

# Conservation des pâturages boisés du Jura: défis climatiques et agro-politiques

Alexandre Buttler<sup>1,2,3</sup>, Konstantin Gavazov<sup>1,2</sup>, Alexander Peringer<sup>1,4</sup>, Silvana Siehoff<sup>1</sup>, Pierre Mariotte<sup>1,2</sup>, Jean-Bruno Wettstein<sup>5</sup>, Joël Chételat<sup>6</sup>, Robert Huber<sup>2</sup>, François Gillet<sup>1,3</sup> et Thomas Spiegelberger<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Ecole polytechnique fédérale de Lausanne EPFL, School of Architecture, Civil and Environmental Engineering ENAC, Laboratory of ecological systems ECOS, Station 2, 1015 Lausanne

<sup>2</sup>Swiss Federal Research Institute WSL, Site Lausanne, Station 2, 1015 Lausanne, and 8903 Birmensdorf

<sup>3</sup>Université de Franche-Comté – CNRS, UMR 6249 Chrono-environnement, 25030 Besançon cedex, France

<sup>4</sup>Institute for Landscape Planning, University of Stuttgart ILPOE, Stuttgart, Allemagne

<sup>5</sup>Bureau d'agronomie, 1450 Ste-Croix

<sup>6</sup>Microgis Foundation for Spatial Analysis MFSA, 1025 St-Sulpice, <sup>7</sup>Irstea, Research Unit Mountain Ecosystems, 38402 Saint-Martin d'Hères, France

Renseignements: Alexandre Buttler, e-mail: alexandre.buttler@epfl.ch, tél. +41 21 693 39 39



Combe des Amburnex près du Col du Marchairuz (Vaud). (Photo: Alexandre Buttler, WSL)

## Introduction

Les pâturages boisés sont des écosystèmes façonnés par l'homme, qui servent principalement à l'estivage du bétail et à la production de bois. Au cours des siècles, l'interaction entre la nature et l'homme a produit des mosaïques paysagères à différentes échelles. Ces différents habitats bénéficient à un grand nombre d'espèces végétales et animales. Ils sont formés de forêts et de prairies variées et hébergent des espèces emblématiques telles que le grand tétras, le lynx et diverses orchi-

dées. Ces paysages si typiques du Jura servent aussi d'espaces de détente et de loisirs, été comme hiver, à proximité des grands centres urbains de l'Arc lémanique. Ils offrent à la société de nombreux autres services écosystémiques, notamment le processus de purification de l'eau par les sols des haut-plateaux, la production d'air pur et la formation de paysages attractifs (Miéville-Ott et Barbezat 2005).

L'équilibre subtil des pâturages boisés repose sur une gestion complémentaire des ressources par les exploitants agricoles et forestiers. Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, le

paysage rural s'est considérablement modifié en réponse au contexte socio-économique et aux politiques territoriales (Chételat *et al.* 2012). Dès la Seconde Guerre mondiale, les pâturages boisés ont évolué vers des paysages plus ouverts, du fait des besoins accrus en bois, des mesures de soutien à la production agricole et des progrès techniques. Les stratégies de rationalisation préconisées dans les années 50 ont ensuite favorisé une gestion différenciée des pâturages et des forêts, résultant ainsi en un paysage plus compartimenté. L'introduction du contingentement laitier et des mesures d'encouragement à la réduction de la taille des troupeaux au cours des années 70 a contribué à l'extensification des pâturages boisés, plus particulièrement dans les zones moins accessibles. La politique des prix au début des années 90 a conduit à une forte baisse du prix du lait (et du bois), renforçant cette tendance à exploiter intensivement les bons pâturages et à abandonner les moins rentables. L'introduction des paiements directs écologiques dans un nouvel article constitutionnel en 1996 n'a pas réellement pu inverser cette tendance de ségrégation du paysage.

