

Projet FORSEE

Un réseau de zones pilotes pour tester et améliorer les indicateurs de gestion durable des forêts au niveau régional sur la façade atlantique de l'Europe

Rapport final régional
Aquitaine

PARTIE 4 : ÉTUDE SCIENTIFIQUE RÉGIONALE SUR LE
CRITÈRE 2.4.4

Octobre 2006

Association Régionale de Défense des Forêts Contre les Incendies
(IEFC)



FORSEE Project (20) www.iefc.net



Project co-financed by the European Union
A community initiative
FEDER - INTERREG III B Atlantic Area



Ebauche d'un protocole expérimental sur la zone d'étude de Pontenx : les incendies de forêt

Critère 2 : « Conservation de la santé et vitalité des écosystèmes forestiers »
Evaluation de la sensibilité des peuplements aux facteurs abiotiques dont
l'incendie.

Table des illustrations.....	4
Table des cartes	4
Table des figures	4
Table des tableaux.....	4
Table des photos.....	5
Glossaire.....	6
I Objectifs	7
II Matériel et méthodes	7
a. Acquisition des données.....	7
i) Matériel utilisé.....	7
ii) Campagnes de relevés terrain.....	8
iii) Données acquises ultérieurement :	9
b. Traitement des données	11
i) Caractéristiques générales du risque incendie de forêt de la zone d'étude	11
ii) Etude des types de peuplements.....	12
iii) Etude du climat.....	12
iv) Etude du comportement du feu	13
v) Aspects sociologiques	13
vi) Conditions de lutte	14
III Résultats et discussions	15
a. Caractéristiques générales du risque incendie de forêt de la zone d'étude	15
b. Etude temporelle (2001- 2005)	18
c. Etude causale.....	18
i) Etude générale	19
ii) Les feux de cause naturelle	19
d. Etude spatiale	22
i) Etude générale	22
ii) Feux localisés à proximité d'une voie ferrée	23
iii) Feux localisés à proximité d'une route	24
e. Etude des types de peuplements.....	26
i) Nombre de tiges brûlées	26
ii) Etude de l'essence	27
iii) L'étude des types de peuplements.....	28
iv) Etude de l'âge des peuplements	30
v) Etude de la densité des peuplements de pin maritime.....	31
vi) Etude de l'état d'embroussaillage des peuplements	32
f. Etude du climat.....	33

i)	L'étude de l'Indice Forêt Météo.....	33
ii)	L'étude du vent.....	33
g.	Etude du comportement du feu	35
i)	Présentation générale.....	35
ii)	Une étude limitée	35
iii)	Etude générale de la puissance.....	36
iv)	Relation entre puissance d'un feu et nature du peuplement brûlé.....	37
h.	Aspects sociologiques	39
i)	Morcellement de la propriété	39
ii)	Estimation des pertes économiques.....	40
i.	Les conditions de lutte.....	41
i)	Les moyens engagés.....	41
ii)	L'accessibilité du massif	42
iii)	La disponibilité en eau	42
IV	Estimation du coût de mise en place des indicateurs	43
V	Conclusion.....	44
	Bibliographie.....	45

Table des illustrations

Table des cartes

Carte 1 : Feux de forêt éclos sur la zone d'étude : saison 2005	17
Carte 2 : Nombre d'éclosions pour 1000 ha boisés.....	22

Table des figures

Figure 1 : Répartition intra année des feux	18
Figure 2 : Répartition des feux en fonction de leur cause	19
Figure 3 : Proportion de feux dus à la foudre par mois.....	19
Figure 4 : Répartition des feux localisés à moins de 200 m du réseau de routes goudronnées en fonction de leur cause.....	25
Figure 5 : Proportion de feux éclos à proximité d'un réseau de communication par rapport à la totalité des feux éclos sur la zone.....	26
Figure 6 : Répartition des feux en fonction des essences brûlées	27
Figure 7 : Répartition des peuplements sur la zone d'étude	27
Figure 8 : Répartition des feux en fonction des types de peuplements	29
Figure 9 : Répartition des feux éclos dans les parcelles de pin maritime en fonction de leur âge	30
Figure 10 : Proportion de surfaces brûlées par classe d'âge de pin maritime	31
Figure 11 : Répartition des feux en fonction de la densité des parcelles de pin maritime.....	32
Figure 12 : Répartition des feux en fonction de l'état d'embroussaillement des parcelles.....	32
Figure 13 : Répartition des feux en fonction de l'indice IFM du jour de l'éclosion.....	33
Figure 14 : Surface brûlée par feu en fonction de la direction du vent	34
Figure 15 : Répartition des surfaces brûlées en fonction de la force du vent	34
Figure 16 : Nombre de feux et surfaces brûlées en fonction de leur puissance	36
Figure 17 : Puissance des feux en fonction de l'essence brûlée.....	37
Figure 18 : Puissance des feux en fonction du type de peuplement brûlé	38
Figure 19 : Puissance des feux en fonction de l'âge des peuplements brûlés.....	38
Figure 20 : Puissance des feux en fonction de l'embroussaillement des parcelles brûlées	39
Figure 21 : Durée moyenne d'intervention en fonction de la surface des feux	41

Table des tableaux

Tableau 1 : Normalisation des peuplements	7
Tableau 2 : Estimation du nombre de tiges par hectare	9
Tableau 3 : Correspondance entre IFM et niveau de danger.....	13
Tableau 4 : Estimation des pertes économiques.....	14
Tableau 5 : Evolution des feux sur la zone d'étude (2001- 2005)	15
Tableau 6 : Evolution des feux en Aquitaine (2001- 2005)	15

Tableau 7 : Comparaison de la répartition des feux en fonction des causes sur la période 2001-2005 et en 2005	20
Tableau 8 : Etude des causes (2001- 2005).....	20
Tableau 9 : Répartition des feux par commune.....	23
Tableau 10 : Répartition des feux localisés à proximité d'une voie ferrée (2001- 2005).....	23
Tableau 11 : Répartition des feux éclos à proximité d'une voie ferrée en fonction de leur origine (2001- 2005).....	24
Tableau 12 : Répartition des feux localisés à proximité du réseau goudronné (2001- 2005)..	24
Tableau 13 : Répartition des feux d'origine accidentelle éclos à moins de 200 m du réseau goudronné.....	25
Tableau 14 : Répartition du nombre de tiges brûlées par classe d'âge	26
Tableau 15 : Répartition des feux en fonction de l'essence brûlée.....	28
Tableau 16 : Répartition des feux en fonction du type de peuplement.....	28
Tableau 17 : Répartition des feux en fonction de l'âge des peuplements	30
Tableau 18 : Impact du morcellement de la propriété.....	40
Tableau 19 : Estimation des pertes économiques.....	40
Tableau 20 : Estimation des pertes économiques de 2005.....	41
Tableau 21 : Réseau de pistes par commune (km/ 100 ha boisés).....	42
Tableau 22 : Réseau de points d'alimentation en eau	42
Tableau 23 : Estimation du coût de mise en place des indicateurs	43

Table des photos

Photo 1 : arbre foudroyé (Feu du 12/08/2005, Mimizan, Cabane de Bias).....	21
Photo 2 : litière brûlée (Feu du 22/09/2005, Mimizan, Hount de serbis).....	21
Photo 3 : Coupe rase après un sinistre (Feu 11/10/2005, Bias, Landes de Bias)	36

Glossaire

ARDFCI : Association Régionale de Défense des Forêts Contre l'Incendie

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DFCI : Défense des Forêts Contre l'Incendie

GPS : Global Positioning System

IFM : Indice Forêt-Météo

IFN : Inventaire Forestier National

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

ONF : Office National des Forêts

PPRIF : Plan de Prévention des Risques Incendie de Forêt

SIFORA : Système d'Information des FORêts d'Aquitaine

UTM : Universal Transverse Mercator

I Objectifs

L'étude du critère 2.4.4 : « Evaluation de la sensibilité des peuplements aux facteurs abiotiques dont l'incendie » s'inscrit dans le critère 2 : « Conservation de la santé et vitalité des écosystèmes forestiers ». Il a pour objectif de déterminer comment évaluer ou minimiser les menaces d'incendies de forêt pesant sur le massif.

Cet indicateur trouve d'autant plus sa place en Aquitaine que l'on compte en moyenne sur la période 1980- 2004 :

- 1690 départs de feux par an
- 1897 ha brûlés par an.

et que le nombre de départs par an est en constante augmentation.

Cette étude représente donc un intérêt écologique mais également économique puisque la filière bois représente 28 000 emplois en Aquitaine et un chiffre d'affaires annuel de 2.5 milliards d'euros.

Le rôle de l'ARDFCI est, ici, de mettre en valeur les indicateurs de sensibilité de l'écosystème forestier au risque incendie en évaluant les conditions préférentielles d'éclosion et de propagation.

Cette étude s'est donc attachée à caractériser l'aléa incendie de forêt sur la zone d'étude par une approche statistique des feux recensés puis par l'analyse plus précise des différentes composantes de l'aléa incendie de forêt susceptibles d'intervenir sur les probabilités d'éclosion, de propagation et l'intensité des incendies de forêt : végétation, climat, facteurs anthropiques.

II Matériel et méthodes

a. Acquisition des données

i) Matériel utilisé

- un GPS GeoXm
- un appareil photo numérique
- un décamètre
- un couteau
- un atlas cartographique de Défense des Forêts Contre les Incendies (DFCI)
- la normalisation des peuplements élaborée par l'ARDFCI
- Véhicule

Tableau 1 : Normalisation des peuplements

1	Essence	CODE
1	Résineux	11

2	Feuillus				12
3	Mixte				13
2	Type de peuplement				
1	Landes*				21
2	Coupe rase ****				22
3	Taillis				23
4	Futaie régulière				24
5	Prairie **				25
6	Futaie irrégulière (tous ages)				26
7	Mélangé (feuillus et résineux)				27
8	Terrain Agricole				28
3	Age				
1	0-10 ans				31
2	10-20 ans				32
3	20-30 ans				33
4	30-40ans				34
5	> 40ans				35
6	Tous ages				36
4	Informations complémentaires				
	Chablis				
1		oui	exploité ***		41
2			non exploité		42
3		non			43
	Etats embroussaillement				
4		peu	<1 m		44
5		moyens	1m< <2m		45
6		forts	>2 m		46
5	Densité (peuplement)				
1	hétérogène (trouées)				51
2	clair				52
3	dense normale				53
4	très dense				54

Source : ARDFCI

* Dessous de lignes EDF, friches agricoles ou autre, marais, arial, zone forestière non boisée

** Exploitée annuellement

*** Arbre coupé- vidange

**** Etat forestier présent ou à venir (présence de souches...)

ii) Campagnes de relevés terrain

Seuls les feux de superficie supérieure à 100 m² ont fait l'objet de relevés sur le terrain. En effet, les feux avec une surface estimée par les sapeurs-pompiers inférieure à 100 m² ne concernent qu'un seul arbre ou des broussailles. En raison de la difficulté à localiser les feux d'une telle surface, ils n'ont fait l'objet d'aucun relevé au GPS (Global Positioning System). Ils ont cependant fait l'objet d'un géoréférencement par les sapeurs-pompiers à l'aide de coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator).

