

Diss. ETH No 19144

**Reconstructing and analyzing the fire
history in a dry continental valley (Valais) of
the Swiss Alps**

A dissertation submitted to
ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

THOMAS J.E. ZUMBRUNNEN

Dipl. Forst-Ing. ETH
born March 15, 1979
citizen of Lenk (BE)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. Bugmann, examiner
PD Dr. M. Bürgi, co-examiner
Dr. M. Conedera, co-examiner

2010

Summary

In many parts of the world, forest fires are of high ecological, social and economic importance. They represent an ecological disturbance factor in ecosystems and a significant natural hazard for human populations. Forest fire regimes are determined by many factors, particularly climatic, vegetation and anthropogenic factors, and are likely to experience considerable changes in the European Alps, in particular due to climatic changes. However, little is known about the recent regional fire history and the impact of its determinants on the fire regime during the 20th century.

In the present thesis, we therefore reconstructed the fire history in Canton Valais (Switzerland) during the 20th and early 21st century based on documentary evidence, and investigated the relationship between the reconstructed fire regime and its determining factors. We specifically wanted (1) to determine the spatiotemporal pattern of the fire regime in Valais, (2) to elucidate the relevance of potential driving factors of the fire regime, especially climate- and human-related factors, and (3) to identify possible differences between the fire regimes in Valais and the neighboring Canton Ticino.

In the first chapter, we compared the impact of temperature, precipitation, drought and dry foehn winds on the reconstructed fire frequency, extent of burnt area and fire seasonality on various spatial and temporal scales. In the subalpine zone, the fire regime appears to have been mainly driven by temperature and precipitation, whereas these variables seem to have played only a secondary role in the colline-montane zones. Here, foehn winds and, probably, non-climatic factors seem to have been more important. Temperature and precipitation played a major role in shaping fire frequency and burnt area in the first half of the 20th century, but lost their importance during the second half. This chapter illustrates the occurrence of different fire regime patterns and their driving forces on small spatial scales. We also conclude that the strong rise in temperature over the past century has not profoundly changed the fire regime in Valais because in the second half of the 20th century temperature was no longer a strong determinant for forest fires as compared to human activities or biomass availability in forests.

In the second chapter, we investigated the impact of local human activities on fire occurrence in Valais during the period 1904–2006. We compared the impact of population and road density, biomass removal by livestock grazing and wood harvest, on fire occurrence during two subperiods (1904–1955 and 1956–2006) using generalized additive models. As fire occurrence is strongly related to climate, predictors reflecting climatic conditions, i.e. precipitation and temperature, were also considered to allow us to disentangle anthropogenic and climatic factors. This chapter provides evidence for the important role played by humans in shaping fire activity. It also illustrates consistently how fire activity has been influenced according to the land use and socioeconomic context of the time or the location under consideration. Changes in forest use/management within the study region seem to be particularly important. The existence of ignition sources appears to promote fire occurrence to a certain extent only, as high human presence tends to be related to fewer fires. Moreover, fuel removal through pasturing of livestock in the forest and wood harvesting appears to have significantly reduced fire occurrence during the first decades of the 20th century.

In the third chapter, we considered forest fires, land use and meteorological data over the period 1904–2008 in the neighboring mountain cantons of Valais and Ticino, which are characterized by distinct climatic regimes. We used generalized additive models to investigate the role of factors involved in fire occurrence. The presence/absence of fires was used as the

response variable. We selected as predictors the Nesterov ignition index (as a proxy for fire weather), road density (for ignition sources), livestock density (for biomass removal), and change in forest area (for fire-prone abandoned agricultural areas). Fire weather played a key role in fire occurrence in both regions. Road and livestock densities had similar influences in the two cantons. However, while the increase in fire-prone areas was well correlated with fire occurrence in Ticino, no such correlation was evident in Valais, probably because land abandonment and forest cover change have been less extensive there. Moreover, our findings emphasize the nonlinear nature of the relationships between fire occurrence and anthropogenic drivers, as we found thresholds above which road density was no longer correlated with fire occurrence. This implies that the projected increase and spatial concentration of the human population may not result in a further increase in fire risk in intermediately to densely populated areas in both cantons.

In the fourth chapter, analyses were focused on temporal aspects of the fire regime in Valais. We determined, based on descriptive statistics, whether the fire regime had changed over the period 1904–2008, and, based on correlation analyses, what factors might have significantly influenced the fire regime. Our findings show that fire activity has moved towards the lowlands during the 20th century, likely because of increasing population density at low elevations. Fire seasonality has also changed. While most fires occurred during summer in the first half of the study period (1904–1955), the number of spring fires clearly increased during the second half (1956–2008). However, fire frequency and annual burnt area were not significantly different during the periods prior to and after 1955. The balance between the driving factors of fire frequency and burnt area has changed over the study period. While drought appears to have been crucial during the first decades of the 20th century, its relative importance seems to have diminished over time in favor of other factors, in particular fuel load.