Outre les changements de gestion induits par des décisions d'ordre social, les événements climatiques historiques (p. ex. tempêtes et sécheresses) et le réchauffement climatique en cours (Peringer *et al.* 2012) ont été et sont encore des facteurs importants de la transformation des pâturages boisés, de leur utilisation et même de leur existence.

L'augmentation de la température moyenne annuelle de l'air de 1,5 °C observée dans les régions de montagne suisses durant le XX<sup>e</sup> siècle s'exprime par des températures estivales extrêmes et de longues périodes de sécheresse. Les pâturages boisés du Jura, dont le sous-sol calcaire laisse l'eau s'infiltrer rapidement, sont particulièrement sensibles au réchauffement climatique, car il signifie un risque accru de sécheresse et par conséquent une baisse de la production des herbages (Gavazov *et al.* 2012). Cette situation nécessitera une adaptation du mode de gestion des exploitations, par exemple par la réduction de la charge en bétail, voire par l'achat de fourrage et de concentrés.

Dans le futur, les changements climatiques et socio-économiques continueront d'avoir un impact important sur les pâturages boisés. L'augmentation des températures de 2,8 à 5,3 °C selon les scénarios climatiques, et la baisse des précipitations estivales allant jusqu'à -30 %, risquent d'accentuer encore les périodes de sécheresse (CH2011). En même temps, l'intensité de pâture sera fortement influencée par le développement des politiques territoriales. La nouvelle politique agricole (PA 14–17) prévoit de ne plus subventionner les exploitants agri- ➤

## Résumé

Les pâturages boisés du Jura servent principalement à la production de fourrage et de bois, mais ils sont aussi importants pour leur biodiversité et les espaces de récréation, de même que la qualité du paysage qu'ils offrent à proximité des grandes zones urbaines de l'Arc lémanique. Cet article montre, à l'aide d'une expérience de transplantation de mésocosmes et de modèles de simulation, l'effet des changements climatiques sur la production de biomasse herbacée et, dans ce contexte, les conséquences de la nouvelle réforme agraire (PA 14–17) sur l'évolution du paysage. Les pâturages boisés pourraient mieux résister à l'augmentation des températures et à la diminution des précipitations estivales que les pâturages sans arbres, en gardant une production fourragère plus stable. Le couplage du modèle de la végétation avec un modèle socio-économique indique qu'avec la nouvelle politique agricole (PA 14–17), la pression de pâture va diminuer, et que dans le cadre d'un scénario de réchauffement modéré, cela conduira à la fermeture des paysages. La nouvelle politique agricole devrait permettre de prendre des mesures ciblées pour conserver les pâturages boisés.





Figure 1 | Mésocosmes pour l'expérience de transplantation. (Photo: Konstantin Gavazov, EPFL)

coles selon le nombre de têtes de bétail, mais plutôt en fonction de la surface gérée. Le but de cette évolution du système des paiements directs est de supprimer les incitations à l'intensification de l'élevage et d'extensifier l'utilisation des terres (Barth *et al.* 2011). L'extensification des pâturages boisés du Jura risque cependant d'accélérer dans certains secteurs la recrudescence ligneuse et de favoriser la fermeture du paysage, renforçant ainsi la ségrégation du paysage en zones ouvertes et zones très fermées.

Différentes approches ont été utilisées et combinées de manière à donner une perspective globale des problèmes et enjeux de ces écosystèmes montagnards (Huber *et al.* 2012b). Des outils de gestion ont également été développés (Barbezat et Boquet 2008) pour inciter les gestionnaires à passer d'un mode de gestion sectoriel à un mode intégré, tenant compte de la multifonctionnalité de ces milieux. Cet article montre l'effet des changements climatiques attendus sur la production de biomasse herbacée et, dans ce contexte, les conséquences de la nouvelle réforme agricole (PA 14–17) sur l'évolution du paysage et la nécessité d'une gestion adaptative.