Pour chaque campagne de relevés, la méthode appliquée est la suivante :

- Prise de contact avec les services de secours pour obtenir la liste des feux éclos sur la zone d'étude
- Identification des feux de plus de 100 m²
- Visite des centres de secours concernés afin de :
 - localiser précisément les feux sur l'Atlas de DFCI et
 - obtenir des informations complémentaires sur les causes du feu
- Visite de chaque feu avec :
 - relevé de son contour à l'aide d'un GPS,
 - description du peuplement (selon la « Normalisation des peuplements », tableau 1),
 - mesure de la hauteur moyenne et maximum des flammes,
 - mesure de l'épaisseur de sol calciné,
 - mesure de l'épaisseur de tronc calciné,
 - comptage du nombre de tiges de pin maritime brûlées (cf encadré « Estimation du nombre de tiges brûlées »),
 - prise d'une photographie.

Estimation du nombre de tiges brûlées :

Un comptage a été réalisé sur les feux éclos dans des peuplements de moins de 20 ans.

- sur les feux de moins de 0.5 ha : comptage de la totalité des tiges de pin maritime touchées par le sinistre.
- sur les feux de plus de 0.5 ha : comptage du nombre de tiges de pin maritime touchées par le sinistre sur 5% de la surface du sinistre. Ce comptage a ensuite été extrapolé à la totalité de la surface brûlée.

Pour les peuplements de pin maritime de plus de 20 ans, la détermination du nombre de tiges brûlées a été réalisée à partir du tableau 2.

Tableau 2 : Estimation du nombre de tiges par hectare

Age \ Densité	Claire	Normale	Très dense
20- 30 ans	400 tiges/ ha	600 tiges/ ha	950 tiges/ ha
30- 40 ans	250 tiges/ ha	375 tiges/ ha	500 tiges/ ha
Plus de 40 ans	250 tiges/ ha	300 tiges/ ha	400 tiges/ ha

De manière à améliorer la fiabilité de l'estimation du nombre de tiges brûlées, il aurait été préférable de réaliser l'échantillonnage sur chaque parcelle sinistrée.

iii) Données acquises ultérieurement :

Conditions de lutte :

- moyens engagés enregistrés dans les registres des sapeurs-pompiers
- heure d'arrivée des secours enregistrée dans les registres des sapeurs-pompiers
- heure d'extinction du sinistre enregistrée dans les registres des sapeurs-pompiers

Données à disposition de l'ARDFCI

- Accessibilité du massif :

- Réseau de pistes local géoréférencé dans la base de données SIFORA
- Réseau routier général géoréférencé dans la base de données SIFORA
- Réseau de points d'alimentation en eau géoréférencé dans la base de données SIFORA
- Conditions météorologiques
 - Indice IFM (Indice Forêt Météo) lors du jour du sinistre (indice de combustible léger, indice de sécheresse, indice d'humidité) selon les relevés Météo- France,
 - Caractérisation du vent (vitesse, direction) selon les relevés Météo- France,
 - Conditions météorologiques de la période précédant le sinistre (2 jours) selon les relevés Météo- France,
- Totalité des départs de feu, de 2001 à 2004, répertoriés dans la base de données exhaustive SIFORA

Données obtenues auprès des partenaires du projet FORSEE :

- Répartition des surfaces de pin maritime par classe d'âge sur la zone d'étude. Données obtenues auprès de l'Inventaire Forestier National, cycle d'inventaire 4).
- Répartition du nombre et des surfaces par classes de compte de propriété forestière par commune (données obtenues auprès du CRPF d'Aquitaine).
- Caractéristiques déterminées sur le réseau de placettes de l'INRA :
 - caractérisation de l'inflammabilité de la strate herbacée : différents types d'essences, abondance de ces essences (en fonction de la grille de détermination d'inflammabilité et de combustibilité mise au point par l'ONF et l'ARDFCI dans le cadre de la réalisation des PPRIF en Gironde).
 - Caractérisation de la combustibilité en fonction de la grille de détermination d'inflammabilité et de combustibilité mise au point par l'ONF et l'ARDFCI dans le cadre de la réalisation des PPRIF en Gironde :
 - différents types d'essence
 - structure horizontale et verticale du peuplement
 - densité des différents types d'espèces
 - biomasse
 - épaisseur et composition de la litière
 - Fragmentation du paysage selon le protocole déjà utilisé par l'INRA
 - Dépérissement des peuplements ayant subis directement l'incendie,
 - Dépérissement des peuplements voisins de l'incendie,
 - Prolifération du cortège parasitaire,
 - Evolution des agents pathogènes racinaires.

Malheureusement, au cours de la saison 2005, aucun feu de forêt n'a éclaté dans le réseau de placettes de l'INRA. Ces données n'ont donc pas été obtenues.

b. Traitement des données

i) Caractéristiques générales du risque incendie de forêt de la zone d'étude

Cette étude a été réalisée sur l'ensemble des feux éclos sur la période 2001- 2005 et géoréférencés dans la base de données SIFORA.

Etude temporelle

Ce paragraphe a été réalisé à partir des données SIFORA de la période 2001- 2005.

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système de gestion de base de données et d'un tableur

Détermination du nombre de feux, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu sur la période 2001- 2005,

Détermination du nombre de feux, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu par an,

Détermination du nombre de feux et des surfaces brûlées par mois.

Etude causale

Ce paragraphe a été réalisé à partir des données SIFORA de la période 2001- 2005.

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système de gestion de base de données et d'un tableur

Détermination du nombre de feux éclos, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu par type de cause.

Détermination de la proportion de feux de cause naturelle éclos par mois.

Etude spatiale

Etude réalisée à partir des données SIFORA de la période 2001- 2005.

Etude réalisée à partir d'un système d'information géographique.

Etude générale

Détermination du nombre moyen, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu par commune pour 1 000 ha boisés.

Feux localisés à proximité d'une voie ferrée

Détermination du nombre et de la proportion de feux éclos à moins de 100, 200 et 500 m d'une voie ferrée.

Détermination de la répartition des feux éclos à moins de 100, 200 et 500 m d'une voie ferrée en fonction de leur origine.

Feux localisés à proximité d'une route

Détermination du nombre et de la proportion de feux éclos à moins de 100 et 200 m d'une route goudronnée.

Détermination de la répartition des feux éclos à moins de 100 et 200 m d'une route goudronnée en fonction de leur cause.

Détermination de la répartition des feux éclos à moins de 100 et 200 m d'une route goudronnée en fonction de leur origine.

ii) Etude des types de peuplements

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système de gestion de base de données et d'un tableur

Cette étude n'a porté que sur les feux de plus de 100 m² de la saison 2005.

Pour cette étude, les feux ayant touchés plusieurs types de peuplements ont été scindés par type de peuplement.

Exemple : le feu de Sabres du 7 mars 2005 a brûlé 15.17 ha de futaie régulière de pin maritime dont 12.17 ha de peuplements de 30- 40 ans et 3 ha de pins maritimes de 20- 30 ans. Il a donc été considéré comme deux feux différents pour pouvoir réaliser des traitements statistiques.

Nombre de tiges brûlées

Détermination du nombre total de tiges brûlées

Détermination du nombre et de la proportion de tiges brûlées par classe d'âge

Etude de l'essence

Détermination du nombre de feux, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu en fonction des essences brûlées

Etude des types de peuplements

Détermination du nombre de feux, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu en fonction des types de peuplements

Etude de l'âge des peuplements

L'étude de l'âge des peuplements n'a porté que sur les peuplements de pin maritime.

Détermination du nombre de feux, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu en fonction de l'âge des peuplements

Détermination des proportions des peuplements de pin maritime brûlées par classe d'âge

Etude de la densité des peuplements de pin maritime

Détermination du nombre de feux, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu en fonction de la densité des peuplements de pin maritime.

Etude de l'état d'embroussaillement des peuplements

Détermination du nombre de feux, des surfaces brûlées et de la surface moyenne brûlée par feu en fonction de l'état d'embroussaillement des peuplements

iii) Etude du climat

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système de gestion de base de données et d'un tableur.

Cette étude n'a porté que sur les feux de plus de 100 m² de la saison 2005.

Etude de l'Indice Forêt Météo

Détermination du nombre de feux et des surfaces brûlées en fonction de l'IFM du jour du sinistre. Cinq classes d'IFM ont été déterminées en fonction de l'échelle de risque météorologique établie dans le « Guide d'interprétation des indicateurs météorologiques du risque feu de forêt » (5).

Tableau 3 : Correspondance entre IFM et niveau de danger

Niveau de danger	Valeurs de l'IFM normalisé
Faible	0 à 5
Léger	6 à 10
Modéré	11 à 15
Sévère	16 à 17
Très sévère	18 à 20
Exceptionnel	18 à 20 + expertise Renforcement du niveau de risque 'très sévère' déterminé uniquement par expertise

Source : « Guide d'interprétation des indicateurs météorologiques du risque feu de forêt » (5)

Etude du vent

Détermination des surfaces brûlées en fonction de la direction du vent. Les classes utilisées ont été déterminées de 20 en 20° (0 ; 20 ; 40° ...).

Détermination de la répartition des surfaces brûlées en fonction de la force du vent. Les classes utilisées ont été déterminées de 5 en 5 km/h (0 ; 5 ; 10 km/h ...).

iv) Etude du comportement du feu

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système de gestion de base de données et d'un tableur.

Cette étude n'a porté que sur les feux de plus de 100 m² de la saison 2005.

