

**Évolution du taux d'incendies  
de forêt dans le bassin  
à risque « Fenouillèdes »,  
Pyrénées-Orientales (66) :  
Analyse des facteurs agricoles**



**TRITSCH Nicolas**

**2013-2014**

**Directeur de recherche :  
BOULAY Raphaël**

**Évolution du taux d'incendies de forêt  
dans le bassin à risque « Fenouillèdes »,  
Pyrénées-Orientales (66) :  
Analyse des facteurs agricoles**

**Directeur de recherche :  
BOULAY Raphaël**

**Auteur :  
TRITSCH Nicolas**

**Année 2013 - 2014**

## **AVERTISSEMENT**

---

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

## **FORMATION PAR LA RECHERCHE ET PROJET DE FIN D'ETUDES EN GENIE DE L'AMENAGEMENT**

---

La formation au génie de l'aménagement, assurée par le département aménagement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

**Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne les mémoires à partir de la mention bien.**

## REMERCIEMENTS

---

Un grand merci à tous ceux qui m'ont aidé, dans la réalisation de ce projet de fin d'études. Et particulièrement à :

- M. BOULAY Raphaël, enseignant-chercheur et maitre de conférences, qui a su m'accompagner et répondre à mes questions tout au long de ce projet de recherche.
- M. SERRHINI Kamal, enseignant-chercheur et maitre de conférences, qui m'a apporté son soutien pour l'analyse en composante principale.
- M. HAMDOUCH Abdel-Ilah, enseignant-chercheur et professeur des Universités, pour avoir pris en considération le cas particulier de notre groupe de projet de fin d'études.
- M. MARTOUZET Denis, enseignant-chercheur et professeur des Universités, pour avoir pris en considération le cas particulier de notre groupe de projet de fin d'études.
- Mme POLOMBO Nadine, maitre de conférences, pour avoir répondu à mes questions lors de l'étude spatiale des incendies de forêt.
- M. SERRANO José, enseignant-chercheur et maitre de conférences, pour avoir accepté d'évaluer mon travail à mi parcours et d'y avoir accordé du temps.
- M. CENDRIER Denis, pour m'avoir fourni une licence enseignement recherche de Météo-France.

## Intrroduction

Depuis la préhistoire, les Hommes élaborent les paysages à travers le monde à l'aide des incendies de forêt (Bond et al., 2004). Cela est particulièrement vrai dans la Méditerranée où les paysages ont été modifiés par des incendies au cours des millénaires (Di Castri et al., 1973 ; Naveh, 1975 ; Trabaud, 1980 ; Trabaud et al., 1993). Les incendies ont été utilisés par l'Homme pour déboiser de vastes territoires dans le but d'étendre l'habitat humain, ainsi que l'activité agricole et l'élevage. L'agriculture pendant des siècles a permis de lutter contre les incendies de forêt, en maintenant des paysages ruraux ouverts par l'utilisation des terres pour la culture agricole et pour l'élevage. Parallèlement, le bois était récolté pour être utilisé en tant que bois de chauffage, limitant ainsi l'accumulation de combustibles nécessaires à l'éclosion d'incendies.

A partir du XXème siècle, le changement social dans les sociétés occidentales a entraîné une migration des populations rurales vers les villes, laissant ainsi à l'abandon les terres marginales de cultures et de pâturages (Ayuda et al., 2010). Les territoires qui ne sont plus cultivés ou ne sont plus utilisés par les éleveurs sont rapidement gagnés par la friche, ou la lande, puis progressivement par des mosaïques de milieux enherbés et boisés, avant que les boisements n'évoluent vers la forêt (Terrasson, 2011). Couplé à cette déprise agricole, la diminution de l'utilisation du bois de chauffage a entraîné une accumulation de combustibles sur ces territoires autrefois entretenus par les agriculteurs. Dès la moitié du XXème siècle, la révolution agricole a modifié considérablement le paysage agricole. L'arrivée de nouvelles machines et de nouvelles techniques agricoles a permis aux agriculteurs de changer de mode de production. Progressivement l'élevage en pâturage a laissé place à un élevage intensif en hors sol, ce qui a stoppé l'entretien des zones de pâturages et a accéléré la déprise agricole (Moreira et al., 2007).

La révolution industrielle a fourni des machines agricoles toujours plus puissantes, ce qui a permis aux agriculteurs de gagner des territoires sur les milieux naturels et d'étendre leurs surfaces agricoles cultivées, ainsi que d'augmenter en même temps l'interface entre les milieux agricoles et les milieux naturels. L'augmentation de la déprise agricole, l'accumulation de combustibles et l'augmentation des travaux agricoles ont entraîné, à partir des années 1970, un changement de régime dans les incendies de forêt dans le bassin méditerranéen (Pausas et al., 2011).

Je vais tester l'hypothèse que la présence d'activités agricoles sur les communes du bassin à risque « Fenouillèdes »<sup>1</sup>, dans le département des Pyrénées-Orientales, influence de manière positive le risque d'incendie. Pour cela, je vais m'appuyer sur des articles scientifiques et je vais réaliser des analyses statistiques sur les données extraites de la base de données PROMETHEE<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Représentant les régions naturelles des Fenouillèdes, des Corbières méridionales, du Pays de Sault, d'une partie du bas Conflent et du Roussillon (PDPFCI, 2006).

<sup>2</sup> Outil créé en 1973 par l'Etat pour recenser les incendies de forêt dans une même base de données.

# **Périmètre d'étude : les incendies de forêt dans le département des Pyrénées-Orientales.**

Le département des Pyrénées-Orientales est concerné par la problématique incendies de forêt. Le Plan Départemental de Protection des Forêts contre les Incendies (PDPFCI)<sup>3</sup> recense six bassins à risque et préconise la mise en place de 12 Plans de Prévention Risque Naturel Incendie de Forêts (PPRIF).

## **Les incendies de forêts dans les Pyrénées-Orientales : présentation et enjeux.**

Dans la réglementation française, un feu est défini en tant qu'incendie de forêt lorsqu'il s'est déclaré sur une formation de type forestier, landes, garigues ou maquis et qu'il a une superficie d'au moins un hectare (Colin et al., 2001). Les principales origines des incendies dans le département des Pyrénées-Orientales sont dues à la pression humaine et aux activités agricoles tel que le tourisme ou encore les travaux agricoles comme la taille des vignes par les agriculteurs avec les rogneuses. Tout comme dans l'ensemble de la région, le département des Pyrénées-Orientales connaît depuis quelques années une période de forte pression démographique, pour réduire les enjeux humains et matériels, le département interdit la constructibilité dans l'ensemble des zones où le risque est fort à très fort (PPRIF, 2013). Pour lutter contre les incendies de forêt chaque commune du département<sup>4</sup> doit tenir compte dans son plan aménagement de la réglementation Défense des Forêts Contre l'Incendie (DFCI) qui prévoit un certain nombre de mesures de prévention pour lutter contre les incendies.