## Matériel et méthodes

L'étude porte sur trois approches méthodologiques: une expérience de transplantation de mésocosmes, un modèle de dynamique de la végétation et du paysage, et

un modèle socio-économique d'utilisation du paysage. Pour la partie expérimentale de l'étude, des mésocosmes de 60 cm x 80 cm et d'une hauteur de 35 cm contenant un assemblage de 12 carottes de sol (fig. 1) ont été transplantés en août 2009 le long d'un gradient altitudinal à

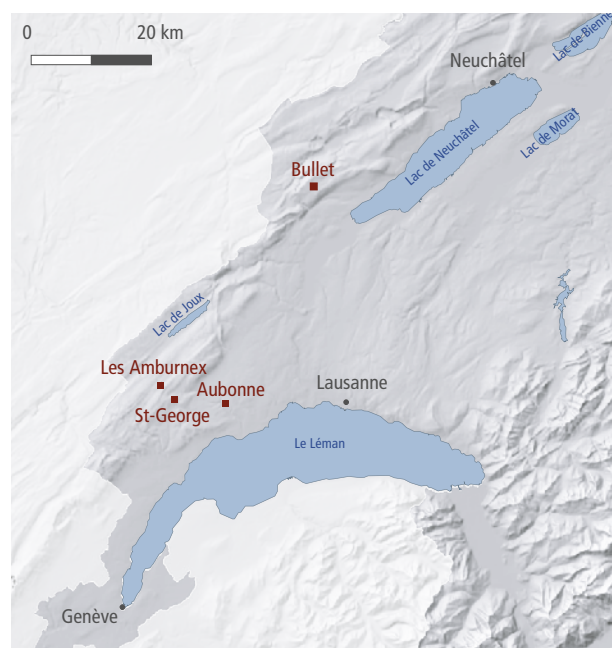


Figure 2 | Situation géographique de l'expérience de transplantation le long du transect altitudinal Les Amburnex – St-George – Arboretum d'Aubonne, et des pâturages à Bullet (Planets Ouest, Planets Milieu Est, Cluds Sud) utilisé pour les scénarios d'évolution du paysage.



**Figure 3** | Les mésocosmes transplantés sur un pâturage ouvert à la Combe des Amburnex, le site de contrôle à 1400 m.

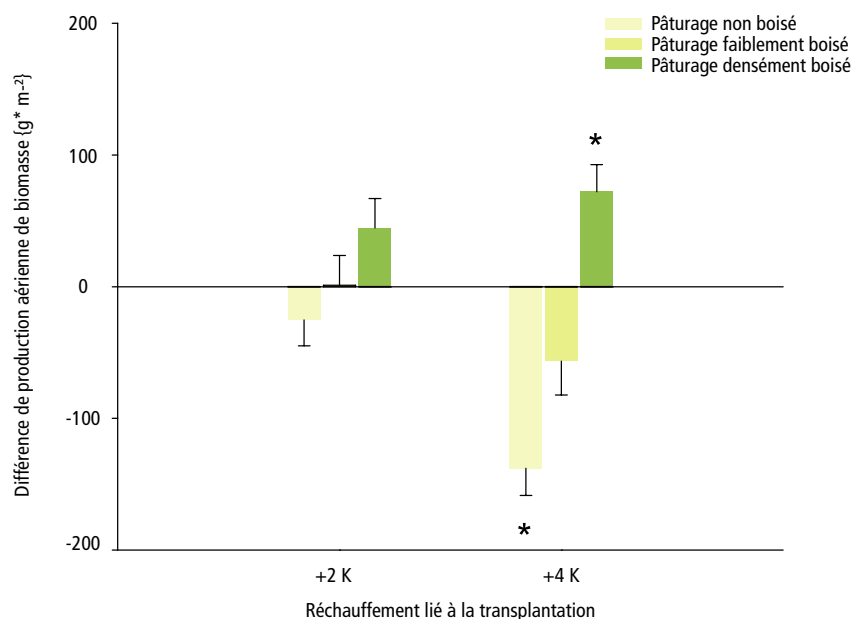
partir du site «donneur» de la Combe des Amburnex (Jura vaudois) vers des altitudes inférieures (fig. 2). Le site de la Combe des Amburnex (altitude 1350 m, N 46° 54', E 6° 23') a servi de site de contrôle, au climat inchangé, tandis que le site de Saint-George (altitude 1010 m, N 46° 52', E 6° 26') et de l'Arboretum d'Aubonne (altitude 570 m, N 46° 51', E 6° 37') ont permis de simuler une augmentation de température de respectivement +2K et +4K, et une réduction des précipitations de -20% et -40 %.