La puissance du front des feux a été calculée grâce à la formule suivante :

$P_f = 260 (h)^{2.17} \text{ Byram (1959)}$ <p>h : la hauteur de la flamme (m)</p>
--

La hauteur de flamme utilisée est la hauteur de flamme moyenne relevée sur les feux.

Détermination du nombre de feux et des surfaces brûlées en fonction de la puissance du front de feu. Les classes suivantes ont été utilisées (Trabaud 1989) (6) :

- 20 à 350 kW/m
- 350 à 1700 kW/m
- 1700 à 3500 kW/m
- 3500 à 7000 kW/m
- Supérieur à 7000 kW/m.

Détermination de la proportion de feux par classe de puissance en fonction du type d'essence brûlée

Détermination de la proportion de feux par classe de puissance en fonction du type de peuplement brûlé

Détermination de la proportion de feux par classe de puissance en fonction de l'âge des peuplements brûlés

Détermination de la proportion de feux par classe de puissance en fonction de l'état d'embroussaillage des parcelles

v) Aspects sociologiques

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système de gestion de base de données et d'un tableur.

Cette étude n'a porté que sur les feux de plus de 100 m² de la saison 2005.

Morcellement de la propriété

Détermination de la surface moyenne par compte de propriété par commune et relation avec la superficie brûlée par feu par commune.

L'ensemble des propriétés a été pris en compte (forêt publique et privée).

Estimation des pertes économiques

L'estimation des pertes économiques a été réalisée à partir du tableau 4.

Tableau 4 : Estimation des pertes économiques

Classe d'âge	Prix estimé € ha
0-10 ans	2 060,00
10-20 ans	3 220,00
20-30 ans	4 000,00
>30 ans	3 377,50

Source : ARDFCI

vi) Conditions de lutte

Les moyens engagés

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système de gestion de base de données et d'un tableur.

Cette étude a été réalisée sur l'ensemble des feux de la période 2001- 2005.

Détermination de la durée d'intervention moyenne par classe de surface des feux. La durée d'intervention correspond au temps écoulé entre l'heure indiquée par le champ « heure_début_intervention » et l'heure indiquée par le champ « heure_fin_intervention » des feux recensés dans la base de données SIFORA.

Les classes de surfaces suivantes ont été utilisées :

-]0 ; 1 ha],
-]1 ; 5 ha],
-]5 ; 20 ha],
- supérieur à 20 ha.

L'accessibilité du massif

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système d'information géographique et d'un tableur.

Sélection des pistes sur SIG puis calcul des densités sur tableur.

La disponibilité en eau

Cette étude a été réalisée grâce à l'utilisation d'un système d'information géographique et d'un tableur.

Sélection des points d'alimentation en eau sur SIG.

III Résultats et discussions

Les feux relevés au cours de la saison 2005 sont cartographiés sur la carte 1.

a. Caractéristiques générales du risque incendie de forêt de la zone d'étude

Des statistiques réalisées sur la zone d'étude sur la période **2001- 2005** permettent de caractériser la zone. Ainsi, on compte :

- **0.74 feux** éclos pour 1 000 ha boisés¹
- **0.72 ha brûlés** pour 1 000 ha boisés
- **0.97 ha brûlés par feu**

Si le nombre moyen d'éclosions est proche des statistiques réalisées sur l'ensemble du massif des Landes de Gascogne (0.83/ 1 000 ha sur la période 2001- 2004), la surface moyenne brûlée par feu est plus faible (2.42 ha / feu dans les Landes de Gascogne).

Plus particulièrement, en **2005, 85 feux** ont éclos sur la zone d'étude, brûlant **58.36 ha**. Ainsi, on estime sur l'année 2005 que :

- **1.10 feux** ont éclos pour 1000 ha boisés,
- **0.76 ha ont brûlé** pour 1000 ha boisés,
- **0.69 ha ont brûlé par feu.**

Tableau 5 : Evolution des feux sur la zone d'étude (2001- 2005)

	2001	2002	2003	2004	2005
Nombre de feux	34	51	71	46	85
Surface en ha	20	68	105	26	58
Surface /feu en ha	0.59	1.33	1.48	0.57	0.69

Source : ARDFCI, SDIS 40

L'année 2005 a connu une saison feu de forêt particulièrement active : plus de feux que pour l'année 2003 pourtant caractérisée comme sèche. Cependant, les surfaces brûlées sont plus faibles entraînant une surface brûlée par feu inférieure à la moyenne.

Le bilan global sur la région Aquitaine (Landes, Gironde, Lot et Garonne et Dordogne) révèle les mêmes tendances : une forte hausse du nombre de départs de feux en 2005 mais des surfaces moyennes brûlées par feu relativement faibles (tableau 6).

Tableau 6 : Evolution des feux en Aquitaine (2001- 2005)

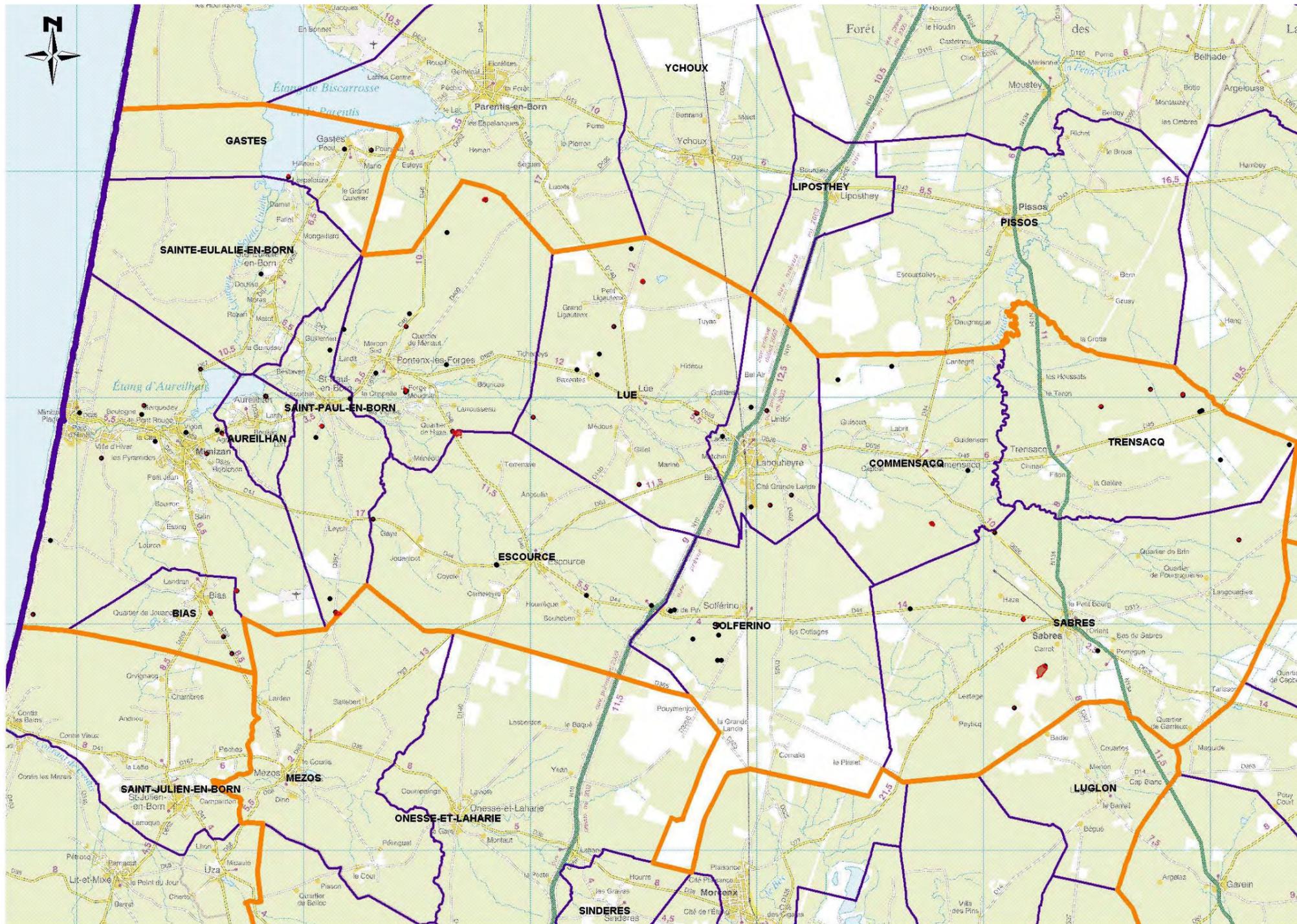
	2001	2002	2003	2004	2005
Nombre de feux	1369	1484	1872	1088	2415
Surface en ha	681	3359	3752	1477	1819
Surface / feu	0.50	2.26	2.00	1.36	0.75

Source : ARDFCI, SDIS 24, 33, 40 et 47

¹ Les données forestières sont issues de l'Inventaire Forestier National, 2000

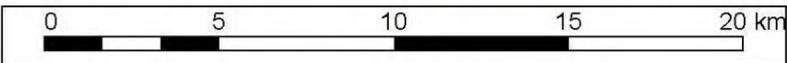
L'activité feu sur la zone de FORSEE se caractérise :

- ***sur la période 2001- 2005, par une surface moyenne brûlée par feu de 0.97 ha***
- ***pendant la campagne 2005, par 1.10 feux aux 1 000 ha boisés, en partie imputable aux impacts de foudre.***



Légende

- Feux de forêt
- Surfaces brûlées



FORSEE PROJECT
CRITERIA 2.