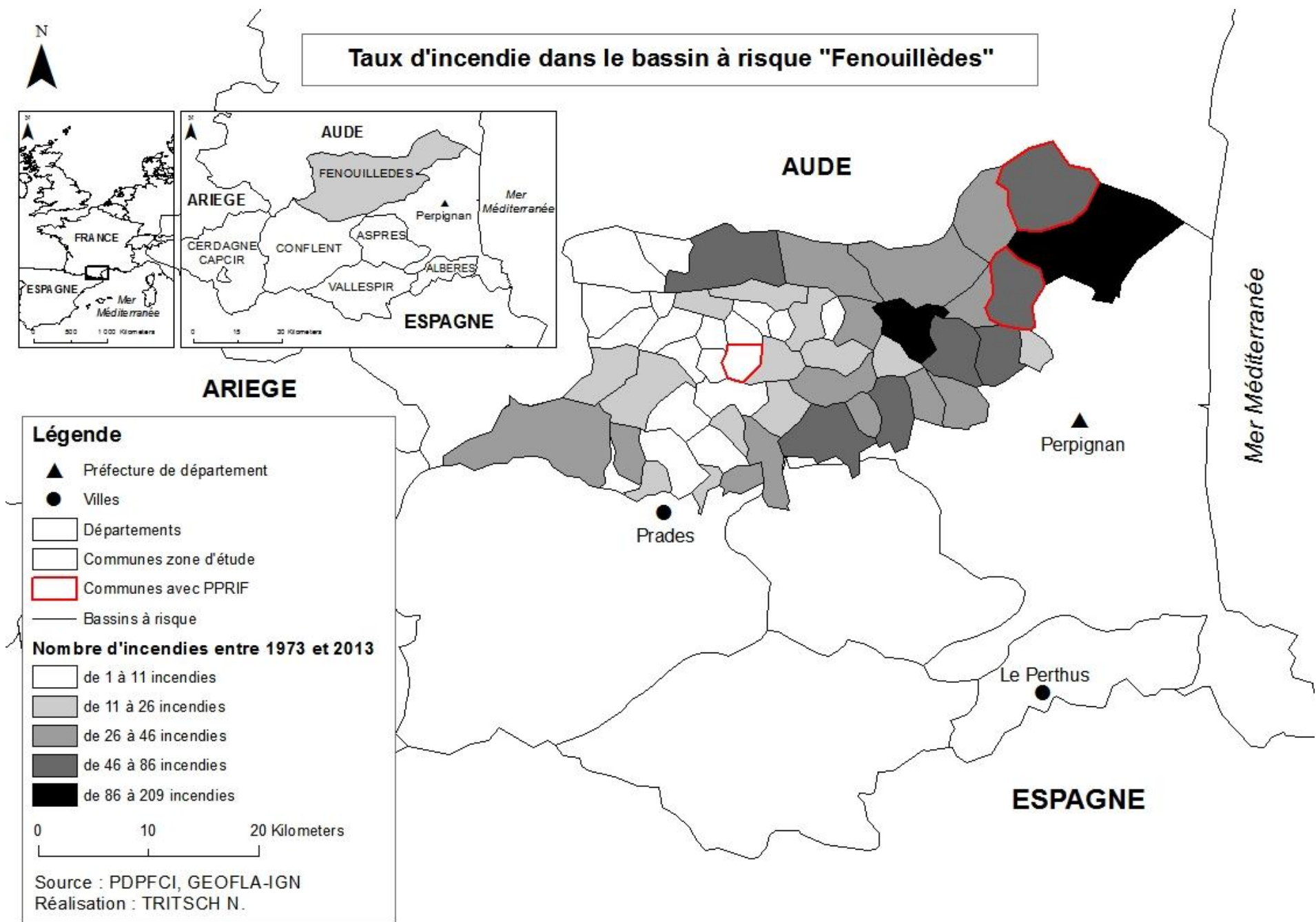
## **Zone d'étude : le bassin à risque « Fenouillèdes » représenté par les massifs des Fenouillèdes, des Corbières méridionales et du bas Conflent.**

Le site d'étude est le massif recouvert par les régions naturelles des Fenouillèdes, des Corbières méridionales, du Pays de Sault, d'une partie du bas Conflent et du Roussillon. Afin d'en faciliter la lecture, il est nommé « Fenouillèdes » (PDPFCI, 2006). Le choix d'étudier le bassin à risque « Fenouillèdes » s'est fait suivant plusieurs critères, notamment celui du gradient d'incendies que présente le territoire, mais aussi le fort taux d'activités agricoles. Sur 54 communes, 22 communes ont connu au moins 26 incendies en 40 ans. De plus, généralement les villages et autres habitats sont ceinturés par des vignes, sur ses 99 675 ha, soit 24,1% de la surface départementale, 29 602 km<sup>2</sup> sont dédiés à la viticulture (PDPFCI, 2006). Le bassin à risque des « Fenouillèdes » couvre des profils communaux variés, avec une densité de 38 hab/km<sup>2</sup>, qui ont connu différents degrés d'incendies (cf. tableau 1. Analyse descriptive des variables). Sur la zone d'étude, trois communes, Trilla, Espira-de-l'Agly et Opoul-Perillos ont mis en place depuis 2006 un PPRIF (PDPFCI, 2006). Le fort taux d'activités agricoles sera un facteur important dans l'analyse des résultats du nombre d'incendies par commune.

---

<sup>3</sup> Arrêté préfectoral n°1627-06 du 3 mai 2006.

<sup>4</sup> Excepté les communes de la plaine du Roussillon.



Carte 1. Taux d'incendie sur le bassin à risque « Fenouillèdes »

# Méthodes et données

## Données

La base de données PROMETHEE contient des informations sur 1 588 incendies recensés au cours des 40 dernières années (de janvier 1973 à janvier 2013) sur le bassin à risque « Fenouillèdes ». La base de données fournit des informations telles que la date de l'incendie, la commune d'éclosion de l'incendie, le type d'alerte donné, la surface incendiée etc. Les incendies de forêt n'ont pas pu être géo référencé car le code carreau est inexploitable ; en effet, celui-ci ne possède aucun système de coordonnées. De plus, il n'est pas possible d'extraire de la base de données PROMETHEE le shapefile des incendies de forêt. Les incendies de forêt n'ont donc pu être géo référencé qu'à l'échelle communale.

L'interface entre les vignobles et les milieux naturels a été calculé à l'aide des données d'occupation du sol de la base de données CORINE Land Cover. Le logiciel ArcMAP m'a permis d'isoler par une requête les vignobles, les forêts de feuillus et la végétation sclérophylle. Un buffer d'un mètre a été réalisé autour de chaque vignoble. L'interface en kilomètre a été obtenue par l'intersection du buffer avec les milieux naturels et milieux semi-naturels.