In the fifth chapter, we used the change point approach to detect shifts in fire frequency and burnt area in the cantons of Ticino and Valais. We analyzed the detected changes in the fire regimes in the light of the implemented fire policy and the socio-economic evolution. In particular, we found that in the less fire-prone canton of Valais, major driving forces yielding shifts in fire regimes are of climatic and socio-economic origin, whereas in the fire-prone canton of Ticino fire policy measures also contributed to detectable changes. Legislative measures led to reduced fire frequencies, and improvements in fire-fighting resulted in a reduction of the burnt area.

The present thesis leads to the following conclusions. First, forest fires in Valais depend greatly on anthropogenic factors. Therefore, they cannot simply be considered as a natural disturbance, but they must be viewed as a human-induced factor that is strongly conditioned by the socio-cultural circumstances. Thus, there is much room for mitigating fire risk and specific properties of the fire regime, such as the area burnt.

Second, Valais can be subdivided into regions that are characterized by distinct fire regimes, which in turn are characterized by distinct driving factors. This calls for planning and implementing region-specific prevention and pre-suppression measures, rather than one unified strategy for the entire area.

Lastly, this study demonstrated that changes in the fire regime and in the relevance of its driving factors can occur within a few decades. Therefore, the validity and the pertinence over time of the measures undertaken for addressing forest fire issues should be assessed on a regular basis and adjustments may need to be undertaken, in particular in the new context of rapidly changing environmental conditions.

Résumé

Les incendies de forêt revêtent une importance écologique, sociale et économique particulière dans de nombreuses régions. Ils sont à la fois un facteur de perturbation écologique dans certains écosystèmes et un danger naturel majeur pour certaines populations. Les régimes des incendies de forêt sont influencés par divers facteurs climatiques, de végétation ou encore anthropiques, et vont probablement subir des changements importants dans les Alpes, notamment en raison du changement climatique. Toutefois, les connaissances concernant l'histoire récente des incendies de forêt dans cette région ainsi que l'impact des facteurs déterminants sur le régime des incendies au cours du siècle dernier sont encore limitées.

Dans le cadre du présent travail, nous avons tout d'abord reconstruit, au moyen d'archives documentaires, l'histoire des incendies de forêt des cent dernières années dans le canton du Valais (Suisse), puis étudié les relations entre le régime des incendies et ses facteurs déterminants. L'objectif de ce travail était (1) de déterminer le patron spatiotemporel du régime des incendies en Valais, (2) d'évaluer le rôle joué par les facteurs déterminants de ce régime et (3) d'identifier d'éventuelles différences entre le régime des incendies en Valais et celui du Tessin, un canton voisin.

Le premier chapitre propose une comparaison à plusieurs échelles spatiotemporelles de l'impact de la température, des précipitations, de la sécheresse et du foehn sur la fréquence et la saisonnalité des incendies ainsi que sur la surface brûlée. A l'étage subalpin, le régime des incendies semble avoir été principalement influencé par la température et les précipitations alors qu'à l'étage collinéen-montagnard, ces variables n'ont joué qu'un rôle secondaire. A cet étage, l'influence du foehn, et probablement d'autres facteurs non climatiques, a semble-t-il été plus importante. Durant la première moitié du XX^e siècle, la température et les précipitations ont joué un rôle primordial en ce qui concerne la fréquence des incendies et la surface brûlée. En revanche, durant la seconde moitié de ce siècle, ces deux variables ont perdu de leur prépondérance. Ce chapitre démontre donc l'existence de différents régimes des incendies à une échelle spatiale relativement restreinte. Il permet également de conclure que l'augmentation importante des températures au long du XX^e siècle en Valais n'a, pour l'instant, pas modifié de manière substantielle le régime des incendies, en particulier parce que, lors de la seconde moitié de ce siècle, la température n'a plus été un facteur déterminant majeur des incendies de forêt en comparaison des facteurs anthropiques et de la disponibilité en combustible.

Le deuxième chapitre traite de l'impact des facteurs anthropiques locaux sur l'occurrence des incendies de forêt en Valais au cours de la période 1904–2006. Nous avons comparé, au moyen de modèles additifs généralisés, l'impact de la densité de population et de routes ainsi que de la soustraction de biomasse en forêt due à la pâture du bétail et à l'exploitation de bois sur l'occurrence des incendies durant deux sous périodes (1904–1955 et 1956–2006). Etant donné que l'occurrence des incendies est fortement liée aux conditions climatiques, nous avons également inclus dans notre analyse la température et les précipitations comme variables explicatives. Ce second chapitre met en évidence le rôle important joué par l'être humain en matière d'activité des incendies de forêt. Il illustre également de façon cohérente comment l'activité des incendies a pu être influencée en fonction de l'utilisation du territoire et du contexte socioéconomique d'une période ou d'une zone données. Les changements intervenus dans l'utilisation et la gestion des forêts en Valais ont, selon toute vraisemblance, joué un rôle prépondérant. L'existence de sources d'ignition paraît favoriser l'occurrence des

incendies jusqu'à un certain point seulement car le nombre d'incendies diminue dans les régions densément habitées. De plus, la soustraction de combustible en forêt due à la pâture du bétail et à l'exploitation de bois semble avoir réduit de manière significative l'occurrence des incendies durant les premières décennies du XX^e siècle.