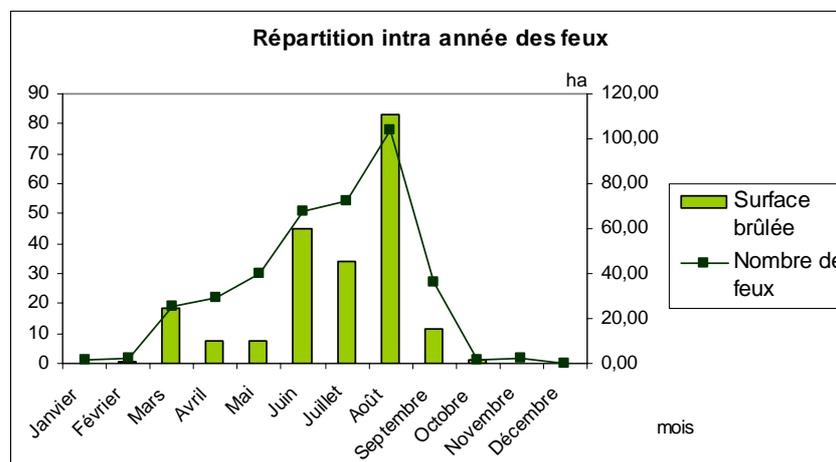
Feux de forêt éclo sur la zone d'étude, saison 2005
INDICATOR 2.4.4. **MAP N°01**

Carte 1: Feux de forêt éclo sur la zone d'étude : saison 2005

b. Etude temporelle (2001- 2005)

Ce paragraphe a été réalisé à partir des données SIFORA de la période 2001- 2005.

La figure 1 illustre la répartition des feux selon la période de l'année pendant laquelle ils ont éclos.



Source : ARDFCI, SDIS 40

Figure 1 : Répartition intra année des feux

On observe une augmentation du nombre de feux au cours de l'année pour atteindre le maximum au mois d'août en raison de l'augmentation du nombre d'impacts de foudre (cf paragraphe III. C.) et de la fréquentation des forêts (cf paragraphe III. D. iii).

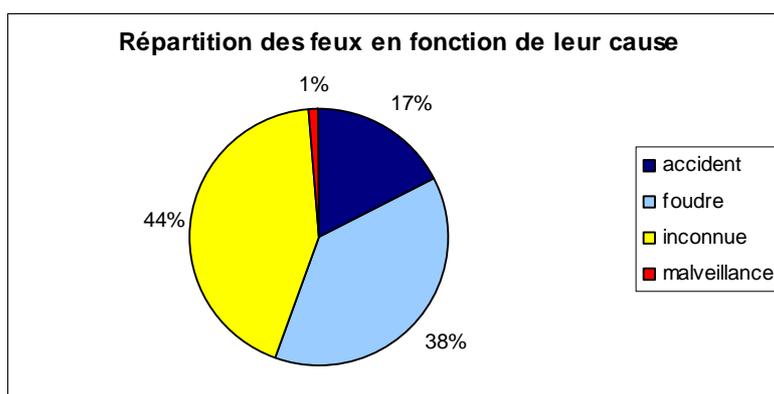
En particulier, le mois de mars présente des surfaces brûlées plus importantes que les mois d'avril et mai pour un nombre de feux inférieur. Ceci peut être expliqué par le fait que les sols sont peu portants à cette époque de l'année, entraînant une surface brûlée par feu plus importante.

La saison feux de forêt se concentre du mois de mars au mois de septembre.

c. Etude causale

Ce paragraphe a été réalisé à partir des données SIFORA de la période 2001- 2005.

i) Etude générale



Source : ARDFCI, SDIS 40

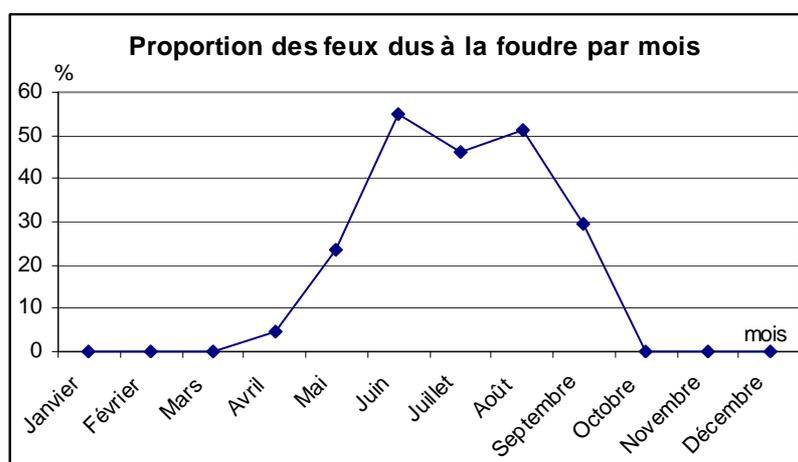
Figure 2 : Répartition des feux en fonction de leur cause

La principale cause de départ connue est la foudre: 38% des départs sont d'origine naturelle.

Malheureusement, le poste le plus important est celui des causes inconnues (44 % des départs), ce qui ne permet pas de préciser les facteurs de fragilité de l'écosystème forestier.

ii) Les feux de cause naturelle

La figure 3 met en évidence la saisonnalité des feux dus à la foudre.



Source : ARDFCI, SDIS 40

Figure 3 : Proportion de feux dus à la foudre par mois

A partir du mois de mai jusqu'au mois de septembre les feux de cause naturelle représentent plus de 20% des départs de feu. Ceci permet d'expliquer en partie l'augmentation du nombre de départs en été (paragraphe III. b.).

Le tableau 7 vise à mettre en évidence la spécificité de la saison 2005.

Tableau 7 : Comparaison de la répartition des feux en fonction des causes sur la période 2001- 2005 et en 2005

Cause	Feux sur la période 2001- 2005		Feux de la saison 2005	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
Accident	50	17	9	11
Foudre	109	38	37	44
Inconnue	125	44	38	45
Malveillance	3	1	1	1
Total	287	100	85	100

Source : ARDFCI, SDIS 40

L'année 2005 a vu le nombre de feux de cause naturelle et inconnue augmenter de manière importante. L'augmentation du nombre de feux observée en 2005 (paragraphe III. a.) pourrait en partie être expliquée par l'augmentation de l'activité foudre sur la zone.

Si on ne peut pas influencer le nombre de départs dus à la foudre on peut cependant s'attacher à en diminuer les surfaces brûlées grâce au système de détection des impacts de foudre de Météorage.

Tableau 8 : Etude des causes (2001- 2005)

Cause	Nombre de feux	Surface brûlée (ha)	Surface brûlée par feu (ha)
Accident	50	0,01	0,24
Foudre	109	0,01	0,87
Malveillance	3	0,00	0,17
Inconnue	125	0,01	1,36
Total	287	0,03	0,97

Source : ARDFCI, SDIS 40

Le tableau 8 indiquant les surfaces moyennes brûlées par feu met en évidence que les feux d'origine naturelle ont une surface brûlée inférieure à la moyenne (0,87 ha/ feu). On peut penser que les visites de secteurs des sapeurs-pompiers permettent de lutter contre les feux plus rapidement que pour les feux dont la cause n'a pas été identifiée. Cette surveillance doit donc être poursuivie.



Source : ARDFCI

Photo 1 : arbre foudroyé (Feu du 12/08/2005, Mimizan, Cabane de Bias)

En particulier, les feux d'origine naturelle ont tendance à s'enterrer dans le sol. Dans le but de mettre en évidence ce phénomène, l'épaisseur de sol calciné a été mesurée. Malheureusement, aucun cas de feu s'étant enterré n'a été rencontré. Seule la litière superficielle a brûlé comme le montre la photo 2.



Source : ARDFCI

Photo 2 : litière brûlée (Feu du 22/09/2005, Mimizan, Hount de serbis)

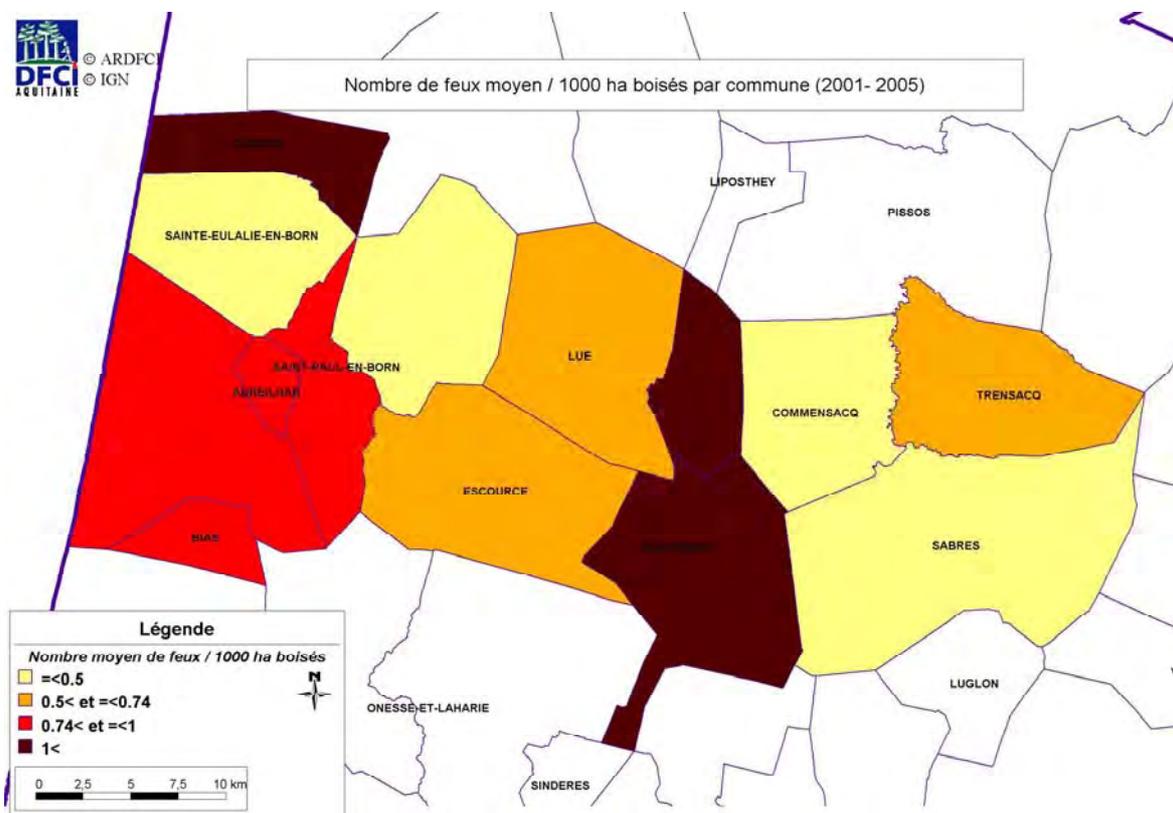
La foudre constitue la principale cause identifiée de départs de feux sur la zone d'étude, en particulier pour la saison 2005 (44% des départs). La diminution de la vulnérabilité de l'écosystème forestier passe donc par une meilleure prévision du risque foudre et le maintien des visites de secteurs réalisées par les sapeurs-pompiers.

d. Etude spatiale

Ce paragraphe a été réalisé à partir des données SIFORA de la période 2001- 2005.

i) Etude générale

La carte 2 illustre la répartition par commune du nombre de départs de feux entre 2001 et 2005.



