

Le régime des incendies de forêt en Valais: influences climatiques et anthropiques

Thomas Zumbrunnen Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (CH)*
Institut des écosystèmes terrestres, EPFZ (CH)
Matthias Bürgi Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (CH)
Harald Bugmann Institut des écosystèmes terrestres, EPFZ (CH)

Forest fire regimes in Valais: climatic and human influences

Forest fire regimes are particularly sensitive to variations in the climate and to human influences. In the Alps both the manner in which the land is used and climatic changes, in particular rises in temperature and the frequency of drought periods, are probably going to bring about considerable modifications in fire regimes. The history of these fires in Valais in the 20th century is however still little known, as is the influence of the different determining factors.

From a study of documentary archives we have therefore reconstituted the history of forest fires in Valais from 1904 to 2008. We then tried to establish whether or not the fire regime had evolved during this time by comparing descriptive statistics from the first and the second halves of the period under study. By means of correlation analyses we could then find what factors had a significant influence on the occurrence of fires.

What emerges is that forest fire activity moved towards the plain in the course of the 20th century, probably on account of the increase in population density at lower altitudes. The seasonality of the fires also evolved: there was an outbreak of fires in the spring during the second half of the period under study, whereas in the first half fires mostly occurred in summer. On the other hand the frequency of the fires and the surface area burned annually did not differ significantly in the periods before and after 1955.

As for the balance between factors determining the frequency of fires and the surface burned annually, there has been a modification in the period under study. Although drought was a decisive factor in the first decades of the 20th century, afterwards it seems to have declined in importance, being supplanted by other factors, notably the availability of combustible material.

The fact that at present the forest fire regime is apparently regulated by factors other than the climate means it is possible to envisage concrete measures in order to limit fire risks.

Keywords: fire history, fire regime, climate, drought, human influence, Switzerland

doi: 10.3188/szf.2010.0442

* WSL, Dynamique de l'utilisation du territoire, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, courriel zumbrunnen.thomas@gmail.com

Les incendies de forêt sont une perturbation et un danger naturel majeurs dans de nombreuses régions et écosystèmes, que ce soit par leur influence sur la composition des essences et la couverture forestière ou la menace qu'ils représentent pour les sociétés humaines (Patterson & Backman 1988, Pyne et al 1996, Frelich 2002, Bowman et al 2009). Dans la plupart de ces régions, le régime des incendies a subi des changements considérables durant le XX^e siècle, en particulier du fait d'une augmentation de leur fréquence et des surfaces brûlées ainsi que de l'extension de la saison des incendies (p. ex. Moreno et al 1998, Moreira et al 2001, Westerling et al 2006), suscitant par là même un intérêt pour une meilleure compréhension de ces phénomènes naturels.

Les régimes des incendies de forêt sont influencés par de nombreux facteurs, biotiques ou abiotiques,

et d'échelle spatiale variable (Cardille et al 2001, Moritz et al 2005). Parmi ces facteurs, le climat et la météorologie jouent un rôle prépondérant, que ce soit par le biais de températures élevées, de faibles précipitations, du vent ou encore de la foudre (Agee 1993, Granström 1993, Pyne et al 1996). D'ailleurs, depuis des décennies, pouvoir prévoir l'éclosion ou la propagation des incendies de forêt au moyen de variables explicatives météorologiques a été l'objectif de nombreux forestiers et scientifiques. Plusieurs modèles ont été développés à cet effet (Mandallaz & Ye 1997). On peut mentionner entre autres l'indice de Munger (1916), l'indice d'ignition de Nesterov (1949), l'indice de sécheresse de Keetch et Byram (1968) ou encore le plus récent et complexe indice forêt-météo canadien (Van Wagner 1987).

Les facteurs non climatiques sont également à prendre en compte. L'intensité d'un incendie est

par exemple déterminée par la quantité de combustible disponible et le nombre de départs de feu par la densité de population (Susmel 1973, Pyne et al 1996, Omi 2005). L'importance des facteurs anthropiques tels que l'utilisation du sol et la gestion des incendies en matière d'activité des incendies a été soulignée par de récentes études (Chuvieco et al 2008, Marlon et al 2008).

L'ampleur des incendies de forêt en Valais est relativement limitée comparée à d'autres régions d'Europe ou d'Amérique du Nord. Cependant, la situation du Valais en bordure de zones très affectées comme le Sud des Alpes ou le bassin méditerranéen (Vélez 1997, Bovio 2000) fait de ce canton un sujet d'étude intéressant dans le contexte actuel de changements climatiques et socioéconomiques. Ces changements devraient rendre les paysages plus sensibles aux incendies, en particulier dans les régions alpines ou périphériques. En effet, le Valais ainsi que les Alpes en général ont subi ces dernières décennies des augmentations de température et des périodes de sécheresse ainsi que des changements en matière d'utilisation et de couverture du sol qui devraient, selon toute vraisemblance, se poursuivre (Rebetez 1999, Mather & Fairbairn 2000, Zierl 2003, Bader & Bantle 2004, Johann 2004, Rebetez & Dobbertin 2004, Reinhard et al 2005, Gellrich 2006). De surcroît, des modifications substantielles du régime des incendies de forêt en raison des futures conditions climatiques ont été prédites dans les Alpes (Schumacher & Bugmann 2006).