Le troisième chapitre présente une comparaison de l'activité des incendies de forêt lors de la période 1904–2008 en Valais et dans le canton voisin du Tessin, deux régions présentant des régimes climatiques bien distincts. Nous avons utilisé des modèles additifs généralisés afin d'étudier le rôle de certains des facteurs déterminant l'occurrence des incendies. La présence/absence d'incendies a tenu lieu de variable dépendante. Nous avons choisi comme variables indépendantes l'indice de Nesterov (en tant que substitut des conditions météorologiques), la densité de routes (substitut des sources d'ignition), la densité de bétail (substitut de la soustraction de biomasse) et l'évolution de la surface forestière (substitut des surfaces agricoles abandonnées sensibles au feu). Il ressort de cette analyse que les conditions météorologiques ont joué un rôle crucial dans les deux cantons. La plupart des variables anthropiques semblent avoir eu des influences similaires également. Cependant, alors que l'augmentation des surfaces sensibles au feu est corrélée avec l'occurrence des incendies au Tessin, ce n'est pas le cas en Valais, probablement car la déprise agricole et l'augmentation de la surface forestière ont été moins marquées dans ce dernier canton. De plus, cette analyse a souligné le caractère non linéaire des relations entre l'occurrence des incendies et certains facteurs anthropiques.

Le quatrième chapitre aborde le régime des incendies en Valais sous une perspective temporelle. Nous avons déterminé au moyen de statistiques descriptives si le régime des incendies avait évolué au cours de la période 1904–2008 et, au moyen d'analyses de corrélation, quels facteurs avaient influencé de manière significative ledit régime. Nos résultats montrent que l'activité des incendies s'est déplacée vers la plaine au cours du XX^e siècle, probablement en raison de l'augmentation de la densité de population à basse altitude. La saisonnalité des incendies a également évolué. En effet, alors que la plupart des incendies ont eu lieu en été durant la première moitié de la période d'étude (1904–1955), le nombre d'incendies de printemps a nettement augmenté lors de la seconde moitié (1956–2008). La fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle n'ont quant à elles pas été significativement différentes avant et après 1955. En revanche, la balance entre les différents facteurs influençant la fréquence des incendies et la surface brûlée annuelle s'est modifiée au cours de la période d'étude. Alors que la sécheresse semble avoir été prépondérante lors des premières décennies du XX^e siècle, son importance relative a selon toute vraisemblance diminué au profit d'autres facteurs, tels que la disponibilité en combustible.

Dans le cinquième chapitre, l'approche du "point de changement" a été utilisée afin de détecter les changements intervenus dans la fréquence des incendies et la surface brûlée dans les cantons du Tessin et du Valais. Les changements détectés ont été interprétés à la lumière des politiques de lutte contre les incendies ainsi que de l'évolution des cadres socioéconomiques prévalant dans ces cantons. Il ressort de cette analyse que, dans le canton du Valais, les principaux facteurs engendrant des modifications du régime des incendies de forêts sont de natures climatique et socioéconomique. Dans le canton du Tessin, les facteurs liés aux politiques de lutte contre le feu ont également provoqué des modifications notables. Alors que des mesures législatives ont contribué à réduire la fréquence des incendies, les améliorations en matière de lutte contre le feu ont conduit à une réduction de la surface brûlée.

Le présent travail permet de tirer les conclusions suivantes. Premièrement, il apparaît que les incendies de forêt en Valais dépendent fortement de facteurs anthropiques. De ce fait, les incendies ne peuvent être simplement perçus comme une perturbation naturelle, mais également comme un phénomène anthropique conditionné par son contexte socioculturel. Il

existe donc des opportunités de réduction du risque d'incendie et de contrôle de certains aspects du régime des incendies, telle que la surface brûlée.

Deuxièmement, le Valais peut être subdivisé en différentes régions présentant des régimes des incendies bien distincts. Cela laisse supposer que les stratégies de planification et d'application des mesures de prévention et de présuppression nécessitent une approche locale plutôt qu'unifiée au niveau cantonal.

Enfin, la présente thèse a démontré que des changements au niveau du régime des incendies et de leurs facteurs déterminants peuvent intervenir dans un laps de temps de quelques décennies seulement. La validité et la pertinence des mesures prises en matière de gestion des incendies de forêt devraient donc être régulièrement réévaluées afin de pouvoir procéder à d'éventuels ajustements. Ce dernier point est particulièrement important dans le contexte actuel de changements rapides des conditions environnementales.