Carte 2 : Nombre d'éclosions pour 1000 ha boisés

Les communes de Solférino et Labouheyre, traversées par la voie ferrée, apparaissent comme deux des trois communes subissant le plus grand nombre de feux aux 1 000 ha boisés.

L'étude plus précise de la localisation des feux présentée au paragraphe III. d. ii permettra de confirmer ou d'infirmer ce résultat.

Tableau 9 : Répartition des feux par commune

Commune	Surface boisée (ha)	Nombre de feux	Superficie (ha)	Nombre de feux/ 1 000 ha	Superficie/ 1 000 ha	Superficie/ feu
Aureilhan	795	3	0.59	3.77	0.74	0.20
Bias	1866	8	88.70	4.29	47.54	11.09
Commensacq	5507	12	12.44	2.18	2.26	1.04
Escource	8915	23	17.80	2.58	2.00	0.77
Gastes	1379	12	7.85	8.70	5.69	0.65
Labouheyre	2814	47	14.46	16.70	5.14	0.31
Lue	8226	25	19.81	3.04	2.41	0.79
Mimizan	8137	32	12.61	3.93	1.55	0.39
Pontenx les Forges	7377	18	37.42	2.44	5.07	2.08
Sabres	12930	32	31.92	2.47	2.47	1.00
Sainte Eulalie en Born	5598	8	3.25	1.43	0.58	0.41
Saint Paul en Born	3166	15	9.09	4.74	2.87	0.61
Solferino	3833	35	12.76	9.13	3.33	0.36
Trensacq	6600	17	8.60	2.58	1.30	0.51
Total	77143	287	277.31	0.74	0.72	0.97

Source : ARDFCI

On peut s'étonner que Gastes soit la troisième commune avec le plus grand nombre de départs pour 1 000 ha boisés. Cette commune ayant le plus faible taux de boisement de la zone d'étude (39%), il se peut que cela augmente l'indicateur. En effet, si on compare Gastes à Commensacq, on constate que toutes deux comptent le même nombre de départs sur la période 2001- 2005 : 12 feux. Seule la surface boisée diffère.

ii) Feux localisés à proximité d'une voie ferrée

L'étude a porté sur les feux de 2001- 2005, situés à 100, 200 et 500 m des voies ferrées. Ces distances ont été arrêtées en accord avec les études réalisées dans le cadre des Plan de Prévention de Risque Incendie de Forêt (3).

Le tableau 10 résume les résultats obtenus :

Tableau 10 : Répartition des feux localisés à proximité d'une voie ferrée (2001- 2005)

	Total	100 m	200 m	500 m
Nombre de feux	287	8	17	39
%	100	2.79	5.92	13.59

Source : ARDFCI, SDIS 40

Tableau 11 : Répartition des feux éclos à proximité d'une voie ferrée en fonction de leur origine (2001-2005)

Origine	100 m		200 m		500 m	
	Nombre de feux	%	Nombre de feux	%	Nombre de feux	%
installations électriques	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
dépôts d'ordures	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
trains et véhicules routiers	3	37,50%	6	35,29%	9	23,08%
feux et travaux agricoles	0	0,00%	1	5,88%	1	2,56%
incinérations	1	12,50%	1	5,88%	1	2,56%
activités de loisirs	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
reprise de feu	0	0,00%	1	5,88%	1	2,56%
travaux forestiers	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
autres	3	37,50%	4	23,53%	14	35,90%
inconnue	1	12,50%	4	23,53%	13	33,33%
Total	8	100,00%	17	100,00%	39	100,00%

Source : ARDFCI, SDIS 40

Les origines pouvant être liées à un train ont été surlignées (installations électriques, trains et véhicules routiers, origine inconnue). On constate que plus de 50% des feux éclos à proximité d'une voie ferrée ont pour origine 'trains et véhicules routiers' ou 'inconnue'. Par conséquent, la traversée d'un massif forestier par une voie ferrée constitue un facteur de fragilité de l'écosystème forestier, ce qui confirme donc le résultat précédent (paragraphe III. d.i).

iii) Feux localisés à proximité d'une route

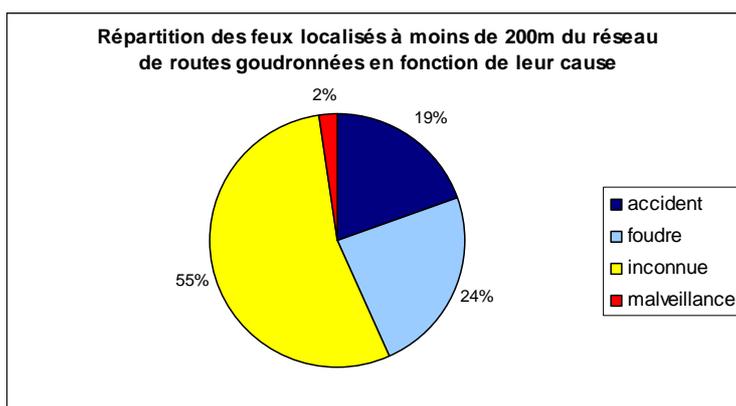
L'étude a porté sur les feux de 2001- 2005, situés à 100 et 200 m du réseau goudronné. Ces distances ont été arrêtées en accord avec les études réalisées dans le cadre des Plan de Prévention de Risque Incendie de Forêt (3).

Tableau 12 : Répartition des feux localisés à proximité du réseau goudronné (2001- 2005)

	Total	100 m	200 m
Nombre de feux	287	85	134
%	100	29,62	46,69

Source : ARDFCI, SDIS 40

30% des feux éclosent à moins de 100 m du réseau goudronné et plus de 45% à moins de 200 m. Par conséquent, la fragmentation du paysage par le réseau routier goudronné, soumis à la fréquentation du public est un facteur de fragilité de l'écosystème forestier.



Source : ARDFCI, SDIS 40

Figure 4 : Répartition des feux localisés à moins de 200 m du réseau de routes goudronnées en fonction de leur cause

La figure 4 met en évidence que **76%** des feux éclos à moins de 200 m du réseau goudronné sont **dus aux activités humaines**.

De plus, en comparant la figure 4 à la figure 2, il apparaît qu'à proximité du réseau goudronné, le nombre de feux de cause accidentelle augmente de deux points, le nombre de feux dus à la malveillance augmente d'un point et le nombre de feux de cause inconnue augmente de 11%. En contrepartie, le nombre de feux d'origine naturelle diminue de 14%.

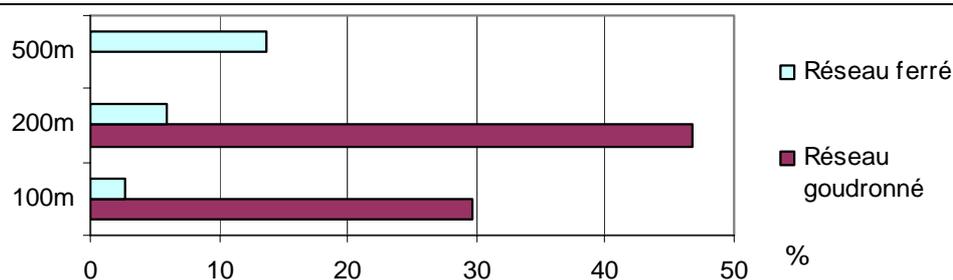
Tableau 13 : Répartition des feux d'origine accidentelle éclos à moins de 200 m du réseau goudronné

Origine des feux	%
trains et véhicules routiers	34.62%
incinérations	26.92%
autres	15.38%
feux et travaux agricoles	7.69%
installations électriques	7.69%
activités de loisirs	3.85%
travaux forestiers	3.85%
Total	100.00%

Source : ARDFCI, SDIS 40

Selon le tableau 13, la majorité des feux de cause accidentelle éclos à moins de 200 m du réseau goudronné est due aux véhicules routiers. Puis viennent en seconde position les incinérations échappées.

La fragmentation du paysage par les réseaux ferré et routiers est un facteur augmentant la vulnérabilité de l'écosystème forestier face au risque incendie (figure 5).



Source : ARDFCI, SDIS 40

Figure 5 : Proportion de feux éclos à proximité d'un réseau de communication par rapport à la totalité des feux éclos sur la zone.

e. Etude des types de peuplements

L'étude des types de peuplements a pour but de déterminer les conditions préférentielles de départs de feu. Elle n'a porté que sur les feux éclos durant la saison 2005 et d'une surface supérieure à 100 m².

i) Nombre de tiges brûlées

Dans le but de comparer le risque incendie de forêt aux autres risques, il nous a été demandé de déterminer le nombre de tiges brûlées. Cette requête ayant été faite après la campagne de relevés de 2005, seuls les peuplements de moins de 20 ans ont fait l'objet un nouveau travail terrain en 2006. Malheureusement certaines parcelles étaient exploitées voire même reboisées. Les parcelles de plus de 20 ans ont fait l'objet d'une estimation à dire d'expert tenant compte de l'âge et de la densité des peuplements. Seuls les nombres de tiges brûlées dans les peuplements de pin maritime ont été évalués. Il apparaît qu'environ **37 600 tiges de pins maritimes ont brûlé durant la campagne 2005**.

Le tableau 13 indique la répartition du nombre de tiges de pins maritimes brûlés par classe d'âge.