Il y a donc un intérêt certain à mieux comprendre le régime des incendies de forêt et ses facteurs déterminants en Valais. Une étape préalable et

essentielle pour y arriver est la disponibilité de données permettant de reconstituer les caractéristiques principales dudit régime. L'impulsion à une telle reconstitution a été donnée par la réalisation de l'inventaire des incendies de forêt de Bochatay & Moulin (2000), couvrant la période 1973–2000. L'article publié par Gimmi et al (2004), couvrant la période 1904–2004, a posé, quant à lui, la base de l'étude de l'histoire des incendies de forêt en Valais à une échelle temporelle plus vaste, condition requise pour identifier d'éventuels changements, que ce soit au niveau du régime lui-même ou de ses facteurs déterminants. Ce deuxième inventaire a permis, d'une part, de dresser un portrait global du régime des incendies de forêt au XX^e siècle en Valais, d'autre part de dévoiler quantité de sources documentaires utiles à une reconstitution et une analyse plus détaillées de ce régime. Enfin, un dernier inventaire (Zumbrennen et al 2009), complétant et développant les résultats de Gimmi et al (2004), entre autres grâce à une localisation précise des incendies, a fourni une reconstitution et une analyse détaillée du régime des incendies durant le XX^e siècle et le début du XXI^e.

Etant donné l'intérêt de recherche et la disponibilité en données évoqués plus haut, nous avons cherché à déterminer dans un premier temps si le régime des incendies de forêt, c'est-à-dire la fréquence des incendies, la surface brûlée annuelle et la saisonnalité des incendies, avait évolué au cours de la période 1904–2008 en Valais. Dans un second temps, nous avons tenté d'évaluer le rôle joué par les différents facteurs déterminants, en particulier le climat, dans d'éventuelles modifications du régime des incendies.

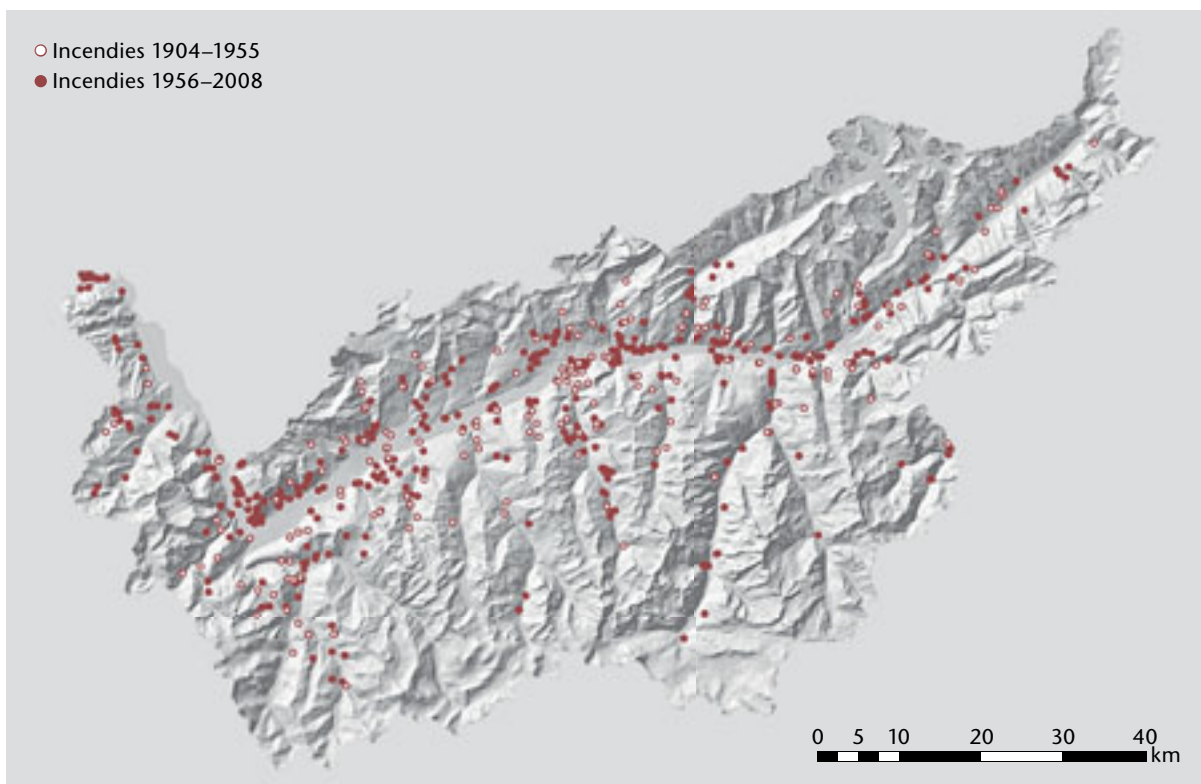


Fig. 1 Région d'étude (canton du Valais) et points de départ des incendies pour les périodes 1904–1955 ($n = 186$) et 1956–2008 ($n = 422$).

Matériel et méthode

Détermination du régime des incendies

Les données sur les incendies de forêt utilisées pour réaliser le présent article proviennent de l'étude de Zumbrunnen et al (2009), dont les données ont été récoltées au moyen d'archives documentaires, principalement des rapports du Service forestier valaisan, et qui intègre les précédents inventaires sur le sujet (Bochatay & Moulin 2000, Gimmi et al 2004).

Afin de déterminer si le régime des incendies avait évolué depuis le début du XX^e siècle, nous avons comparé les régimes durant la première (1904–1955) et seconde (1956–2008) moitié de la période d'étude (1904–2008). Ces deux sous-périodes ont été définies d'après les changements socioéconomiques et d'utilisation des sols, intervenus vers la moitié du XX^e siècle en Valais (Kempf 1985, Stuber & Bürgi 2001, Gimmi 2006). Du fait de ces changements, des conditions pyrologiques distinctes devaient en effet probablement prévaloir durant ces deux sous-périodes. Une telle subdivision présente l'avantage de permettre une comparaison de périodes a priori relativement homogènes quant aux influences anthropiques sur le régime des incendies. Des tests de Wilcoxon ont été effectués afin de vérifier si la répartition altitudinale des incendies, leur fréquence et la surface brûlée annuelle différaient significativement d'une sous-période à l'autre.