Les mésocosmes ont été prélevés sur trois pâturages du site «donneur» des Amburnex selon un gradient de densité du couvert forestier (habitats densément boisé, faiblement boisé, non boisé). Ils ont ensuite été regroupés par série de 15 (5 répétitions) dans les trois sites, dans un secteur sans arbre. Les mésocosmes issus de pâturages faiblement et densément boisés ont été recouverts de deux types de toile d'ombrage (fig. 3), afin de simuler les conditions lumineuses d'origine. Fin juillet 2011, la biomasse végétale aérienne de chaque mésocosme a été prélevée sur un carré de 35 cm de côté, triée par espèce puis séchée à 70 °C et pesée. Les biomasses ainsi mesurées ont été comparées entre sites de transplantation et entre habitats pour évaluer l'effet du changement climatique sur les différents types de pâturages.

Dans le but de prédire l'impact des changements climatiques sur la dynamique de la végétation et des paysages sylvopastoraux, des simulations ont été effectuées au moyen du modèle dynamique spatialement explicite

WoodPaM (Gillet 2008; Peringer *et al.* 2012). Ce modèle représente les principales interactions dans la mosaïque de végétation d'un pâturage boisé entre la gestion sylvopastorale, l'activité du bétail, la dynamique des herbages et la régénération des ligneux. Les trois pâturages boisés choisis se situent dans la même région que le site «donneur» de l'expérience de transplantation, à Bullet (canton de Vaud, altitude: 1200 m – fig. 2). L'intensité d'exploitation et la structure paysagère actuelle diffèrent d'un pâturage à l'autre: Planets Ouest est un pâturage communal quasi exempt d'arbres et exploité intensivement (1,79 UGB/ha durant 170 jours/année), Planets Milieu Est est une surface herbeuse majoritairement ouverte comportant quelques endroits faiblement boisés (1,56 UGB/ha durant 135 jours/année) et Cluds Sud correspond à un pâturage boisé en mosaïque comprenant plusieurs surfaces de forêt (0,99 UGB/ha durant 153 jours/année). En raison de la proximité avec le site des Amburnex, les résultats expérimentaux ont pu être utilisés pour le paramétrage du modèle.

La simulation de l'impact de la nouvelle politique agricole (PA 14–17) sur l'intensité d'exploitation des pâturages boisés s'appuie sur le modèle d'optimisation socio-économique ALUAM, un modèle multi-agents qui vise à optimiser les revenus des fermiers en tenant compte des restrictions d'ordre agro-écologiques ou politiques (Huber *et al.* 2012a). Les calculs ont été faits sans tenir compte des contributions animales utilisées dans l'article de Huber *et al.* (2012b). Ce modèle a été couplé au modèle WoodPam.



**Figure 4** | Différence de la production moyenne (2010 et 2011) de biomasse herbacée ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) par rapport au site de contrôle à 1400 m dans les trois habitats utilisés dans l'expérience de transplantation. Les différences significatives ( $p < 0,05$ ) sont indiquées par des étoiles.