L'occupation du sol de la base de données CORINE Land Cover m'a permis d'extraire la surface agricole totale ainsi que la surface viticole totale par commune.

Les recensements de l'INSEE de 1962 à 2011 m'ont permis de connaître la population de chaque commune en 1962, ainsi que de déterminer le taux d'évolution de la population entre 1962 et 2011 par le calcul suivant :

$$T_{EVO} = \frac{POP_{2011} - POP_{1962}}{POP_{1962}} \times 100$$

Afin de tenir compte des tendances spatiales des incendies de forêt sur la zone d'étude, la latitude et la longitude des communes ont été calculées manuellement à l'aide de Google Earth pour chacune des communes du bassin à risque « Fenouillèdes ».

Une première analyse descriptive des données a été réalisée afin de mieux comprendre la distribution des différentes variables sur la zone d'étude. Tout d'abord nous pouvons noter qu'il n'y a aucun manque de données. Toutes les variables sont bien représentées sur les 54 communes du bassin à risque. Le nombre d'incendies sur les 54 communes est en moyenne de 29 incendies avec un minimum de 1 et un maximum de 209. Les incendies sont bien distribués sur la zone d'étude, ce qui permettra d'étudier avec plus de précision les variables influençant le nombre d'incendies. Nous pouvons effectuer le même constat sur la surface incendiée dont l'écart-type de 703 représente une bonne dispersion des surfaces incendiées sur les 54 communes. Les valeurs prises par la longitude et la latitude montrent que l'étude se focalise sur une zone géographique très localisée, le bassin à risque « Fenouillèdes ». La comparaison entre la moyenne de la surface viticole et la moyenne de la surface agricole

montre bien que le bassin à risque « Fenouillèdes » a une forte vocation viticole (Tableau 1., variable NB\_INC, SURF\_INC, LONG, LAT, SURF\_AG et SURF\_VI).

Variables	N	Moyenne	Ecart-type	Min.	Max.
NB_INC	54	29.41	33.89	1	209
SURF_COM	54	1930	1594.98	441	8277
LONG	54	42.74	0.06	42.63	42.87
LAT	54	2.573	0.15	2.349	2.919
POP_1962	54	670.8	915.35	26	5074
T_EVO	54	9.33	46.01	-55	139
SURF_INC	54	382.25	703.03	1	3271
SURF_AG	54	671.3	681.93	70	3619
SURF_VI	54	446.6	624.93	0	3022
INTER_V_VS	54	4.04	7.66	0	39
INTER_V_FF	54	3.07	5.18	0	23

**Note.** NB\_INC: nombre d'incendies survenus sur la commune entre 1973 et 2013 ; SURF\_COM: surface de la commune (hectare) ; LONG: longitude de la commune ; LAT: latitude de la commune ; POP\_1962: population recensée en 1962 par l'INSEE ; T\_EVO: taux d'évolution de la population entre 1963 et 2011 ; SURF\_INC: surface incendiée sur la commune entre 1973 et 2013 ; SURF\_AG: surface totale agricole sur la commune (hectare) ; SURF\_VI: surface totale des vignobles sur la commune (hectare) ; INTER\_V\_VS: interface entre les vignobles et la végétationcléoriphyle (kilomètre) ; INTER\_V\_FF: interface entre les vignobles et la forêt de feuillus (kilomètre).

**Tableau 1.** Analyse descriptive des variables communales et des variables agricoles sur le bassin à risque « Fenouillèdes ».

## Analyse statistique des données

Cette partie expose les principales méthodes d'analyses statistiques employées. Par contre, le choix des variables est expliqué dans la présentation des résultats.

Les seuils de signification des tests statistiques sont illustrés de la manière suivante : \*\*\* seuil < 0,001 ; \*\* seuil < 0,01 ; \* seuil < 0,05.

Premièrement, afin d'estimer si les variables suivent une loi normale, un premier test de normalité a été réalisé à l'aide du test de Shapiro-Wilk (Shapiro et al., 1965). Ces variables ne pouvant être rattachées à une loi normale, j'ai transformé l'ensemble de ces variables par un logarithme afin d'approcher de la loi normale. J'ai ainsi pu réaliser des tests paramétriques. Des analyses bi-variées ont été effectuées, afin de comprendre les corrélations entre les différentes variables étudiées, à l'aide de la méthode Pearson (Walker, 1958).

Deuxièmement, une analyse multidimensionnelle a été réalisée à l'aide du package *ade4* (Dray et al., 2007) et du package *FactoMineR* (Husson et al., 2009) du logiciel R afin de

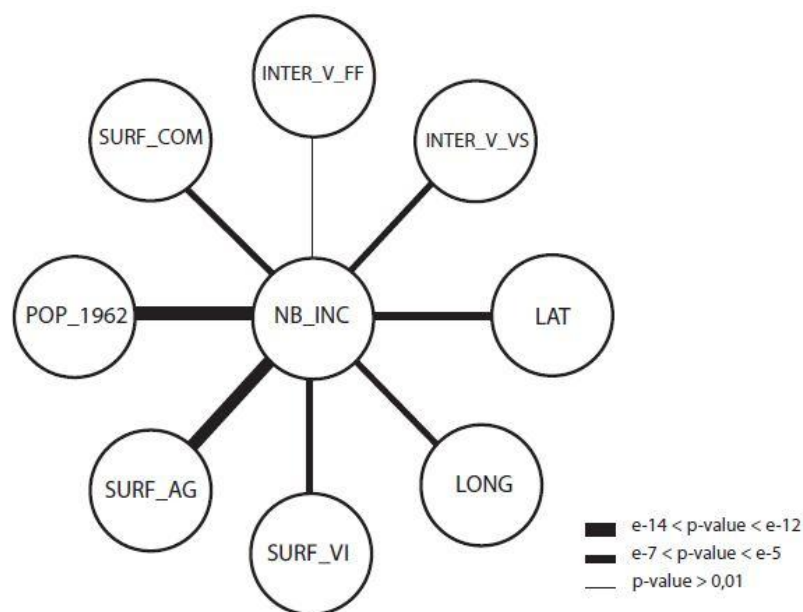
décrire les communes en fonction de l'ensemble des variables. Une analyse en composante principale (ACP) (Husson et al., 2009) des variables agricoles a été réalisée sur les communes afin de comprendre leur implication. L'ACP est centrée-réduite parce que les variables sont exprimées dans différents systèmes d'unités.

Troisièmement, un modèle de régression linéaire (Cornillon et al., 2007) a été mis en place afin de comprendre le lien entre les variables agricoles et le logarithme du nombre incendies.

## Résultats

Les communes dans la zone d'étude n'ont pas de caractéristiques homogènes et plusieurs variables influencent leurs caractéristiques, telles que par exemple leurs surfaces communales. Il semble important d'analyser la structure du taux d'incendies dans l'espace suivant les variables surfaces et interfaces agricoles. Pour réaliser cette analyse, j'ai sélectionné plusieurs variables qui décrivent les communes observées sur le site d'étude et qui, selon mes recherches, sont pertinentes pour expliquer la variabilité du taux d'incendies.