Détermination de l'influence climatique sur le régime des incendies

Une fois le régime des incendies identifié pour les différentes sous-périodes, nous avons tenté de déterminer quelle a été l'influence du climat sur la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle. Pour ce faire, un indice de sécheresse a été calculé d'après la formule de Thornthwaite (1948). Cet indice présente l'avantage, par rapport aux différents indices mentionnés en introduction qui nécessitent l'emploi de données météorologiques journalières (pluie, température, humidité relative ou encore vent), de ne requérir que la température moyenne et la somme des précipitations mensuelles. De plus, il a été employé avec succès dans le cadre d'autres études concernant la sécheresse et la dynamique des forêts en Valais (p. ex. Bigler et al 2006). On obtient l'indice de Thornthwaite ($DRI = P - PET$) en soustrayant l'estimation de la somme annuelle d'évapotranspiration potentielle (PET) à la somme annuelle des précipitations (P). L'évapotranspiration se calcule au moyen des températures et en tenant compte de la longueur du jour et de l'angle solaire (Thornthwaite & Mather 1957). Les données météorologiques nécessaires au calcul de cet indice proviennent de la station météorologique de Sion et ont été fournies par l'Office fédéral de météorologie et climatologie.

La relation entre la fréquence des incendies, respectivement la surface brûlée annuelle, et l'indice de Thornthwaite a ensuite été évaluée en calculant la corrélation croisée entre les séries temporelles des incendies (fréquence et surface brûlée) et celles de l'indice de Thornthwaite avec un décalage allant jusqu'à quatre années avant l'année de référence de la série des incendies. Le nombre de quatre années a été choisi arbitrairement, de façon à pouvoir identifier les effets éventuels du climat sur le régime des incendies sur une période suffisamment longue. Cette analyse de corrélation a été effectuée pour la période d'étude dans sa totalité ainsi que pour les deux sous-périodes (1904–1955 et 1956–2008).

Résultats

Régime des incendies

On trouve des incendies de forêt dans la totalité du Valais (figure 1). Alors que les incendies de la première sous-période (1904–1955) semblent avoir été répartis de façon plus uniforme et à des altitudes plus élevées, les incendies de la seconde sous-période étudiée (1956–2008) étaient principalement concentrés à basse altitude, en particulier dans la vallée du Rhône. Cette impression est confirmée par les box-plots représentant la répartition altitudinale des incendies en fonction des deux sous-périodes: l'altitude médiane des départs d'incendie était de 1300 m pour la période 1904–1955, alors qu'elle n'était plus que de 1000 m pour la période 1956–2008 (figure 2). Ce résultat est également confirmé par le test de Wil-

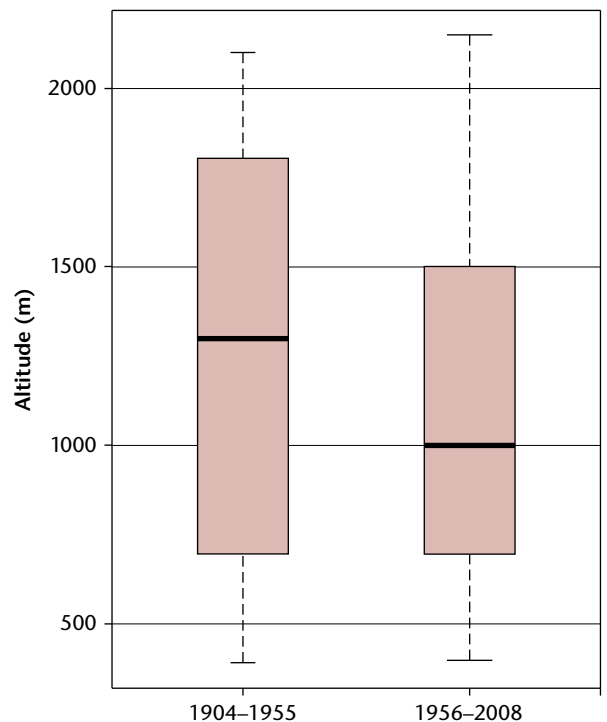


Fig. 2 Répartition altitudinale des points de départ d'incendies pour les périodes 1904–1955 (n = 145) et 1956–2008 (n = 382).

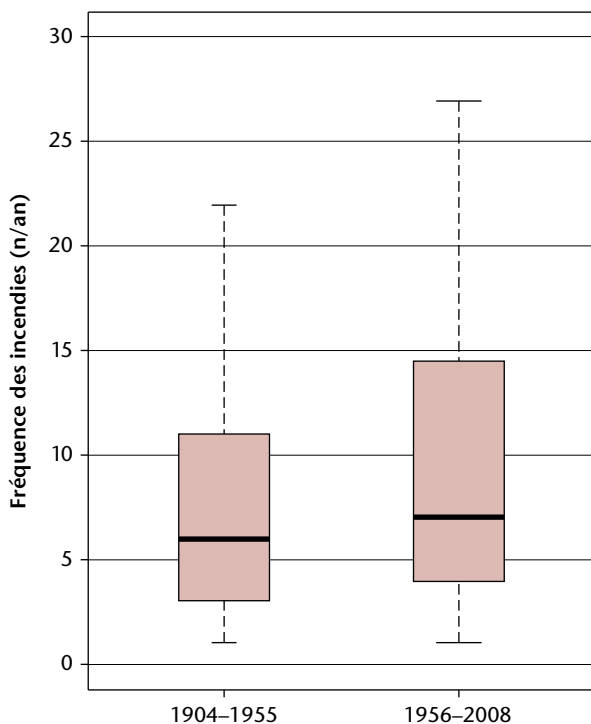
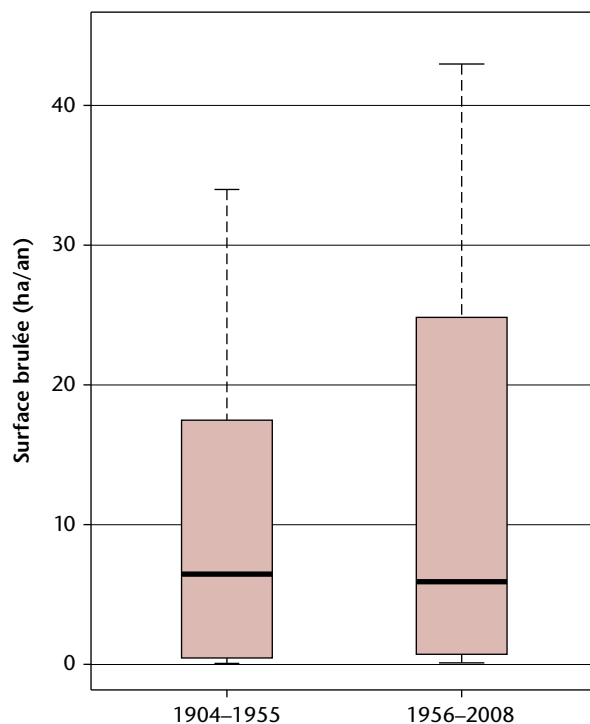