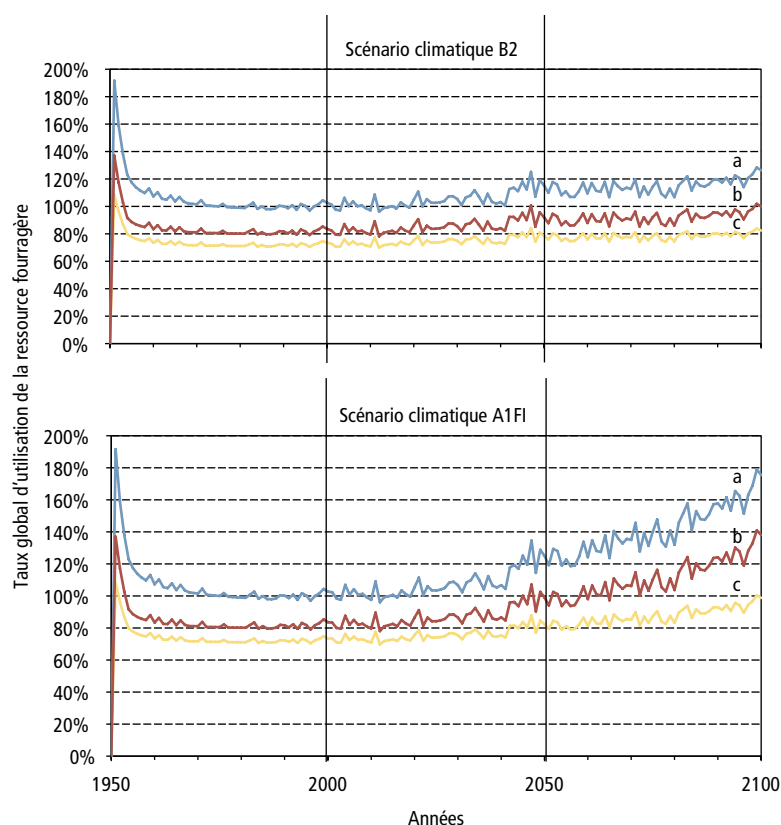
Pour les scénarios climatiques, des séries de données chronologiques régionales de températures et de précipitations ont été appliquées à deux scénarios d'émissions (IPCC 2007), avec, pour la période 2000–2100, les conditions suivantes: 1) scénario modéré B2: augmentation de la température de 4 °C, 2) scénario extrême A1FI: 8 °C de réchauffement, et 3) scénario B2 & A1FI: ajoute un décalage des précipitations de l'été vers l'hiver, ce qui augmente la sécheresse estivale.

## Résultats

La transplantation des mésocosmes à une altitude inférieure a entraîné une modification de la production annuelle de biomasse, selon l'altitude et le type d'habitat (fig. 4). Cette diminution a été la plus marquée pour les mésocosmes provenant du pâturage non boisé. Un réchauffement modéré de +2 °C ne provoque pas de changement significatif, tandis qu'une augmentation de température de +4 °C diminue la production fourragère d'environ 40% dans le pâturage non boisé qui, à l'origine, était pourtant le plus productif, et au contraire à une augmentation dans le pâturage densément boisé (fig. 4).

Dans les simulations de la production fourragère à l'échelle du paysage, cette différence de sensibilité aux changements climatiques conduit à une utilisation différenciée des ressources fourragères (fig. 5). Si la ressource fourragère disponible est utilisée à 100 % (optimum agronomique), la régénération forestière risque d'être compromise. Un dépassement de ce seuil signifie que le pâturage ne suffit pas à nourrir le bétail. Un taux d'utilisation plus faible à court terme (quelques années) permet en revanche la régénération forestière et la conservation de la mosaïque paysagère actuelle, tandis qu'une sous-pâturage à long terme conduit à l'embroussaillage et au reboisement des pâturages boisés. Avec l'augmentation de la température à partir de l'année 2000, l'utilisation de la capacité fourragère dépasse le seuil des 100 % sur le pâturage intensivement exploité des Planets Ouest, et ce durant de nombreuses années. Celle des pâturages exploités de façon modérée ou extensive reste par contre au-dessous de 100 % durant les premiers 50 ans de changements climatiques (2000–2050), aussi bien pour le scénario modéré B2 que pour le scénario drastique A1FI. Après 2050, seul le pâturage en mosaïque des Cluds Sud reste sous le seuil de 100%. Ici, la quantité de fourrage produite est tou-