- le nombre d'incendies (NB\_INC)
- la surface incendiée (SURF\_INC) en hectare
- la surface de la commune (SURF\_COM) en hectare
- la population recensée en 1962 (POP\_1962)
- la latitude de la commune (LAT) en coordonnées UTM
- la longitude de la commune (LONG) en coordonnées UTM
- la surface agricole totale (SURF\_AG) en hectare
- la surface de vignobles totale (SURF\_VI) en hectare
- l'interface entre les vignobles et la forêt de feuillus (INTER\_V\_FF) en kilomètre
- l'interface entre les vignobles et la végétation sclérophylle (INTER\_V\_VS) en kilomètre



**Schéma 1.** Corrélations entre les variables

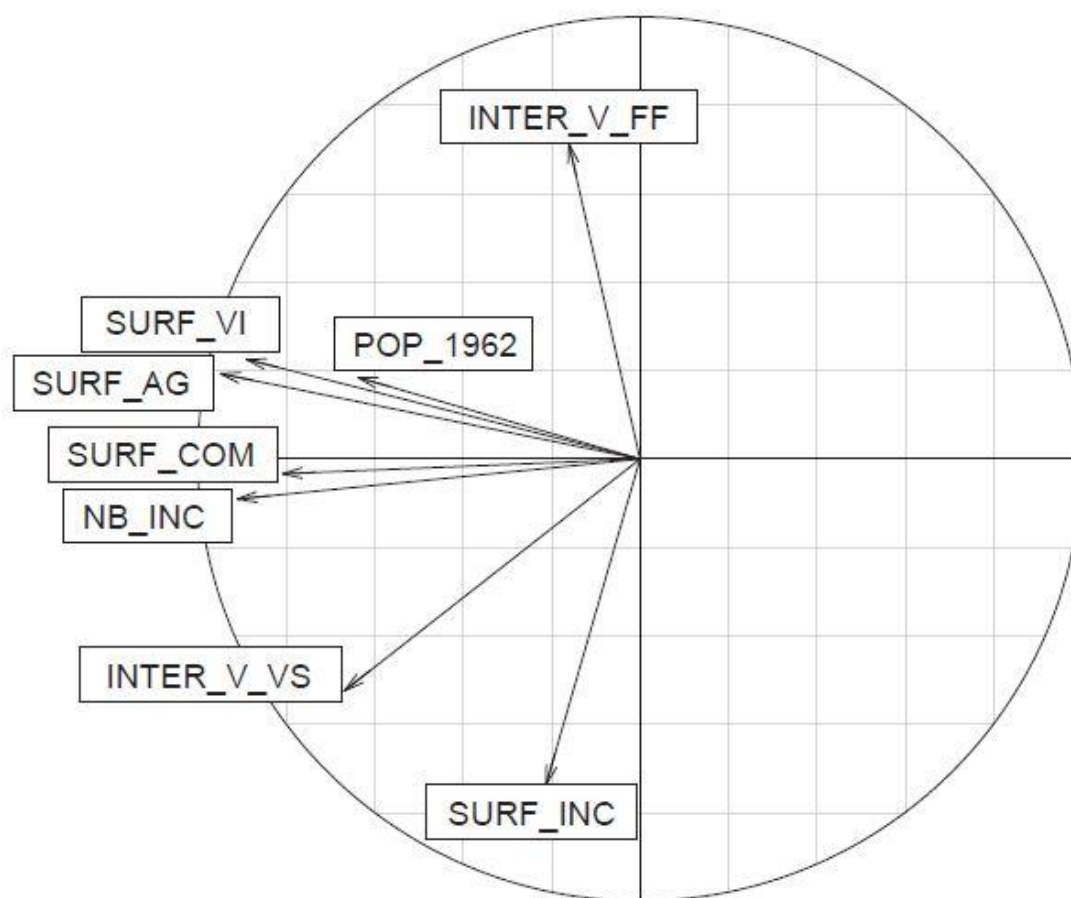
Le premier constat qui ressort de l'analyse des corrélations montre qu'il y a un lien très fort entre le logarithme du nombre d'incendies et la variable surface communale (Tableau 2., variable NB\_INC et SURF\_COM). Par simple déduction, on comprend facilement que la surface de la commune influence directement le nombre d'incendies par simple effet de taille. Ce cas particulier sera développé lors de la discussion. Le second constat est qu'il y a une forte corrélation entre l'ensemble des variables propres à la commune et le logarithme du nombre d'incendies, excepté pour la longitude de la commune. De même, la corrélation est forte entre le nombre d'incendies et l'ensemble des variables agricoles, sauf avec l'interface entre les vignobles et la forêt de feuillus. La forêt de feuillus est humide dans le bassin à risque « Fenouillèdes », elle ne permet pas l'éclosion d'incendies comparé à la végétation sclérophylle du type maquis, qui elle, est beaucoup plus sèche et inflammable (Inventaire forestier, 2012).

Variables	Variables	p-value	p-value
NB_INC	SURF_COM	4.926e-07 ***	<0.0001
NB_INC	POP_1962	1.232e-14 ***	<0.0001
NB_INC	LONG	0.5622	>0.0100
NB_INC	LAT	4.384e-07 ***	<0.0001
NB_INC	SURF_AG	3.496e-12 ***	<0.0001
NB_INC	SURF_VI	3.045e-06 ***	<0.0001
NB_INC	INTER_V_VS	3.379e-05 ***	<0.0001
NB_INC	INTER_V_FF	0.8176	>0.0100

**Note.** NB\_INC: nombre d'incendies survenus sur la commune entre 1973 et 2013 ; SURF\_COM: surface de la commune (hectare) ; LONG: longitude de la commune ; LAT: latitude de la commune ; POP\_1962: population recensée en 1962 par l'INSEE ; SURF\_AG: surface totale agricole sur la commune (hectare) ; SURF\_VI: surface totale des vignobles sur la commune (hectare) ; INTER\_V\_VS: interface entre les vignobles et la végétation sclérophylle (kilomètre) ; INTER\_V\_FF: interface entre les vignobles et la forêt de feuillus (kilomètre).

**Tableau 2.** Tableau des corrélations entre les variables

J'ai réalisé des analyses en composante principale (ACP) centrée réduite des données issues de la base de données PROMETHEE et des données communales (N= 54 communes). Les cercles de corrélations de l'ACP de la zone d'étude montrent que toutes les variables sont bien représentées sur le plan 1-2. Selon le critère de Kaiser, les axes dont les valeurs propres sont supérieures à 1 ont été sélectionnés, soit les deux premiers axes (Tableau 3. Explication de la variance par facteurs). Ces axes permettent d'expliquer 69,5% de l'inertie totale dans le bassin à risque « Fenouillèdes ».