Fig. 3 Fréquence des incendies et surface brûlée annuelle pour les périodes 1904–1955 et 1956–2008.



coxon suggérant que l'altitude médiane des incendies était plus élevée lors de la première période que lors de la seconde ($P < 0.0001$).

Durant la période 1904–2008, environ 2720 hectares de forêt ont été brûlés par 914 incendies au total. La fréquence médiane était de six incendies par an et la surface brûlée annuelle médiane de 6.4 hectares pour la première sous-période, respectivement de sept incendies par an et de 5.9 hectares pour la seconde (figure 3). Bien que les années les plus touchées par le feu se situent dans la période 1956–2008 (1990 avec 47 incendies, et 1981 avec 501 ha brûlés), la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle médianes n'étaient pas significativement différentes d'une sous-période à l'autre, comme indi-

qué par le test de Wilcoxon (fréquence des incendies: $p=0.226$; surface brûlée annuelle: $p=0.319$). Il faut également noter que bien que les deux incendies les plus étendus se soient produits au cours de la seconde sous-période (500 ha à Zwischbergen en 1981, et 310 ha à Loèche en 2003), des incendies de taille considérable ont aussi eu lieu pendant la première sous-période (161 ha à Salquenen en 1921, et 120 ha à Orsières en 1906; voir Gimmi et al 2004 pour une liste exhaustive des plus grands incendies du siècle passé en Valais).

La saison des incendies dure de mars à octobre, comptabilisant environ 90% de tous les incendies, avec deux pointes en mars–avril et juillet–août (figure 4). La saisonnalité des incendies durant la première sous-période était différente de celle de la seconde: avant 1955, les feux ont eu lieu principalement en août; après 1955, une distribution saisonnière à deux pointes est apparue avec une prépondérance des incendies au printemps.

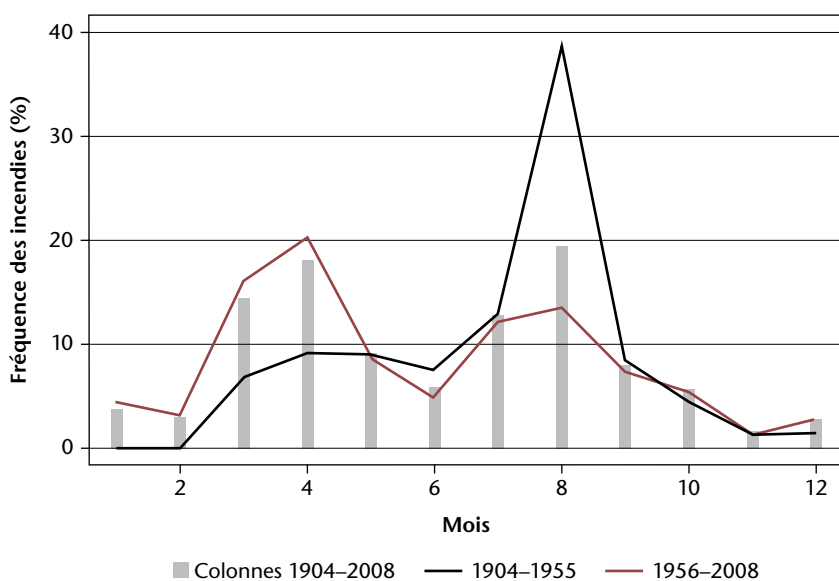


Fig. 4 Répartition saisonnière des incendies de forêt pour les périodes 1904–2008 ($n=585$), 1904–1955 ($n=132$) et 1956–2008 ($n=453$).

Influence climatique sur le régime des incendies

Les analyses de corrélation croisée entre la fréquence des incendies, respectivement la surface brûlée annuelle, et l'indice de Thornthwaite ont révélé des résultats différents selon la sous-période considérée (tableau 1). En effet, alors que pour la période 1904–1955 la fréquence des incendies était négativement et significativement corrélée avec l'indice de Thornthwaite durant la même année, cela n'était plus le cas de la période 1956–2008. A l'inverse, on observe pour la période 1956–2008 une corrélation positive entre la fréquence des incendies et l'indice avec un décalage de trois ans, c'est-à-dire que quand

Période	Variable	Décalage (années avant le feu)				
		0	1	2	3	4
1904–2008	Fréquence	-0.13	0.11	-0.09	0.24*	-0.00
	Surface brûlée	-0.10	0.03	-0.07	0.02	0.07
1904–1955	Fréquence	-0.32*	0.18	-0.08	0.17	-0.11
	Surface brûlée	-0.37*	0.22	-0.03	0.00	0.00
1956–2008	Fréquence	0.01	0.00	-0.15	0.34*	-0.05
	Surface brûlée	-0.03	-0.09	-0.06	0.04	0.01

Tab. 1 Corrélation croisée entre l'indice de Thornthwaite (annuel) et la fréquence des feux/la surface brûlée annuelle. Les valeurs avec astérisques indiquent les corrélations significatives ($p < 0.05$).

des conditions humides (donc un indice élevé) prévalaient une année, le nombre d'incendies augmentait significativement trois ans plus tard. Aucune corrélation significative de ce type n'est perceptible pour la période 1904–1955.