**Figure 5 |** Evolution du taux d'utilisation de la ressource fourragère dans trois pâturages près de Bullet, Planets Ouest (a), Planets Milieu Est (b) et Cluds Sud (c), selon deux scénarios climatiques (d'après Gavazov *et al.* 2012).

jours suffisante, ce qui démontre clairement la capacité d'atténuation des effets négatifs du changement climatique dans les pâturages boisés, grâce à l'effet protecteur des arbres.

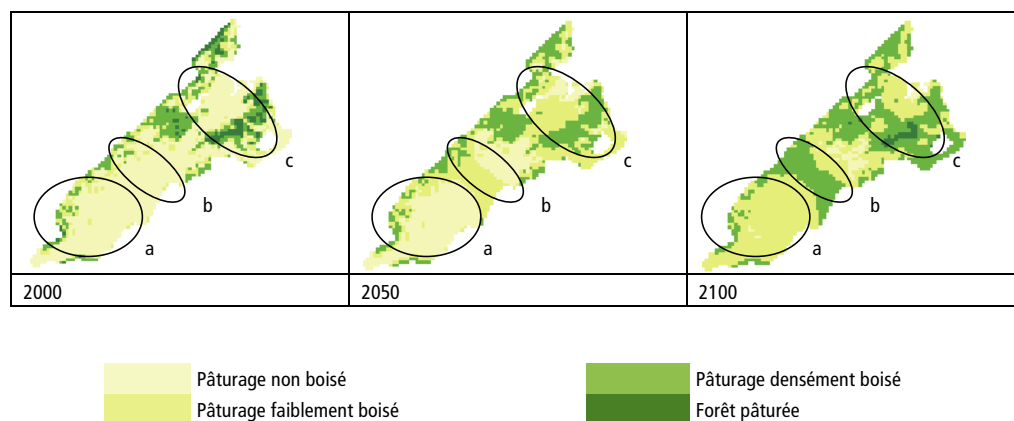
Les simulations de la dynamique des paysages sylvo-pastoraux montrent à moyen terme, dans le cas du scénario de réchauffement modéré B2, l'effet d'une réduction de la pression de pâturage (extensification) suite à l'adaptation au contexte socio-économique (Huber *et al.* 2012a). Selon les cartes de simulations (fig. 6), ce processus touche aussi bien les pâturages extensifs, déjà densément boisés (Cluds Sud) que les pâturages actuellement exploités de façon plus intensive, qui seront probablement abandonnés dans le futur (Planets Milieu Est). La carte de 2100 indique que les surfaces ouvertes deviendront rares. Les pâturages intensifs ouverts auront tendance à devenir faiblement boisés, tandis que les pâturages extensifs deviendront densément boisés. Le scénario climatique modéré B2 indique une forte recrudescence des arbres qui s'accompagne à long terme,

en raison des effets de la sécheresse, d'un déclin de l'épicéa au profit du hêtre (Peringer *et al.* 2012). Un stade intermédiaire de succession caractérisé par le développement des essences post-pionnières (sorbiers, érables) se traduit par une diminution temporaire de la forêt parcourue (cf carte de 2050).

La densité des arbres augmente fortement à partir de 2050 et avec elle la couverture forestière, conduisant à une simplification de la structure du paysage, qui pourrait signifier la perte des habitats variés qui contribuent à la biodiversité des pâturages boisés.