**Graphique 1.** Cercle de corrélation de l'ACP

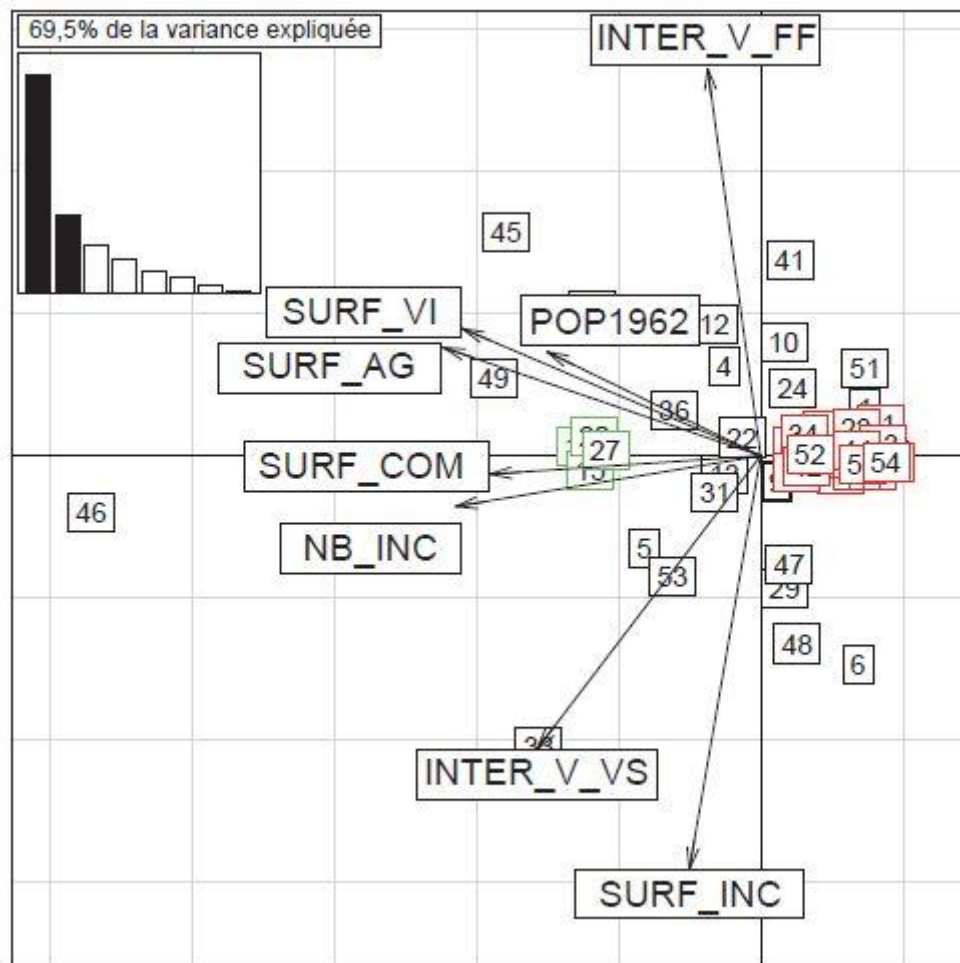
Axe	Variance expliquée (%)	Variance cumulée (%)
1	51,26	51,26
2	18,21	69,47
3	11,16	80,63

**Tableau 3.** Tableau de la variance expliquée par facteur

La première composante principale (inertie de 51% dans le bassin à risque) est constituée uniquement de variables négatives. La variable surface agricole totale contribue à 22% à la construction de l'axe F1, tandis que la variable nombre d'incendies contribue à hauteur de 20,3% à la construction de cet axe. La seconde composante principale (inertie de 18% dans le bassin à risque) oppose les variables négatives (SURF\_INC, INTER\_V\_VS) à la variable positive (INTER\_V\_FF).

De plus en terme statistique, on peut noter que la corrélation entre les variables négatives, le nombre d'incendies et la surface communale est très forte soit près de 70%. Ces variables sont aussi très corrélées avec l'axe F1 avec respectivement 91% et 81% de corrélation (cf. Annexes, tableau corrélations entre les variables et les facteurs). Le même constat peut être

fait entre les variables positives, la surface agricole totale et la surface viticole totale, qui sont corrélées ensemble à près de 93% (cf. Annexes, matrice de corrélations).



**Graphique 2.** Représentation des variables et des individus selon les facteurs.

Le nuage des individus montre qu'il y a deux groupes de communes homogènes qui s'opposent par l'axe F2 (Graphique 1 : communes représentées en rouge et vert). Pour réaliser l'analyse statistique de l'ACP avec les individus, une analyse descriptive de chaque groupe de communes a été réalisée. La comparaison entre ces analyses descriptives et l'analyse descriptive présentée dans le tableau 1., a montré que le groupe de 20 communes possède des caractéristiques agricoles homogènes, représentées par une faible surface agricole et viticole, ainsi qu'une faible interface entre les vignobles et les milieux naturels. On peut noter que ces communes ont une superficie communale supérieure à la moyenne, et que, malgré qu'elles ont connu un taux moins important d'incendies, la superficie brûlée est très importante. Par opposition à l'axe F2, le groupe de 5 communes possède des caractéristiques agricoles et un taux d'incendies plus important que la moyenne normale. Néanmoins, la superficie incendiée moyenne est beaucoup plus faible que la superficie incendiée moyenne dans l'ensemble du bassin à risque « Fenouillèdes ». On peut noter que, dans ces deux groupes de communes, l'augmentation de la superficie agricole et de l'interface entre les vignobles et les milieux

naturels n'influence pas de manière positive le nombre d'incendies, ainsi que la surface incendiée.

Différents modèles de régressions linéaires ont été réalisés afin d'obtenir un modèle prédictif qui explique le logarithme du nombre d'incendies ou le logarithme de la surface incendiée en fonction des variables communales et agricoles. Le modèle de régression linéaire retenu est le modèle ayant le meilleur coefficient de détermination ( $R^2$ ) et la meilleure somme des carrés des résidus<sup>5</sup>. Ce modèle prédictif a permis d'exprimer le logarithme du taux d'incendies en gardant uniquement les variables significatives, il est représenté par l'équation suivante :

$$\log(NB\ INC) = 7.92e^{-05}SURF\ COM + 1.82e^{+02}LAT + 5.83e^{-05}POP\ 1962$$

*Avec  $R^2 = 59\%$  et  $RSS < 5$*

En terme statistique, le  $R^2$  de 59%, indique que l'équation du modèle est assez adaptée pour décrire la distribution du nombre d'incendies, mais le résultat reste tout de même à interpréter avec beaucoup de précaution. Par contre le RSS qui est inférieur à cinq indique un ajustement serré du modèle aux données, ce qui est convenable. Le modèle qui exprimait le logarithme du taux d'incendies ramené à l'hectare de commune avait un  $R^2$  égale à 36% et un RSS de 30. Idem le modèle qui exprimait le logarithme de la surface incendiée ramené à l'hectare de commune avait un  $R^2$  égale à 15% et un RSS supérieur à 120. Ces modèles n'étaient pas assez adaptés pour déterminer précisément une équation de la distribution des incendies sur le bassin à risque « Fenouillèdes ».