Tableau 14 : Répartition du nombre de tiges brûlées par classe d'âge

Age des peuplements	Nombre de tiges brûlées	%
0-10 ans	16640	44.27
10-20 ans	9591	25.51
20-30 ans	3408	9.07
30-40ans	7930	21.10
> 40ans	0	0.00
Tous ages	22	0.06
Total	37591	100.00

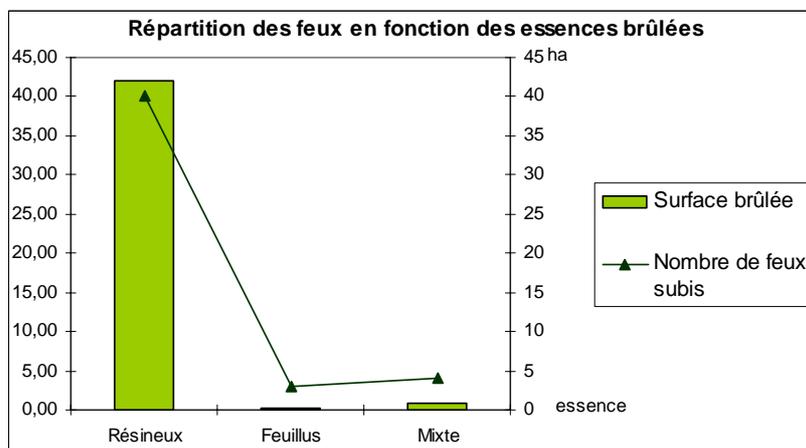
Source : ARDFCI

La classe la plus sévèrement touchée est la classe des pins âgés de 0 à 10 ans, ce qui peut être en partie expliqué par la plus forte densité des jeunes peuplements (44%). Puis viennent les peuplements de 10- 20 ans et ceux de 20- 30 ans. Cependant, on constate que les peuplements de 30- 40 ans comptent une part importante de tiges brûlées (21%) en raison des surfaces touchées importantes dans cette classe d'âge (paragraphe III. e. iv).

De manière à améliorer la fiabilité de l'estimation du nombre de tiges brûlées, il aurait été préférable de réaliser l'échantillonnage sur chaque parcelle sinistrée.

ii) Etude de l'essence

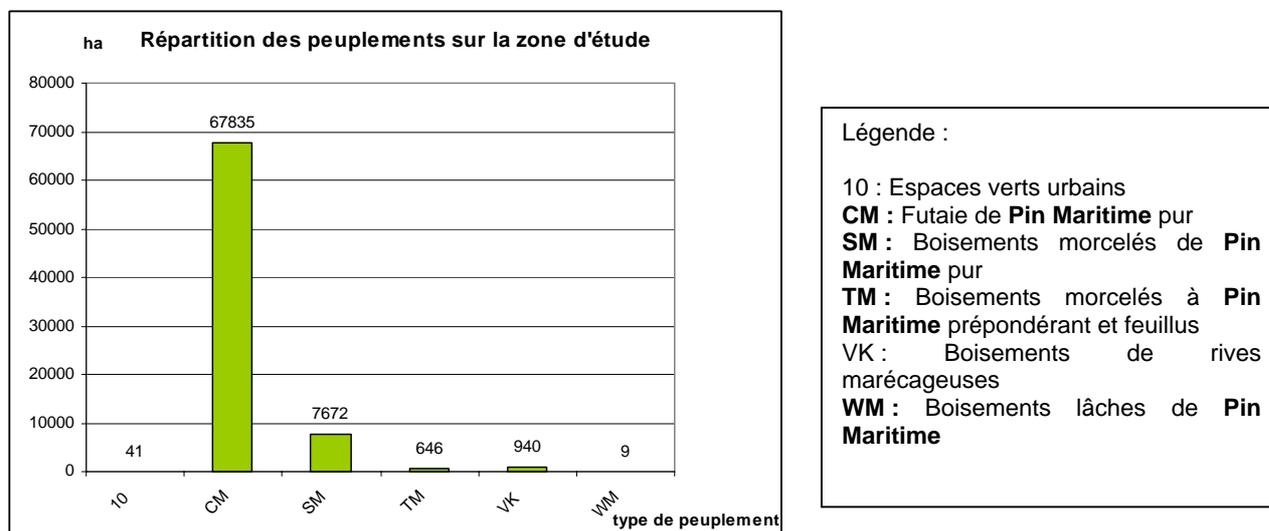
La figure 6 illustre la répartition du nombre de feux et les surfaces brûlées en fonction de l'essence brûlée.



Source : ARDFCI

Figure 6 : Répartition des feux en fonction des essences brûlées

Il apparaît clairement que les feux ont majoritairement éclo dans les parcelles de résineux. Cependant, la majorité des peuplements forestiers sur la zone d'étude sont des peuplements de pin maritime (figure 7).



Source : IFN, 2000

Figure 7 : Répartition des peuplements sur la zone d'étude

Par conséquent, il convient de s'intéresser aux surfaces moyennes brûlées par feu par essence, de manière à connaître leur capacité à propager le feu.

Tableau 15 : Répartition des feux en fonction de l'essence brûlée

Essence	Nombre de feux subis	Surface brûlée (ha)	Surface moyenne brûlée par feu
Résineux	40	41,99	1.05
Feuillus	3	0,13	0.04
Mixte	4	0,93	0.23
Total	47	43,04	0.92

Source : ARDFCI

Il apparaît que les peuplements de résineux, qui dégagent des substances inflammables, favorables au développement d'incendies de forêt, sont les plus sensibles :

- ils représentent environ 98 % des surfaces brûlées (cependant, on se doit de relativiser ce premier point en raison de la proportion de résineux sur la zone d'étude : figure 7),
- ils connaissent les plus importantes surfaces brûlées par feu (1.05 ha).

On peut alors classer les essences de la manière suivante, dans le sens d'une sensibilité croissante :

- peuplements de feuillus
- peuplements mixtes
- peuplements de résineux

Ces résultats sont confirmés par la littérature. En particulier, Alexandrian (1), en utilisant les résultats d'expériences et en s'appuyant sur l'avis d'experts, était parvenu à établir la classification suivante des différentes essences en fonction de leur combustibilité (échelle de notation allant de 0 à 8) :

- la majeure partie des feuillus : 2,
- le châtaignier, le chêne pubescent et l'olivier : 5,
- la majeure partie des conifères : 6,
- le chêne vert et la majeure partie des pins : 7,
- le pin d'Alep : 8.

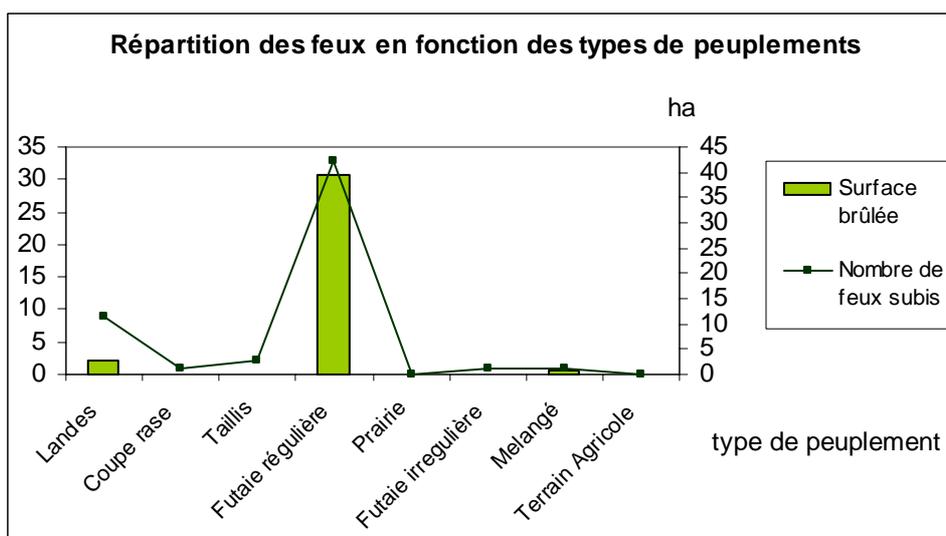
iii) L'étude des types de peuplements

Le tableau 16 et la figure 8 illustrent la répartition du nombre de feux et les surfaces brûlées en fonction du type de peuplement brûlé.

Tableau 16 : Répartition des feux en fonction du type de peuplement

Type de peuplement	Nombre de feux subis	Surface brûlée	Surface moyenne brûlée par feu
Landes	9	2,76	0,31
Coupe rase	1	0,02	0,02
Taillis	2	0,08	0,04
Futaie régulière	33	39,30	1,19
Prairie	0	0,00	0,00
Futaie irrégulière	1	0,09	0,09
Mélangé	1	0,79	0,79
Terrain Agricole	0	0,00	0,00
Total	47	43,04	0,92

Source : ARDFCI



Source : ARDFCI

Figure 8 : Répartition des feux en fonction des types de peuplements

Les futaies régulières et irrégulières étudiées ici sont toutes des peuplements de résineux, essence particulièrement sensible aux incendies de forêt.

A l'issue de cette étude on constate que les peuplements les plus sensibles aux éclosions de feux de forêt sont les futaies régulières : elles présentent le plus grand nombre de feux, les plus larges surfaces boisées et les surfaces brûlées par feu les plus importantes (1.22 ha/ feu).

Cependant, on se doit de souligner que la futaie régulière est le type de peuplement le plus représenté sur la zone d'étude. De plus, l'échantillon des peuplements incendiés n'a pas été ramené à la population des peuplements sur la zone.

Il apparaît également que l'hétérogénéité des parcelles soit défavorable au développement des feux (0.23 ha / feu).

On peut être étonné de voir que les surfaces brûlées par feu dans les peuplements de futaie irrégulière soient inférieures aux surfaces brûlées dans les peuplements mélangés (peuplements composés de feuillus et de résineux). Ce peut être en partie expliqué par la **faiblesse du nombre d'individus statistiques** qui amène à des résultats peu fiables.

Dans l'échantillon étudié, les surfaces brûlées par feu permettent de classer les types de peuplement en fonction de leur sensibilité au feu de la manière suivante (sensibilité croissante) :

- terrains agricoles et prairies
- coupes rases
- taillis
- futaie irrégulière (ici constituée uniquement de peuplements résineux)
- landes
- peuplements mélangés
- futaie régulière (ici constituée uniquement de peuplements résineux)

Le cas particulier du feu de Sabres de 15 ha

Toutefois, le feu de Sabres du 17/03/2005 de 15 ha, éclo dans une parcelle de futaie régulière de pin maritime, contribue à augmenter les surfaces brûlées et la surface brûlée moyenne par

feu de ce type de peuplement. Si on ne prend pas en compte ce feu, la surface moyenne brûlée par feu d'une futaie régulière de résineux est de **0.77 ha/feu**.