## Discussion

Les résultats de l'expérience de transplantation et de simulation d'un réchauffement climatique suggèrent une diminution de la production fourragère des pâturages ouverts non boisés et la stabilité de la production des pâturages faiblement boisés, voire une légère augmentation dans les pâturages densément boisés. Grâce à



**Figure 6 |** Modélisation des types de taux de boisement et cartes pour les années 2050 et 2100 des pâturages de Planets Ouest (a), Planets Milieu Est (b) et Cluds Sud (c) à Bullet. Le modèle intègre la nouvelle politique agricole PA 14–17 dans le cas du scénario climatique B2.

l'ombrage produit par les arbres dans les pâturages peu à très boisés, reconstitué dans cette expérience par les toiles d'ombrage (40 % et 80 % d'interception de la lumière), la température du sol est plus basse et son humidité plus élevée par rapport aux pâturages non boisés, limitant ainsi les effets négatifs du stress hydrique sur la production végétale.

Transposé à l'échelle des parcelles d'exploitation et du paysage, ce pouvoir régulateur du microclimat dans les pâturages plus ou moins boisés est également mis en évidence par les simulations des modèles dynamiques. Celles-ci montrent que la structure fine en mosaïque des pâturages boisés réduit de manière déterminante l'effet de la sécheresse sur la production fourragère. La conservation d'un paysage semi-ouvert parsemé d'arbres permettrait aux agriculteurs d'atténuer les effets négatifs des changements climatiques sur la production fourragère et d'en stabiliser les rendements. Dans l'hypothèse d'une augmentation de la fréquence des années sèches, les pâturages boisés offrent la capacité de réduire le risque économique lié à de fortes fluctuations des quantités d'herbe disponible, qui obligeraient les agriculteurs à acheter des compléments de fourrage.

Les résultats des simulations montrent aussi que la conservation des pâturages boisés dépend d'un subtil équilibre dans le mode d'exploitation. Une trop forte intensité d'exploitation diminue la diversité végétale des herbages et rend le système plus sensible aux aléas climatiques (Gavazov *et al.* 2012; Mariotte 2012). À l'inverse, une trop forte extensification met en péril l'équilibre existant entre les groupes fonctionnels de plantes, entraînant ainsi une baisse de la qualité fourragère. Ce processus peut encore être accentué par l'augmentation de la compétitivité des arbres lors du réchauffement

climatique. À l'heure actuelle, la tendance est déjà à la recrudescence des arbres sur les pâturages boisés, favorisée par l'adoucissement du climat local avec l'augmentation de +1 °C de la température au cours du siècle dernier.

D'après la simulation des effets combinés du changement climatique et de la réforme agricole PA 14–17, la conversion des paiements directs à la surface gérée plutôt qu'au nombre de têtes de bétail favorise l'extensification des pâturages boisés, mais, en même temps, les conditions climatiques vont renforcer la compétitivité des arbres. À plus long terme, cela favorisera la ségrégation entre pâturages ouverts et forêt fermée.

Afin de conserver à l'avenir les diverses fonctions des pâturages boisés et la diversité du paysage jurassien, malgré les changements climatiques, des mesures complémentaires devront être envisagées dans le cadre de la nouvelle PA 14–17 pour permettre une pression de pâture adaptée à la station et réduire de manière ciblée l'avancement de la forêt. L'adaptation du zonage en surface agricole utile (SAU) ou zone d'estivage pourrait s'avérer judicieuse pour une gestion adaptative de ces écosystèmes. ■

#### Remerciements

Le projet de recherche MOUNTLAND a pu être réalisé grâce au financement du Centre de compétence environnement et durabilité (CCES) du Domaine des EPF.