Discussion

Un déplacement de l'activité des incendies de forêt vers la plaine a été observé entre la première et la seconde sous-période. Ce changement est probablement dû d'une part à une augmentation marquée des sources de départ de feu potentielles à basse altitude liée à l'accroissement de la population et des surfaces urbanisées (Kempf 1985), d'autre part à une réduction des sources de départ de feu à plus haute altitude, notamment en raison de la diminution de la migration saisonnière verticale de la plaine aux alpages et du déclin des activités agricoles et sylvicoles en montagne à partir de la moitié du XX^e siècle (Kempf 1985, Bunce et al 2004, Gil-Montero et al 2009).

Le fait que les incendies de forêt aient eu lieu à des altitudes plus basses durant la seconde sous-période peut expliquer les différences de saisonnalité entre la première et seconde sous-période. En effet, le régime climatique en altitude n'est favorable aux incendies que pratiquement durant les mois d'été, d'où le déclenchement de la majorité des feux d'altitude à cette saison, surtout en août. De plus, les zones d'altitude ne sont souvent habitées qu'en été. En revanche, l'augmentation des sources potentielles de départ de feu à basse altitude, évoquée précédemment a, selon toute vraisemblance, permis une «extension» de la saison des incendies au printemps. Cette hypothèse est étayée par le fait que la plupart des incendies de printemps se sont déclenchées à basse altitude, alors que les incendies d'été ont lieu à des altitudes plus élevées (Zumbrunnen et al 2009). Le nombre élevé d'incendies au printemps en Valais correspond aux observations faites dans des régions voisines, telles que le Val d'Aoste (Cesti & Cerise 1992) et le Tessin (Conedera et al 1996). Plusieurs causes potentielles de ce renforcement de l'activité

des incendies durant les mois de mars et avril peuvent être mentionnées. La première concerne la disponibilité en combustible. En effet, la présence de grandes quantités de litière encore non décomposée à la fin de l'hiver dans les peuplements de feuillus dominant à basse altitude (Werlen 1994) offre des conditions de combustible idéales. De plus, l'absence de feuillage dans la canopée accroît l'insolation au sol et contribue donc à assécher le combustible. Une seconde cause pourrait être la présence de foehn à moyenne/basse altitude, dont la saison principale s'étend entre mars et mai (Bouët 1972), asséchant le combustible et accélérant la propagation du feu.

Alors que la saisonnalité des incendies a évolué au cours du temps en Valais, la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle ne présentent quant à elles pas de différence significative entre la première et la seconde sous-période, et ce malgré des années à incendies extrêmes récemment (1981, 1990 et 2003 en particulier). Ce résultat peut paraître inattendu compte tenu de l'augmentation marquée, au cours du XX^e siècle en Valais, des températures (Bader & Bantle 2004), de la population¹, de la surface forestière (Ritzmann-Blickenstorfer 1996) et de la biomasse en forêt (Gimmi et al 2008) qui auraient pu être de nature à intensifier l'activité des incendies. Séparément ou en combinaison, l'évolution de ces différents facteurs a eu un impact notable sur les régimes des incendies dans d'autres régions comme p. ex. le canton du Tessin (Conedera et al 1996) ou la péninsule ibérique (Moreira et al 2001, Pausas 2004). On peut toutefois postuler qu'en Valais les renforcements des législations contre les incendies, en particulier celle relative à leur prévention, ainsi que l'amélioration des moyens de lutte contre les incendies (Gimmi et al 2004) ont pu contrebalancer l'effet des facteurs «aggravants» susmentionnés sur la fréquence des incendies et/ou la surface brûlée.

Le fait que la fréquence des incendies, c'est-à-dire des incendies rapportés dans les sources utilisées dans le cadre du présent travail, n'ait pas augmenté au cours de la période d'étude laisse à penser qu'il n'y a pas eu de perte d'information majeure au fil du temps. S'il y a eu perte d'information, cela impliquerait donc que le nombre d'incendies a diminué au cours de la période d'étude. Bien qu'il soit impossible de démontrer que notre ensemble de données est exhaustif, il paraît toutefois peu probable qu'un nombre important d'incendies soit manquant. En effet, le Service forestier valaisan a la responsabilité de répertorier tous les incendies de forêt depuis la fin du XIX^e siècle (cf. Règlement forestier d'application de la Loi forestière cantonale de 1873 et lois forestières cantonales suivantes) et les rapports dudit service forestier sont systématiquement archivés depuis 1904.

¹ www.pxweb.bfs.admin.ch (15.09.2010)

Bien que la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle n'aient pas significativement changé entre la première et la seconde sous-période, la relation directe entre ces deux variables et le climat, reflété dans notre cas par l'indice de Thornthwaite, a apparemment évolué. En effet, durant la première sous-période, il y avait une corrélation négative et significative la même année entre ces variables, c'est-à-dire que plus le climat était sec, plus le nombre d'incendies et la surface brûlée étaient élevés. Cette corrélation n'existait plus durant la seconde sous-période. Ce changement pourrait être imputé à l'apparition de nouveaux facteurs déterminants interférant avec le signal du climat. En conséquence des changements socioéconomiques survenus en Valais, les formes traditionnelles d'exploitation de la forêt, telles que la pâture en forêt ainsi que la collecte de litière et de bois mort, ont été progressivement abandonnées, ou du moins leur intensité et étendue réduites, autour de la moitié du XX^e siècle (Kempf 1985, Kuonen 1993, Gimmi & Bürgi 2007). Suite à ces changements, la biomasse vivante ou morte a augmenté en forêt, alors qu'elle était rare au début du siècle (Gimmi et al 2008). Cela a vraisemblablement engendré un déclin de l'importance relative de facteurs climatiques tels que la sécheresse (cf. Thornthwaite) sur la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle au profit de facteurs non climatiques.