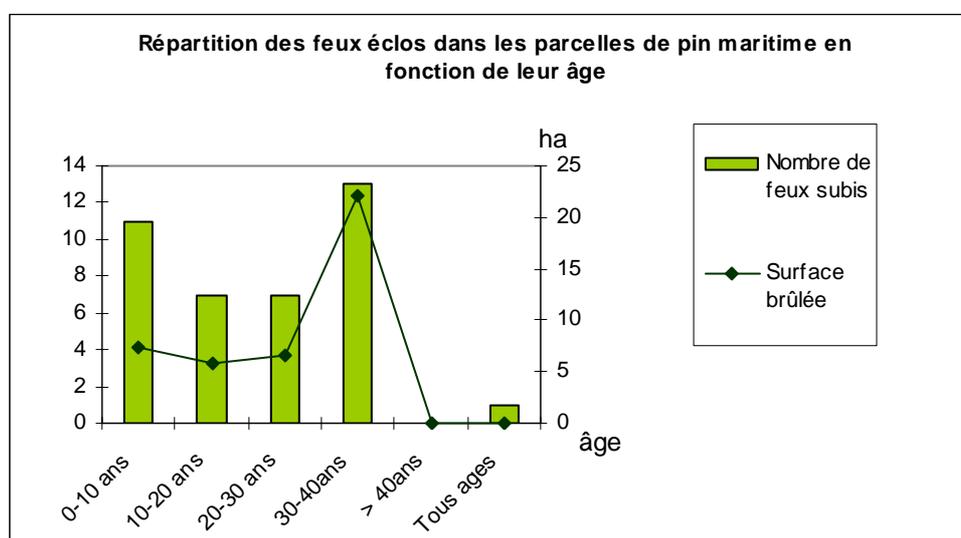
iv) Etude de l'âge des peuplements

L'étude de l'âge des peuplements n'a porté que sur les peuplements de pin maritime.

Tableau 17 : Répartition des feux en fonction de l'âge des peuplements

Age	Nombre de feux subis	Surface brûlée	Surface moyenne brûlée par feu
0-10 ans	11	7.40	0.67
10-20 ans	7	5.79	0.83
20-30 ans	7	6.52	0.93
30-40ans	13	22.18	1.71
> 40ans	0	0	0.00
Tous ages	1	0.09	0.09

Source : ARDFCI

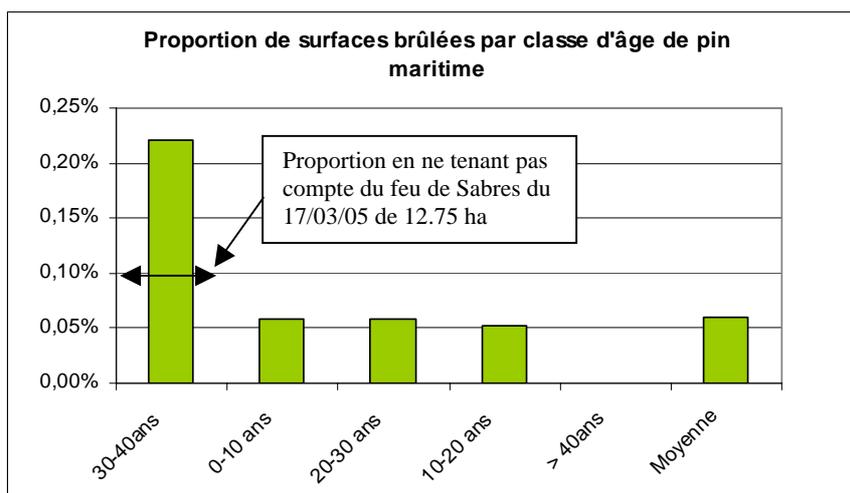


Source : ARDFCI

Figure 9 : Répartition des feux éclo dans les parcelles de pin maritime en fonction de leur âge

Il apparaît que la classe la plus représentée est celle des peuplements de 30- 40 ans (nombre de feux, surface totale brûlée, surfaces brûlées/ feu). Les autres classes d'âges sont représentées en parts comparables.

Dans le but de s'affranchir de la répartition des âges des peuplements de pin maritime sur la zone d'étude, la surface brûlée est rapportée à la surface occupée par classe d'âge par le pin maritime (données obtenues auprès de l'Inventaire Forestier National) (figure 10).



Source : IFN ; ARDFCI

Figure 10 : Proportion de surfaces brûlées par classe d'âge de pin maritime

La figure 10 met en évidence que les peuplements de 30- 40 ans sont les plus sensibles aux incendies de forêt : 0.22 % de la surface de pins maritimes de 30- 40 ans ont brûlé en 2005.

Si on ne tient pas compte du feu du 17/03/2005 à Sabres qui a brûlé 12.17 ha de pin maritime de 30- 40 ans, la part de la surface des peuplements de 30- 40 ans brûlée tombe à 0.10 %, ce qui reste supérieur aux autres classes d'âge.

On peut s'étonner de ce résultat : les jeunes peuplements présentent plus facilement une continuité verticale que les peuplements de 30- 40 ans, on pourrait s'attendre à un résultat inverse.

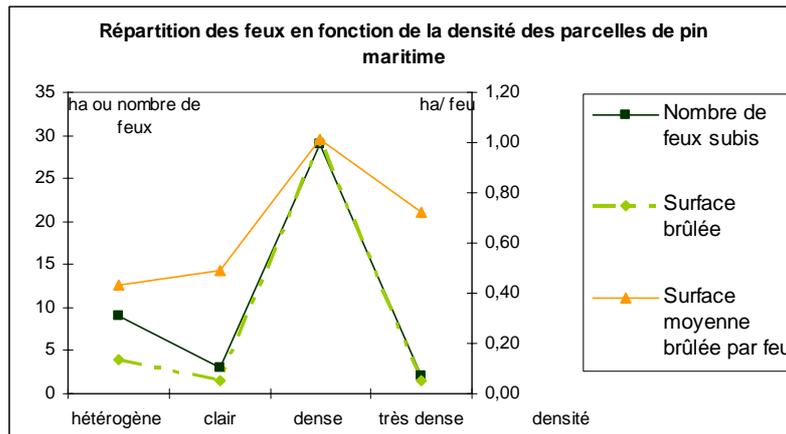
Une pré-étude de l'aléa incendie de forêt réalisée par l'ARDFCI sur le département des Landes (2) donnait une première classification des types de formation végétale en fonction de leur combustibilité, validée par des statistiques feux de forêt. La classification suivante avait été obtenue (dans un ordre de vulnérabilité croissante) :

- Vieille futaie de pin maritime
- Futaie d'âge moyen de pin maritime et pin maritime hétérogène
- Jeune futaie de pin maritime

Au vu de l'ensemble de ces résultats, il est difficile de réaliser le classement des peuplements de pin maritime en fonction de leur vulnérabilité au risque incendie de forêt.

v) Etude de la densité des peuplements de pin maritime

Devant la faiblesse du nombre d'individus statistiques des autres peuplements, cette étude n'a été réalisée que sur les peuplements de pin maritime.



Source : ARDFCI

Figure 11 : Répartition des feux en fonction de la densité des parcelles de pin maritime

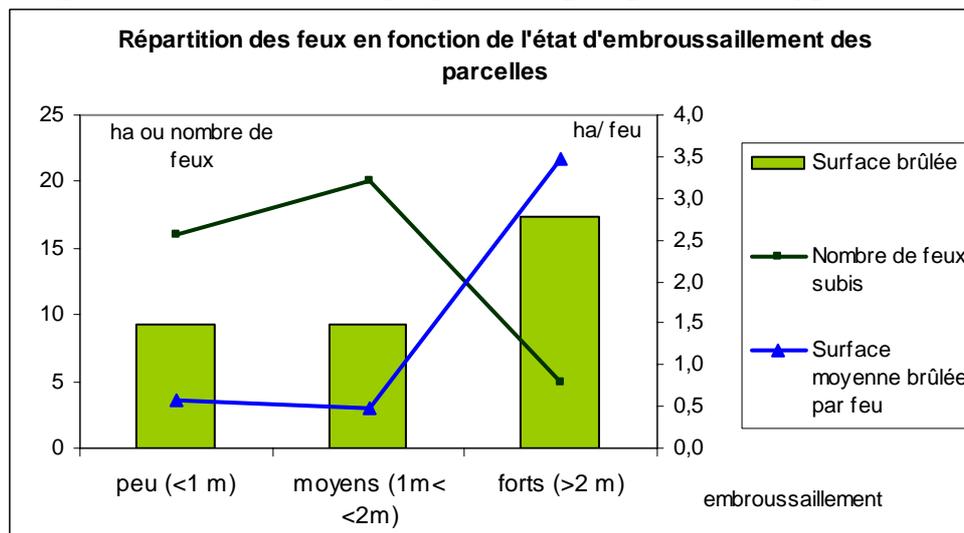
Il apparaît clairement que les peuplements de densité normale sont ceux qui présentent la surface brûlée par feu la plus importante. Par contre, les parcelles très denses semblent être moins favorables à la propagation des feux. Il se peut que cela soit dû à la fermeture de la canopée qui limite le développement du sous-bois et donc la quantité de combustible.

Ces résultats sont confirmés par la littérature. Encore une fois, Alexandrian (1), en utilisant les résultats d'expériences et en s'appuyant sur l'avis d'experts, était parvenu à établir la classification suivante des types de formation en fonction de leur densité :

- ligneux hauts, ayant un taux de recouvrement compris entre 50 et 75% : 7
- ligneux hauts, ayant un taux de recouvrement compris entre 75 et 100% : 5
- ligneux hauts, ayant un taux de recouvrement compris entre 25 et 50% : 2.

vi) Etude de l'état d'embroussaillage des peuplements

Cette étude a porté sur l'ensemble des peuplements quel qu'en soit le type.