**Riassunto****Conservazione dei pascoli alberati del Giura: sfide climatiche e agro-politiche**

I caratteristici pascoli alberati del Giura servono principalmente da foraggio per animali e forniscono legname. Inoltre, essi sono anche importanti per la loro biodiversità, svolgono altre funzioni come aree di svago e di ricreazione per il tempo libero, come pure per la qualità del paesaggio che essi offrono in prossimità delle grandi zone urbane nell'arco lemanico. Questo articolo mostra, con l'aiuto di modelli di simulazione, l'effetto di cambiamenti climatici sulla produzione di biomassa erbacea e, in questo contesto, le conseguenze della nuova riforma agraria (PA 14–17) sull'evoluzione del paesaggio. I pascoli alberati potrebbero meglio resistere all'aumento delle temperature e alla diminuzione delle precipitazioni estive, rispetto ai pascoli non alberati, mantenendo una produzione foraggera più stabile. L'associazione del modello di vegetazione ad un modello socio-economico indica che attraverso la nuova politica agricola (AP 14–17), la pressione di pascolo diminuirà e che nell'ambito di uno scenario di moderato riscaldamento climatico questo porterà a un inforestamento con un aumento di zone boschive chiuse. La nuova politica agricola dovrebbe permettere di prendere delle misure mirate per conservare i pascoli alberati.

**Bibliographie**

- Barbezat V. & Boquet J.-F. (Eds.), 2008. Gestion intégrée des paysages sylvo-pastoraux de l'Arc jurassien – Manuel (Handbook). Conférence TransJurassienne. La Chaux-de-Fonds, Besançon. 160 p. et 1 CD-ROM (Programme Interreg IIIA).
- 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.
- CH2011, 2011. Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland.
- Chételat J., Kalbermatten T., Lannas K., Spiegelberger T., Wettstein J.-B., Gillet F., Peringer A. & Buttler A., 2012. A contextual analysis of observed land-use and vegetation changes applied to two wooded pastures in the Swiss Jura Mountains. *Ecology and Society* (en révision).
- Gavazov K., Peringer A., Buttler A., Gillet F. & Spiegelberger T., 2012. Dynamics of forage production in pasture-woodlands of the Swiss Jura Mountains under projected climate change scenarios. *Ecology and Society* (en révision).
- Gillet F., 2008. Modelling vegetation dynamics in heterogeneous pasture-woodland landscapes. *Ecological Modelling* 217 (1–2), 1–18.

**Summary****Conservation of pasture woodlands in the Jura mountains: climate change and agro-political challenges**

Wooded pastures of the Jura mountains are mainly used for fodder and timber production, but they provide also other goods and services such as biodiversity, leisure areas as well as attractive landscapes. These ecosystems are sensitive to climate and land-use changes. In this paper we report on a transplantation experiment and model simulations to show the impact of climate change on the grass production as well as the consequences of the upcoming new agriculture policy (AP 14–17) on landscape dynamics. Results indicate that wooded pastures could better resist to climate warming and concomitant summer droughts than open pastures, and thus provide more stable fodder yields along the season. Simulations of vegetation evolution indicate that the global utilization rate of fodder in treeless intensive used pastures would be beyond a sustainable threshold. The AP 14–17 will lower the intensity of pasturing which will lead to more closed landscapes in the long run. The new policy should allow, by means of incentives in favour of landscape quality, to take targeted measures for the conservation of wooded pastures.

**Key words:** pasture-woodland, climate warming, vegetation dynamics, transplantation experiment, agricultural policy.

- Huber R., Briner S., Peringer A., Widmer A., Gillet F., Seidl R., Lauber S., Buttler A., Le Q. B. & Hirschi C., 2012a. Modeling feedback effects between vegetation dynamics farm structural change and policy development in the pasture woodlands of the Swiss Jura mountains. *Ecology and Society* (en révision).
- Huber R., Iten A. & Briner S., 2012b. Développement du système des paiements directs et utilisation des terres en montagne. *Recherche Agronomique Suisse* 3 (7–8), 354–359.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Mariotte P., 2012. Effects of subordinate plant species on plant and soil community structure and ecosystem function. Thèse n° 5359 EPFL.
- Miéville-Ott V. & Barbezat V., 2005. Perception du pâturage boisé: résultats d'un sondage effectué au Communal de la Sagne NE. *Schweiz. Z. Forstwes.* 156, 1–12.
- Peringer A., Siehoff S., Chételat J., Spiegelberger T., Buttler A. & Gillet F., 2012. Past and future landscape dynamics in wooded pastures of the Jura under land use and climate change. *Ecology and Society* (en révision).