Le modèle prédictif retenu explique le logarithme du nombre d'incendies comme étant influencé de manière positive par la surface des communes, la latitude ainsi que la population de 1962.

---

<sup>5</sup> En anglais: Residual Sum of Squares.

Variabes	Estimate	F value	Pr (> F)
SURF_COM	7.921e-05	38.9309	2.408e-07 ***
LONG	-1.310e+01	2.1860	0.14731
LAT	1.823e+02	35.5488	5.843e-07 ***
POP_1962	5.832e-05	4.9819	0.03143 *
T_EVO	6.055e-04	0.0929	0.76218
SURF_INC	-1.797e-07	0.3008	0.58649
SURF_AG	4.312e-04	0.2678	0.60771
SURF_VI	2.113e-04	0.1589	0.69231
INTER_V_VS	6.677e-03	0.3682	0.54750
INTER_V_FF	-1.480e-03	0.6016	0.44265
LONG*LAT	4.282e+00	0.1017	0.75153
POP_1962*T_EVO	-7.813e-07	0.4578	0.50264
SURF_AG*SURF_VI	-1.689e-07	2.7343	0.10624
INTER_V_VS*INTER_V_FF	1.427e-03	0.2488	0.62069

**Note.** NB\_INC: nombre d'incendies survenus sur la commune entre 1973 et 2013 ; SURF\_COM: surface de la commune (hectare) ; LONG: longitude de la commune ; LAT: latitude de la commune ; POP\_1962: population recensée en 1962 par l'INSEE ; T\_EVO: taux d'évolution de la population entre 1963 et 2011 ; SURF\_INC: surface incendiée sur la commune entre 1973 et 2013 ; SURF\_AG: surface totale agricole sur la commune (hectare) ; SURF\_VI: surface totale des vignobles sur la commune (hectare) ; INTER\_V\_VS: interface entre les vignobles et la végétation cléoriphyle (kilomètre) ; INTER\_V\_FF: interface entre les vignobles et la forêt de feuillus (kilomètre) ; LONG\*LAT, POP\_1962\*T\_EVO, SURF\_AG\*SURF\_VI, INTER\_V\_VS\*INTER\_V\_FF: interaction entre les deux variables.

**Tableau 4.** Tableau du modèle de régression linéaire.

## Discussion

Le code carreau localisant les incendies de la base de données PROMETHEE sur le périmètre d'étude, n'a pas permis, après manipulation et transformation, de localiser les incendies plus précisément que sur la commune d'éclosion de l'incendie. Les analyses statistiques comme l'ACP et le modèle de régression linéaire ont été réalisés avec des variables transformées du nombre d'incendies, tels que le nombre d'incendies par hectare ou encore la superficie brûlée par hectare. Mais comme nous avons pu le constater lors des analyses statistiques, la superficie communale reste toujours très fortement corrélée au nombre d'incendies ou à son logarithme. Les résultats sont sans appel, la superficie communale influence de manière positive le nombre d'incendies par simple effet de taille. Nous pourrions envisager, afin d'améliorer les résultats, de géo-référencer manuellement les 1 588 incendies sur la zone d'étude, ce qui permettrait d'étudier les différentes variables fournies par la base de données PROMETHEE, sans tenir compte de l'échelle communale.

De plus, les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R, logiciel de recherche statistique, utilisant des commandes pour réaliser les calculs. Ce logiciel est complexe et nécessite un certain entraînement malgré l'utilisation de l'interface RStudio, il ne fournit pas les calculs intermédiaires pour réaliser l'ACP. En effet, le logiciel utilise la fonction ACP du package *FactoMineR* (Husson et al., 2009) ce qui permet de générer directement le résultat de l'ACP. Pour compléter l'analyse statistique avec le logiciel R, j'ai réalisé en parallèle, les mêmes analyses statistiques avec le module XLSTAT du logiciel Excel. Ce module, permet de réaliser des analyses statistiques à partir de données stockées dans un classeur Excel. Ce logiciel est d'autant plus facile à manipuler, que l'interface graphique est identique au logiciel Excel et qu'il fournit tous les calculs intermédiaires nécessaires à l'interprétation de l'ACP. Le logiciel R a été néanmoins très pratique pour réaliser les modèles de régressions linéaires dans le but de pouvoir valider mon hypothèse de travail et d'obtenir une équation mathématique représentant le nombre d'incendies en fonction des différentes variables agricoles.

L'hypothèse de travail cherchait à expliquer le taux d'incendies ou la surface incendiée sur le bassin à risque « Fenouillèdes » comme étant le résultat d'une forte activité agricole. En effet, sur le bassin à risque « Fenouillèdes » près de 29% du territoire est entièrement dédié à l'agriculture, plus principalement à la viticulture. Le modèle de régression linéaire retenu n'a pas identifié de liens entre le logarithme du nombre d'incendies et les différentes variables agricoles. Malgré que les travaux agricoles représentent 21% des causes d'incendies de forêt en France (Foucault, 2002). Le  $R^2$  et le RSS de ce modèle sont assez satisfaisants. On peut donc interpréter, d'après ce modèle de régression, que les travaux agricoles sur le bassin à risque « Fenouillèdes » n'influence pas le nombre d'incendies, ni la surface incendiée. Le taux d'incendies semble être influencé tout de même par la population de 1962 ainsi que la latitude au sein du bassin à risque. En effet la population est la principale cause d'incendies, source d'imprudence et de malveillance (Colin et al., 2001). L'augmentation de la latitude au sein du bassin à risque « Fenouillèdes », correspond au massif des Corbières méridionales, en partie constitué par des collines méditerranéennes qui offre un paysage aride, composé de vignes dans les vallons et sur les coteaux, ainsi que de garrigues et de taillis de chênes verts sur les versants. Ce massif possède un risque « synthétique » très sensible (PDPFCI, 2006), ce qui explique le rôle central joué par la latitude dans l'expression du logarithme du nombre d'incendies.

## Conclusion

Risque majeur dans l'ensemble du département des Pyrénées-Orientales, les incendies de forêt représentent des enjeux économiques, sociaux et environnementaux pour les autorités locales. Le préfet de département a prescrit en 2006 à trois communes du bassin à risque « Fenouillèdes » de réaliser chacune un Plan de Prévention des Risque d'Incendie de Forêts (PPRIF). De plus le changement de régime des incendies dans les années 1970 dans l'ensemble du bassin méditerranéen (Pausas et al., 2011) soulève de nombreuses questions.