L'hypothèse d'une importance croissante de la disponibilité en combustible au cours de la période d'étude est d'ailleurs corroborée par l'analyse de corrélation croisée. En effet, il existait, avec un décalage de trois ans, une corrélation significative et positive entre la fréquence des incendies et l'indice de Thornthwaite durant la période 1956–2008, alors que cela n'était pas le cas durant la période 1904–1955. Cette corrélation décalée suggère vraisemblablement que, lors des années humides, c'est-à-dire lorsque l'indice est élevé, la production de combustible fin (p. ex. au niveau des strates herbacées et buissonnantes) augmente et cause un accroissement de la fréquence des incendies quelques années plus tard. Des effets comparables ont été observés dans d'autres régions, p. ex. dans le Sud-Ouest des USA (Swetnam & Betancourt 1998), en Espagne (Pausas 2004) ou encore en Californie (Fry & Stephens 2006).

L'existence d'une corrélation significative et négative entre l'indice de Thornthwaite et la surface brûlée annuelle durant la première sous-période et l'absence d'une telle corrélation durant la seconde sous-période peut sans doute être attribuée à l'amélioration de la prévention et des moyens de lutte contre le feu. En effet, la desserte routière, et donc l'accessibilité des massifs forestiers, ainsi que les moyens matériels de lutte étant peu développés au début du XX^e siècle, la probabilité qu'un incendie s'étende en fonction de la sévérité des conditions météorologiques du moment était sûrement élevée. Par

contre, la densification du réseau routier, notamment en forêt, et l'amélioration des moyens de lutte contre le feu, notamment grâce à l'utilisation d'hélicoptères (Gimmi et al 2004), ont certainement permis de limiter dans la plupart des cas la propagation du feu, même dans des conditions météorologiques particulièrement extrêmes. De plus, les lois successives interdisant le brûlage de déchets et de biomasse, ainsi que les feux en plein air lors de certains jours ou périodes ont pu éventuellement éviter le départ d'incendies catastrophiques lors de périodes à risque, entre autres lors de sécheresses prononcées ou de forts vents. Ces différents facteurs ont donc pu avoir comme effet de décorrélérer surface brûlée et indice de Thornthwaite.

Conclusions

Contre toute attente, le régime des incendies de forêt n'a que partiellement changé au cours de la période d'étude (1904–2008). En effet, bien qu'on ait assisté à des années à incendies extrêmes durant les récentes décennies, comme par exemple 1990 avec un nombre record d'incendies et 2003 avec une surface brûlée considérable, la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle n'ont pas été significativement différentes pendant les périodes avant et après 1955. En revanche, une différence notable a été le déplacement de l'activité des incendies vers la plaine, conséquence probable d'une augmentation des densités de population à basse altitude. Ce déplacement a conduit à une évolution de la répartition saisonnière des incendies, principalement par le biais d'une recrudescence des incendies de printemps.

S'il est donc prématuré de parler pour l'instant d'une réelle évolution du régime des incendies en Valais, étant donné que la fréquence des incendies et la surface brûlée – deux composantes essentielles du régime – sont restées semblables, cette étude suggère néanmoins que la balance des facteurs déterminants de l'activité des incendies s'est modifiée au cours de la période d'étude. En effet, alors que la sécheresse était un facteur décisif durant les premières décennies du XX^e siècle, elle semble avoir perdu de son importance par la suite au profit d'autres facteurs, notamment la disponibilité en combustible.

Ces résultats laissent entrevoir des implications pratiques. En effet, le fait que d'autres facteurs que le climat façonnent apparemment le régime des incendies actuel, en particulier l'augmentation de la biomasse et la densité de population, permet d'envisager des opportunités concrètes afin de limiter les risques d'incendie. Ces facteurs devraient donc être considérés soigneusement lors du développement de mesures de prévention et de gestion des incendies. ■

