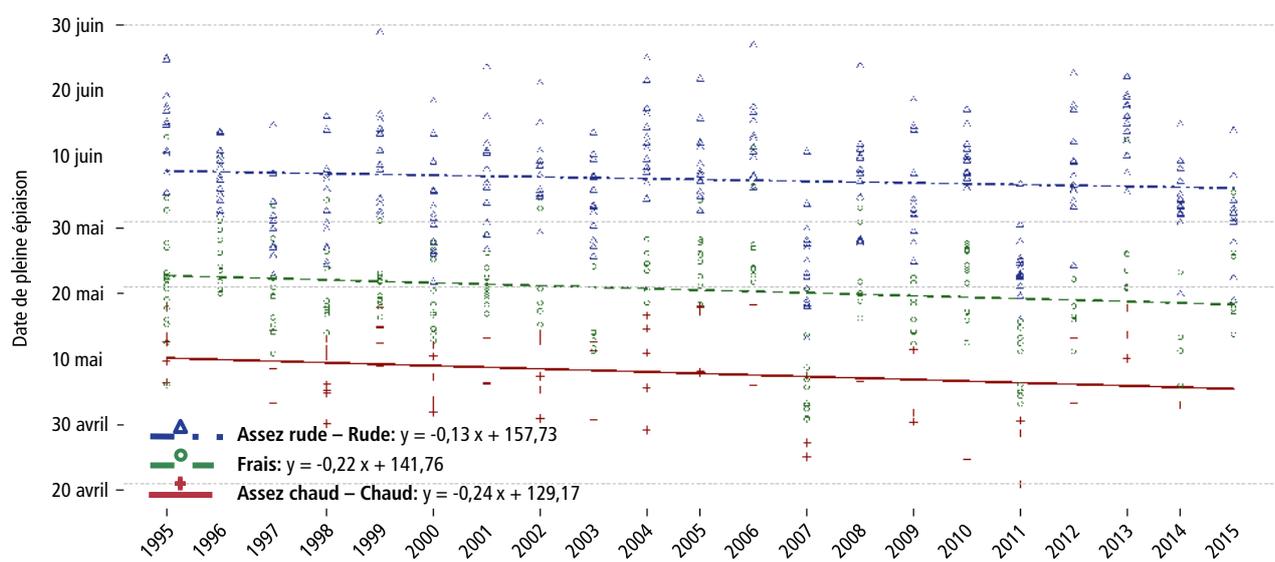


Figure 5 | Les droites de tendance, calculées grâce à l’estimateur de Theil-Sen, montrent un avancement de la date de pleine épiaison pour des prairies permanentes (origine de l’axe des ordonnées placé en 1995).

portant de poursuivre les observations phénologiques, tant pour fournir des références pour l’évaluation de la valeur nutritive du fourrage des prairies que pour étudier les impacts du changement climatique en Suisse. ■

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).

Riassunto**Sviluppo fenologico dei prati da sfalcio – 21 anni di osservazione**

In primavera, lo sviluppo fenologico delle praterie influisce la qualità del foraggio, in particolare l'evoluzione della digeribilità della materia organica. In questo modo, l'osservazione della fenologia facilita la gestione delle praterie durante la prima fase di crescita. Siccome lo sviluppo della vegetazione dipende fortemente dalle condizioni meteorologiche, tali monitoraggi fenologici, condotti su un lungo periodo, forniscono anche informazioni riguardo agli effetti del cambiamento climatico sulla vegetazione. Lo scopo di questo studio è di (i) aggiornare il metodo che serve a stabilire lo stadio fenologico medio di un prato tenendo conto di specie diverse e (ii) studiare i cambiamenti di precocità dei prati avvenuti tra il 1995 e il 2015. I risultati dello studio dimostrano che la prima fase di crescita è sempre più precoce in pianura (la data di piena spigatura è anticipata di 2–3 giorni ogni 10 anni) e che l'alternanza tra primavere molto precoci e molto tarde è più frequente. Questi cambiamenti sottolineano l'importanza del monitoraggio dello sviluppo fenologico dei prati con l'aiuto del metodo proposto in questo articolo.

Summary**Phenological development of meadows – 21 years of observations**

In spring, the phenological development of meadows influences forage quality, particularly in terms of the digestibility of organic matter. Thus, phenological observations facilitate grassland management during first grass growth. Since vegetation development depends largely on meteorological conditions, long-term phenological monitoring also enables the effects of climate change on vegetation to be assessed. The aim of this study is (i) to update the method serving to establish the average phenological stage of a meadow by considering several species, and (ii) to study the changes in precocity of meadows occurring between 1995 and 2015. The results of this study show that the first grass growth occurs increasingly early in the lowlands (date of full heading occurs 2 to 3 days earlier every 10 years), and that there is more frequent alternation between very early and very late springs. These changes highlight the importance of following the phenological development of meadows as a whole, particularly using the method put forward in this article.

Key words: spring development, grassland, Cocksfoot, climate change, phenological trend.

Bibliographie

- Amaudruz M., Vuffray Z., Deléglise C., Jeangros B. & Meisser M., 2015. Valeur des fourrages-Stades de développement des prairies. *Fiche technique Agridea* 2.7.3.1.
- Daccord R., Wyss U., Jeangros B. & Meisser M., 2006. Estimation de la valeur du fourrage des prairies-Valeur nutritive et production de lait ou de viande. *Fiche technique Agridea* 2.7.1.
- Demarquilly C. & Andrieu J., 1988. Les fourrages, Graminées et légumineuses: influence du stade de végétation. In: *Alimentation des bovins, ovins & caprins* (Ed. R. Jarrige). Institut national de la recherche agronomique, Paris, 315–336.
- Jeangros B. & Amaudruz M., 2005. Dix ans d'observations sur la phénologie des prairies permanentes en Suisse romande. *Revue suisse d'Agriculture* 37 (5), 201–209.
- Kendall M.G., 1948. Rank Correlation Methods. Charles Griffin & Co. London. 160 p.
- Mann H.B., 1945. Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245–259.
- Menzel A., 2003. Plant Phenological Anomalies in Germany and Their Relation to Air Temperature and NAO. *Climatic Change* 57 (3), 243–263.
- Menzel A., Sparks T. H., Estrella N., Koch E., Aasa A., Ahas R., Alm-Kübler K. et al., 2006. European Phenological Response to Climate Change Matches the Warming Pattern. *Global Change Biology* 12 (10), 1969–1976.
- Mosimann E. & Charles J.P., 1996. La conception des mélanges fourragers en Suisse. *Fourrages* 145, 17–31.
- Parmesan C. & Yohe G., 2003. A Globally Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts across Natural Systems. *Nature* 421 (6918), 37–42.
- Rebetez M. & Reinhard M., 2007. Monthly Air Temperature Trends in Switzerland 1901–2000 and 1975–2004'. *Theoretical and Applied Climatology* 91 (1–4), 27–34.
- Schreiber K. F., Kuhn N., Hug C., Häberli R. & Schreiber C., 1977. Niveaux thermiques de la Suisse. Département fédéral de justice et police, Berne, Suisse.
- Sen P. K., 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association* 63 (324), 1379–89.
- Studer, S., Appenzeller C. & Defila C., 2005. Inter-Annual Variability and Decadal Trends in Alpine Spring Phenology: A Multivariate Analysis Approach. *Climatic Change* 73, 395–414.
- Theil H., 1992. A Rank-Invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis. *Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics*, 345–381.