Quel type d'occupation du sol entraîne le plus d'incendies de forêt ? Quelles sont les variables qui influencent le taux d'incendies ?

Pour la période comprise entre janvier 1973 et janvier 2013, j'ai testé lors de cette étude, que l'activité agricole présente sur les communes du bassin à risque « Fenouillèdes », dans le département des Pyrénées-Orientales, influençait de manière positive le taux d'incendies qu'avaient connu les communes.

Les informations issues de la base de données nationale PROMETHEE ont montré qu'il y avait eu 1 588 incendies sur le bassin à risque « Fenouillèdes ». Les analyses statistiques effectuées ont suggéré qu'il y avait une forte corrélation entre le nombre d'incendies ou son logarithme avec les variables agricoles, telles que la surface agricole totale en hectare ainsi que l'interface entre les vignobles et la végétation sclérophylle en kilomètre.

Le modèle de régression linéaire réalisé à l'aide du logiciel R, n'a pas permis de valider l'hypothèse de travail. En effet, le modèle a exprimé le logarithme du taux d'incendies uniquement avec les variables significatives. J'ai ainsi pu démontrer que le logarithme du taux d'incendies était influencé de manière positive par la surface communale, la latitude et par la population de 1962 de la commune. Le code carreau localisant les incendies sur le département des Pyrénées-Orientales, n'a pas permis, après manipulation, de géo-référencer plus précisément les incendies qu'à l'échelle communale. La surface de la commune a biaisé les résultats du modèle de régression linéaire. Il faudrait, pour exploiter pleinement les résultats du modèle de régression linéaire, pouvoir géo-référencer les 1 588 incendies de forêt plus précisément sur le bassin à risque « Fenouillèdes ».

Enfin, pour compléter cette étude, et rendre réellement efficace les résultats du modèle de régression linéaire, il faudrait prendre en compte d'autres paramètres tels que les paramètres climatiques. Les données climatiques comme la température, le taux d'humidité ou bien la pluviométrie sont des données fournies par Météo-France quotidiennement et/ou mensuellement. Pour exploiter ce type de données, sur une aussi grande période, il faudrait faire appel à des analyses plus techniques des variables, années par années.

## Bibliographie

- ❖ Ayuda M.I., Collantes F., Pinilla V., 2010, *From locational fundamentals to increasing returns: The spatial concentration of population in Spain, 1787-2000*, 25-50 p. [En ligne], consulté le 12 avril 2014.  
URL: [http://www.researchgate.net/publication/28099578\\_From\\_Locational\\_Fundamentals\\_to\\_Increasing\\_Returns\\_The\\_Spatial\\_Concentration\\_of\\_Population\\_in\\_Spain\\_1787-2000/file/9fcfd50efcd14bfa2b.pdf](http://www.researchgate.net/publication/28099578_From_Locational_Fundamentals_to_Increasing_Returns_The_Spatial_Concentration_of_Population_in_Spain_1787-2000/file/9fcfd50efcd14bfa2b.pdf)
- ❖ Bond W.J., Woodward F.I., Midgley G.F., 2004, *The global distribution of ecosystems in a world without fire*, *New Phytologist*, 525-538 p. [En ligne], consulté le 13 avril 2014.  
URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x/pdf>
- ❖ Colin P.Y., Jappiot M., Mariel A., 2001, *Protection des forêts contre l'incendie*, GEMAGREF, Département Gestion des territoires, Groupement d'Aix-en-Provence, 139 p. [En ligne], consulté le 19 novembre 2013.  
URL: <http://www.fao.org/docrep/005/y2747f/y2747f00.HTM>
- ❖ Cornillon P.A. & Matzner-Lober E., 2007, *Régression : Théorie et applications*, Springer, 1<sup>er</sup> édition, 33-50 p. [En ligne], consulté le 31 mars 2014.  
URL: [http://books.google.fr/books?id=Kz-cgsn634kC&pg=PA57&hl=fr&source=gbs\\_toc\\_r&cad=4#v=onepage&q&f=false](http://books.google.fr/books?id=Kz-cgsn634kC&pg=PA57&hl=fr&source=gbs_toc_r&cad=4#v=onepage&q&f=false)
- ❖ Département des Pyrénées-Orientales, 2006, *Plan Départemental de Protection des Forêts contre les Incendies*, 149 p. [En ligne], consulté le 24 novembre 2013.  
URL: [http://www.ofme.org/documents/textesdfci/PDPFCI/PDPFCI\\_66.pdf](http://www.ofme.org/documents/textesdfci/PDPFCI/PDPFCI_66.pdf)
- ❖ Département des Pyrénées-Orientales, 2013, *Plan de Prévention des Risque d'Incendie de Forêt, Rapport de Présentation*, 49 p. [En ligne], consulté le 08 mai 2014.  
URL: <http://www.pyrenees-orientales.gouv.fr/content/download/9465/56671/file/PPRif%20de%20C%C3%A9ret%20-%20rapport%20de%20presentation.pdf>
- ❖ Di Castri F., Mooney H.A., 1973, *Mediterranean type ecosystems. Origin and Structure*. Ecological studies 7. Springer, Berlin, 405 p.
- ❖ Dray S. & Dufour A.B., 2007, *The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists*, *Journal of Statistical Software*, 20 p. [En ligne], consulté le 06 avril 2014.  
URL: <http://pbil.univ-lyon1.fr/ade4/article/jss/jss.pdf>

- ❖ Foucault B., 2002, *Guide méthodologique : Plans de prévention des risques d'incendies de forêt*, Ministère de l'Ecologie et du Développement durable, 88 p. [En ligne], consulté le 13 décembre 2013.  
URL: [http://catalogue.prim.net/133\\_plans-de-prevention-des-risques-naturels-ppr-risques-d-incendies-de-foret-guide-methodologique.html](http://catalogue.prim.net/133_plans-de-prevention-des-risques-naturels-ppr-risques-d-incendies-de-foret-guide-methodologique.html)
- ❖ Husson F., Lê S., Pagès J., 2009, *Analyse de données avec R. Pratique de la Statistique*, Presses Universitaire de Rennes, 224 p. [En ligne], consulté le 6 avril 2014.  
URL: <http://www.pur-editions.fr/detail.php?idOuv=2166>
- ❖ Husson F., Josse J., Lê S., Mazet J., 2009, *Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R*, CRAN, 84 p. [En ligne], consulté le 24 avril 2014.  
URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/FactoMineR/FactoMineR.pdf>
- ❖ Institut National de l'Information Géographique et Forestière, 2008-2012, *Résultats d'inventaire forestier*, 42 p. [En ligne], consulté le 24 février 2014.  
URL: [http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/RES-DEP-2012/RS\\_0812\\_DEP\\_66.pdf](http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/RES-DEP-2012/RS_0812_DEP_66.pdf)
- ❖ Moreira F., Catry F.X., Rego F., Bacao F., 2010, *Size-dependent pattern of wildfire ignitions in Portugal: when do ignitions turn into big fires?*, 13 p. [En ligne], consulté le 18 février 2014.  
URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10980-007-9125-3>
- ❖ Naveh Z., 1975, *The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region*. *Vegetation*, 199-208 p. [En ligne], consulté le 13 avril 2014.  
URL: <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02390011#page-1>
- ❖ Pausas J.G., Fernandez-Munoz S., 2011, *Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: from fuel-limited to drought-driven fire regime*, 12 p. [En ligne], consulté le 22 février 2014.  
URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10980-007-9125-3>
- ❖ Shapiro S. S. & Wilk M. B., 1965, *An Analysis of Variance Test for Normality*, *Biometrika*, 591-611 p [En ligne], consulté le 06 avril 2014.  
URL: <http://sci2s.ugr.es/keel/pdf/algorithm/articulo/shapiro1965.pdf>
- ❖ Terrasson F., 2011, *Un combat pour la nature. Pour une écologie de l'homme*, Paris, Sang de la Terre, collection « La Pensée Ecologique », 284 p.