Soumis: 4 mars 2010, accepté (avec comité de lecture): 30 avril 2010

Références

- AGEE KJ (1993) Fire ecology of Pacific Northwest forests. Washington DC: Island Press. 493 p.
- BADER S, BANTLE H (2004) Das Schweizer Klima im Trend: Temperatur- und Niederschlagsentwicklung 1864–2001. Zürich: MeteoSchweiz, Veröffentl 68. 45 p.
- BIGLER C, BRÄKER OU, BUGMANN H, DOBBERTIN M, RIGLING A (2006) Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9: 330–343.
- BOCHATAY J, MOULIN JB (2000) Inventaire des incendies de forêt dans le canton du Valais. Sion: Service des forêts et du paysage du canton du Valais. 45 p.
- BOUËT M (1972) Le foehn du Valais. Zürich: Veröffentl Schweiz Meteorolog Zentralanstl 26. 12 p.
- BOVIO G (2000) La protezione dagli incendi boschivi nelle Alpi centro-occidentali. *Schweiz Z Forstwes* 151: 325–335. doi: 10.3188/szf.2000.0325
- BOWMAN D ET AL (2009) Fire in the earth system. *Science* 324: 481–484.
- BUNCE RGH ET AL (2004) Transhumance and biodiversity in European mountains. *Intern Assoc Landscape Ecol Publ Series* 1. 321 p.
- CARDILLE JA, VENTURA SJ, TURNER MG (2001) Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecol Appl* 11: 111–127.
- CESTI G, CERISE A (1992) Aspetti degli incendi boschivi. *Quart: Musumeci*. 295 p.
- CHUVIECO E, GIGLIO L, JUSTICE C (2008) Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from earth observation data. *Glob Chang Biol* 14: 1488–1502.
- CONEDERA M ET AL (1996) Incendi boschivi al Sud delle Alpi: passato, presente e possibili sviluppi future. Zürich: VDF. 143 p.
- FRELICH LE (2002) Forest dynamics and disturbance regimes: studies from temperate evergreen-deciduous forests. Cambridge: Cambridge Univ Press. 266 p.
- FRY DL, STEPHENS SL (2006) Influence of humans and climate on the fire history of a ponderosa pine-mixed conifer forest in the southeastern Klamath Mountains, California. *For Ecol Manage* 223: 428–438.
- GELLRICH M (2006) Natural forest re-growth on abandoned agricultural land in the Swiss mountains: An economic analysis of patterns and causes using spatial statistical models and interviews. Freiburg i Br: Univ Freiburg, PhD thesis. 115 p.
- GIL MONTERO R, MATHIEU J, SINGH C (2009) Mountain pastoralism 1500–2000: an introduction. *Nomadic Peoples J* 13 (2): 1–16.
- GIMMI U, BÜRGI M, WOHLGEMUTH T (2004) Wie oft brannte der Walliser Wald im 20. Jahrhundert? *Schweiz Z Forstwes* 155: 437–440. doi: 10.3188/szf.2004.0437
- GIMMI U (2006) History of anthropogenic disturbances in the pine forest belt of the Swiss Rhone valley (Valais). Zürich: Swiss Federal Institute of Technology, PhD thesis. 112 p.
- GIMMI U, BÜRGI M (2007) Using oral history and forest management plans to reconstruct traditional non-timber forest uses in the Swiss Rhone Valley (Valais) since the late nineteenth century. *Environ Hist* 13: 211–246.
- GIMMI U, BÜRGI M, STUBER M (2008) Reconstructing anthropogenic disturbance regimes in forest ecosystems: A case study from the Swiss Rhone Valley. *Ecosystems* 11: 113–124.
- GRANSTRÖM A (1993) Spatial and temporal variation in lightning ignitions in Sweden. *J Veg Sci* 4: 737–744.
- JOHANN E (2004) Landscape changes in the history of the Austrian Alpine regions: ecological development and the perception of human responsibility. In: Honnay K, Bossuyt B, Hermy M, editors. *Forest biodiversity: Lessons from history for conservation*. Wallingford: CABI. pp. 27–40.
- KEETCH JJ, BYRAM GM (1968) A drought index for forest fire control. Asheville: US Department Agriculture, Forest Service, Research Paper SE-38. 32 p.
- KEMPF A (1985) Waldveränderungen als Kulturlandschaftswandel – Walliser Rhonetal. Basel: Wepf. 262 p.
- KUONEN T (1993) Histoire des forêts de la région de Sion du Moyen-Age à nos jours. Sion: Vallesia. 676 p.
- MANDALLAZ D, YE R (1997) Prediction of forest fires with Poisson models. *Can J For Res* 27: 1685–1694.
- MARLON JR ET AL (2008) Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia. *Nat Geosci* 1: 697–702.
- MATHER AS, FAIRBAIRN J (2000) From floods to reforestation: The forest transition in Switzerland. *Environ Hist* 6: 399–421.
- MOREIRA F, REGO FC, FERREIRA PG (2001) Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implication for fire occurrence. *Landscape Ecol* 16: 557–567.
- MORENO JM, VÁZQUEZ A, VÉLEZ R (1998) Recent history of forest fires in Spain. In: Moreno JM, editor. *Large forest fires*. Leiden: Backhuys. pp. 159–185.
- MORITZ MA, MORAIS ME, SUMMERELL LA, CARLSON JM, DOYLE J (2005) Wildfires, complexity, and highly optimized tolerance. *Proc Natl Acad Sci USA* 102: 17912–17917.
- MUNGER TT (1916) Graphic method of representing and comparing drought intensities. *Mon Weather Rev* 44: 642–643.
- NESTEROV VG (1949) Combustibility of the forest and methods for its determination (in Russian): Moscow: USSR State Industry Press. 76 p.
- OMI PN (2005) Forest fires: a reference handbook. Santa Barbara: ABC CLIO. 347 p.
- PATTERSON WA, BACKMAN AE (1988) Fire and disease history of forests. In: Huntley B, Webb T, editors. *Vegetation history*. Dordrecht: Kluwer. pp. 603–632.
- PAUSAS JG (2004) Changes in fire and climate in the Eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Clim Chang* 63: 337–350.
- PYNE SJ, ANDREWS PL, LAVEN RD (1996) Introduction to wildland fire. New York: Wiley. 769 p.
- REBETEZ M (1999) Twentieth century trends in droughts in southern Switzerland. *Geophys Res Lett* 26: 755–758.
- REBETEZ M, DOBBERTIN M (2004) Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. *Theor Appl Climatol* 79: 1–9.
- REINHARD M, REBETEZ M, SCHLAEPFER R (2005) Recent climate change: Rethinking drought in the context of Forest Fire Research in Ticino, South of Switzerland. *Theor Appl Climatol* 82: 17–25.
- RITZMANN-BLICKENSTORFER H (1996) Historische Statistik der Schweiz. Zürich: Chronos. 1221 p.
- SCHUMACHER S, BUGMANN H (2006) The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Glob Chang Biol* 12: 1435–1450.
- STUBER M, BÜRGI M (2001) Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800–1950. *Waldweide, Waldheu, Nadel- und Laubfutter*. *Schweiz Z Forstwes* 152: 490–508. doi: 10.3188/szf.2001.0490

- SUSMELL (1973)** Development and present problems of forest fire control in the Mediterranean region. Rome: Food Agriculture Organization. 100 p.
- SWETNAM TW, BETANCOURT JL (1998)** Mesoscale disturbance and ecological response to decadal climatic variability in the American Southwest. *J Clim* 11: 3128–3147.
- THORNTHWAITE CW (1948)** An approach toward a rational classification of climate. *Geogr Rev* 38: 55–94.
- THORNTHWAITE CW, MATHER JR (1957)** Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton: Laboratory of Climatology, Publications in Climatology 10. pp. 181–311.
- VAN WAGNER CE (1987)** Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Ottawa: Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35. 37 p.
- VÉLEZ R (1997)** Recent history of forest fires in the Mediterranean area. In: Balabanis P, Eftichidis G, Fantechi R, editors. *Forest fire risk and management*. Bruxelles: European Commission. pp. 15–26.
- WERLEN C (1994)** Elaboration de la carte de végétation forestière du Valais. *Schweiz Z Forstwes* 145: 607–617.
- WESTERLING AL, HIDALGO HG, CAYAN DR, SWETNAM TW (2006)** Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity. *Science* 313: 940–943.
- ZIERL B (2003)** Simulating the impact of climate change on drought in Swiss forest stands. In: Visconti G, Beniston M, Iannorelli ED, Barba D, editors. *Global change and protected areas*. Dordrecht: Kluwer. pp. 229–243.
- ZUMBRUNNEN T, BUGMANN H, CONEDERA M, BURGI M (2009)** Linking forest fire regimes and climate – a historical analysis in a dry Inner Alpine Valley. *Ecosystems* 12: 73–86.

Le régime des incendies de forêt en Valais: influences climatiques et anthropiques

Les régimes des incendies de forêt sont particulièrement sensibles à la variabilité climatique et aux influences anthropiques. Dans les Alpes, les changements climatiques, en particulier l'augmentation des températures et de la fréquence des périodes de sécheresse, et en matière d'utilisation du sol vont donc probablement engendrer des modifications considérables des régimes des incendies. En Valais, l'histoire de ces incendies au XX^e siècle et l'influence des différents facteurs déterminants sont encore toutefois peu connues.

Nous avons donc reconstitué, au moyen d'archives documentaires, l'histoire des incendies de forêt en Valais (1904–2008). Nous avons ensuite tenté de déterminer, en comparant au moyen de statistique descriptive les première et seconde moitiés de la période d'étude, si le régime des incendies avait évolué au cours de la période d'étude, puis, au moyen d'analyses de corrélation, quels facteurs ont eu une influence significative sur le régime des incendies.

Il en ressort que l'activité des incendies s'est déplacée vers la plaine au cours du XX^e siècle, probablement du fait de l'augmentation de la densité de population à basse altitude. La saisonnalité des incendies a également évolué avec une recrudescence des incendies de printemps durant la seconde moitié de la période d'étude, alors que durant la première moitié les incendies avaient lieu principalement en été. En revanche, la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle n'ont pas été significativement différentes pendant les périodes avant et après 1955.

La balance des facteurs déterminant la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle s'est quant à elle modifiée au cours de la période d'étude. En effet, alors que la sécheresse était un facteur décisif durant les premières décennies du XX^e siècle, elle semble avoir perdu de son importance par la suite au profit d'autres facteurs, notamment la disponibilité en combustible.

Le fait que d'autres facteurs que le climat façonnent apparemment le régime des incendies actuel permet d'envisager des mesures concrètes afin de limiter les risques d'incendie.

Waldbrände im Wallis: klimatische und menschliche Einflüsse

Das Auftreten von Waldbränden hängt ausserordentlich stark von klimatischen Schwankungen und von menschlichen Einflüssen ab. In den Alpen wird die Veränderung des Klimas, speziell die Zunahme der Temperatur und der Häufigkeit von Trockenperioden, aber auch der Art der Bodennutzung zu beträchtlichen Änderungen bei den Waldbränden führen. Im Wallis sind die Waldbrände des 20. Jahrhunderts und die Faktoren, die sie beeinflussten, allerdings noch kaum untersucht worden. Wir haben daher mithilfe von Archivbelegen die Geschichte der Waldbrände im Wallis für die Zeitperiode von 1904 bis 2008 rekonstruiert. Mit einem Vergleich der ersten und der zweiten Hälfte der Untersuchungsperiode mithilfe deskriptiver Statistik versuchten wir in der Folge, zu bestimmen, ob sich die Waldbrände im Lauf der Zeit verändert haben. Weiter haben wir mittels Korrelationsanalysen herauszuschälen versucht, welche Faktoren einen signifikanten Einfluss auf das Waldbrandregime hatten.

Es zeigt sich, dass sich die Waldbrände im Laufe des 20. Jahrhunderts in die tieferen Lagen verschoben haben. Dies liegt vermutlich daran, dass hier die Bevölkerungsdichte zugenommen hat. Auch war eine jahreszeitliche Verschiebung der Brände feststellbar. In der zweiten Hälfte der Beobachtungsperiode fanden die Waldbrände hauptsächlich im Frühling, in der ersten Hälfte aber im Sommer statt. Dagegen zeigen die Häufigkeit und die Ausdehnung der Brände keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Zeitperioden.

Der Einfluss der einzelnen Faktoren, die die Häufigkeit der Brände und die Grösse der jährlich verbrannten Fläche bestimmten, hat sich im Lauf der Untersuchungsperiode verändert. Die Trockenheit, welche während der ersten Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts ein ausschlaggebender Faktor war, scheint ihre Bedeutung zugunsten anderer Einflussgrössen, speziell zugunsten der Verfügbarkeit von brennbarem Material, verloren zu haben.

Der Umstand, dass andere Faktoren als das Klima das aktuelle Auftreten von Waldbränden prägen, erlaubt es, konkrete Massnahmen ins Auge zu fassen, um die Waldbrandgefahr zu begrenzen.