- ❖ Trabaud L., 1980, *Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des garrigues du Bas-Languedoc*. Thèse d'Etat Univ Sci Tech Languedoc, Montpellier, 409-411 p. [En ligne], consulté le 12 avril 2014.  
URL: <http://www.google.fr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDAQFjAA&url=http%3A%2F%2F Dialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F2368395.pdf&ei=b9ZKU4vRD8Ts0gWw1oGwDA&usg=AFQjCNFPzdcSVEDcpJ7jhG3kLPAQ34piMw&bvm=bv.64542518,d.d2k>
- ❖ Trabaud L., Christensen N.L., Gill A.M., 1993, Historical biogeography of fire in temperate and Mediterranean eco-systems, 277-295 p. [En ligne], consulté le 12 avril 2014.  
URL: <http://eurekamag.com/research/031/709/historical-biogeography-fire-temperate-mediterranean-ecosystems.php>
- ❖ Walker H.M., 1958, *The contributions of Karl Pearson*, Journal of the American Statistical Association, vol 58 [En ligne], consulté le 14 avril 2014.  
URL: <http://amstat.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01621459.1958.10501419>

## ANNEXES

### Corrélations entre les variables et les facteurs :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
INSEE	0,068	0,112	0,937	-0,276	-0,058	-0,156	-0,033	-0,012	-0,002
POP_1962	0,638	-0,188	-0,176	-0,490	0,503	-0,060	-0,146	-0,090	-0,035
SURF_COM	0,810	0,042	0,202	0,106	-0,117	0,491	-0,175	-0,066	-0,012
NB_INC	0,911	0,087	-0,096	-0,146	-0,116	-0,056	-0,067	0,334	-0,010
SURF_INC	0,216	0,741	0,148	0,352	0,485	0,042	0,136	0,049	-0,004
SURF_AG	0,948	-0,196	0,006	-0,061	0,028	-0,016	0,195	-0,054	0,129
SURF_VI	0,889	-0,231	0,022	0,138	-0,148	-0,085	0,303	-0,076	-0,097
INTER_V_VS	0,667	0,510	-0,177	0,224	-0,224	-0,296	-0,240	-0,137	0,009
INTER_V_FF	0,154	-0,712	0,213	0,574	0,221	-0,122	-0,167	0,051	0,005

### Matrice de corrélation (Pearson (n)) :

Variables	INSEE	POP_1962	SURF_COM	NB_INC	SURF_INC	SURF_AG	SURF_VI	INTER_V_VS	INTER_V_FF
INSEE	<b>1</b>	-0,021	0,157	0,036	0,099	0,060	0,030	-0,056	-0,017
POP_1962	-0,021	<b>1</b>	0,365	0,578	0,017	0,657	0,436	0,202	0,052
SURF_COM	0,157	0,365	<b>1</b>	0,683	0,210	0,712	0,658	0,481	0,138
NB_INC	0,036	0,578	0,683	<b>1</b>	0,144	0,820	0,745	0,648	-0,017
SURF_INC	0,099	0,017	0,210	0,144	<b>1</b>	0,075	0,035	0,414	-0,179
SURF_AG	0,060	0,657	0,712	0,820	0,075	<b>1</b>	0,928	0,478	0,224
SURF_VI	0,030	0,436	0,658	0,745	0,035	0,928	<b>1</b>	0,498	0,308
INTER_V_VS	-0,056	0,202	0,481	0,648	0,414	0,478	0,498	<b>1</b>	-0,150
INTER_V_FF	-0,017	0,052	0,138	-0,017	-0,179	0,224	0,308	-0,150	<b>1</b>

*CITERES*

*UMR 6173  
Cités, Territoires,  
Environnement et  
Sociétés*

*Equipe IPA-PE  
Ingénierie du Projet  
D'Aménagement,  
Paysage,  
Environnement*



Département Aménagement  
35 allée Ferdinand de Lesseps  
BP 30553  
37205 TOURS cedex 3

**Directeur de recherche :**  
**BOULAY Raphaël**

**TRITSCH Nicolas**  
**Projet de fin d'étude**  
**DA5**  
**2013 -2014**

## **Évolution du taux d'incendies de forêt dans le bassin à risque « Fenouillèdes », Pyrénées-Orientales (66) : Analyse des facteurs agricoles**

### **Résumé :**

Depuis des siècles les incendies de forêt font partie intégrante des écosystèmes méditerranéens. A partir des années 1970 un changement dans le régime des incendies est observé dans les régions méditerranéennes. Le changement social dans les sociétés occidentales ainsi que la révolution agricole ont littéralement changé les paysages méditerranéens. L'augmentation de la déprise agricole, la diminution de l'utilisation du bois de chauffage et l'apparition de l'agriculture intensive font partie des causes de l'augmentation des incendies de forêts dans cette région. J'ai testé l'hypothèse que l'activité agricole sur les communes du bassin à risque « Fenouillèdes », dans les Pyrénées-Orientales a influencé de manière positive le risque d'incendie ainsi que le nombre d'incendies sur les communes entre les périodes de janvier 1973 à janvier 2013. Une analyse statistique des données issues de la base de données PROMETHEE a été réalisée. Le modèle de régression linéaire a montré qu'il n'y avait pas de lien entre les variables agricoles et le taux d'incendies présent sur chaque commune sur le bassin à risque « Fenouillèdes ». Le résultat a suggéré qu'il y avait un grand lien entre le taux d'incendies présent sur chaque commune, la latitude de la commune et la population présente en 1962.

### **Mots Clés :**

Incendies de forêt, PPRIF, PDPFCI, département des Pyrénées-Orientales, évolution temporelle, modèle prédictif, modèle de régression linéaire, logiciel R.