Source : ARDFCI

Figure 12 : Répartition des feux en fonction de l'état d'embroussaillage des parcelles

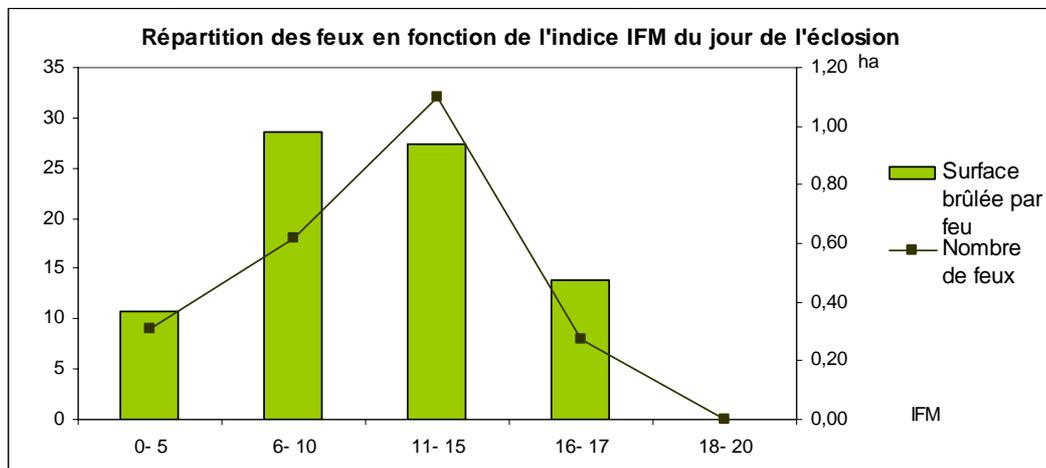
Il apparaît clairement que les parcelles les plus embroussaillées favorisent la propagation des feux : **en moyenne un départ dans une parcelle embroussaillée brûle 3.47 ha**, ce qui est supérieur aux moyennes annoncées dans le paragraphe III. a.

Il apparaît à l'issue de cette étude que la culture d'essences résineuses (par le dégagement de substances inflammables), une densité normale, un état d'embroussaillage fort augmentent la vulnérabilité des forêts face aux incendies. L'étude ne nous permet pas de conclure sur l'âge des peuplements. Toutefois, d'un point de vue statistique, le nombre de feux étudiés (48 feux) nous invite à être prudents dans ces conclusions. Il conviendrait de poursuivre les travaux sur plusieurs années.

f. Etude du climat

i) L'étude de l'Indice Forêt Météo

Les classes de la figure 13 sont tirées des classes de risque de l'IFM (5).



Source : ARDFCI

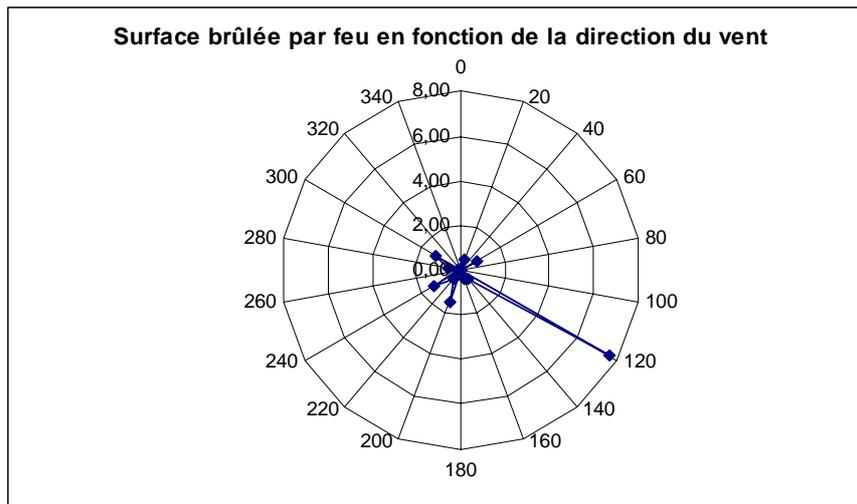
Figure 13 : Répartition des feux en fonction de l'indice IFM du jour de l'éclosion

Aucun feu n'a éclo dans des conditions de danger météorologique 'très sévère' (16-17) voire 'exceptionnel' (18-20). La majorité des feux éclot dans des conditions de risque 'léger' (6-10) ou 'modéré' (11-15). Cependant, contrairement à ce que l'on pourrait attendre, cette figure ne permet pas de conclure sur un lien entre nombre de feux ou surfaces brûlées par feu et niveau de risque.

ii) L'étude du vent

La direction des vents

La figure 14 suivante met en évidence les surfaces brûlées par feu en fonction de la direction du vent.



Source : ARDFCI

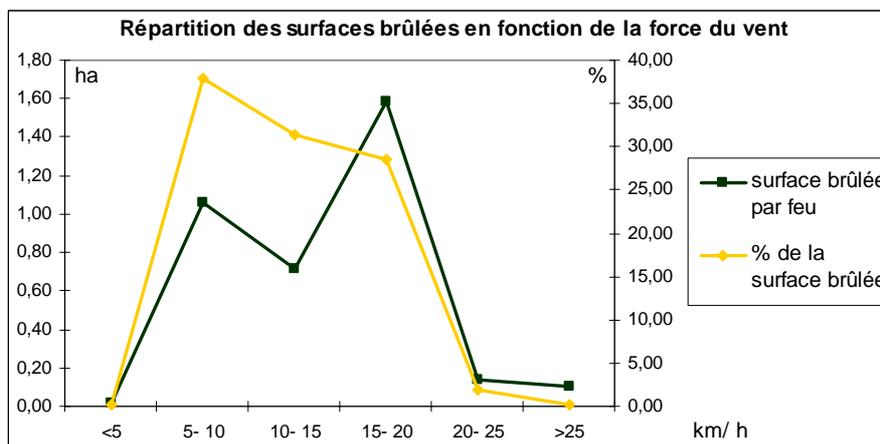
Figure 14 : Surface brûlée par feu en fonction de la direction du vent

Il apparaît que les feux éclos sous un vent de direction 120° ont des surfaces brûlées plus importantes. Cependant, il est à noter que le feu de Sabres du 17/03/2005 de 15 ha a éclos sous un vent de 120°. Par conséquent, le plus gros feu de la saison 2005 sur la zone d'étude a éclos sous un vent de sud-est réputé pour être un vent asséchant.

A titre indicatif, la même analyse a été réalisée en ne tenant pas compte de ce feu. Dans ce cas, la direction du vent ne semble pas être un facteur discriminant de la surface brûlée pour les feux de moins d'un hectare.

La vitesse des vents

L'étude des feux en fonction de la vitesse du vent permet d'obtenir la figure 15.



Source : ARDFCI

Figure 15 : Répartition des surfaces brûlées en fonction de la force du vent

Les surfaces brûlées par feu sont les plus importantes avec des vitesses de vent comprises entre 5 et 20 km/h. Ce résultat est surprenant puisque l'on aurait pu s'attendre à ce que les surfaces brûlées par feu soient proportionnelles à l'évolution de la vitesse du vent, et ce d'autant plus que les arrêtés départementaux de DFCI interdisent les brûlages dirigés et incinérations les jours où la vitesse du vent est supérieure à 20 km/h.

L'étude du climat permet difficilement de conclure sur des conditions météorologiques favorables au développement des grands incendies. La difficulté à déterminer des conditions météorologiques aggravant le risque feu de forêt a déjà été rencontrée à l'occasion de l'élaboration des PPRIF. Il semblerait cependant, que les feux éclos sous des vents de direction sud-est soient les plus dévastateurs.

g. Etude du comportement du feu

i) Présentation générale

Les relevés de la hauteur de flammes, de l'épaisseur d'écorce et de litière calcinées ont pour objet d'étudier le comportement du feu et les dommages occasionnés.

Plus particulièrement, la mesure de la hauteur de flammes permet d'estimer la puissance du front de flammes. Selon Byram (1959) (6), la puissance du front de feu (P_f) peut être évaluée par les formules suivantes :

$$P_f = Hwr \quad (1)$$

H : la chaleur spécifique de combustion ($J.g^{-1}$)

w : la quantité de combustible ($g. m^{-2}$)

r : la vitesse de propagation ($m.s^{-1}$)

ou

$$P_f = 260 (h)^{2.17} \quad (2)$$

h : la hauteur de la flamme (m)

En particulier, la littérature mentionne que cette équation (2) caractérise mieux les feux de faible puissance que ceux de forte intensité. En effet, selon Trabaud (1989) (6) : « *Un feu de puissance élevée a tendance à palpiter ou à brûler par soubresauts qui peuvent entraîner de grandes fluctuations de la longueur de la flamme. En outre, l'inflammation soudaine, dans la colonne de convection, des gaz non brûlés, entraîne des flamboiements rapides qui peuvent, momentanément s'élever à plusieurs dizaines de mètres de hauteur dans la colonne.* »

L'étude de la puissance d'un feu permet de qualifier les facteurs de fragilité de l'écosystème forestier :

- vitesse de propagation
- quantité de combustible
- qualité de combustible.

ii) Une étude limitée

L'étude des feux a été limitée en raison des coupes rases effectuées rapidement à la suite d'un sinistre. En effet, il est apparu au cours des relevés que certaines coupes rases avaient été effectuées dans un délai inférieur à trois semaines après le sinistre dans le but d'éviter le bleuissement du bois (Photo 3).



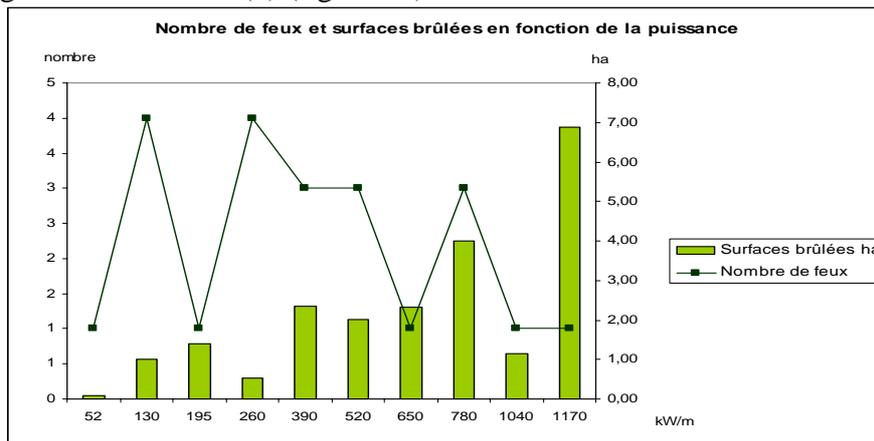
Photo 3 : Coupe rase après un sinistre (Feu 11/10/2005, Bias, Landes de Bias)

Par conséquent, les données utilisées dans ce paragraphe ne portent que sur 22 feux. Etant donnée la faiblesse du nombre d'individus statistiques, les résultats présentés ci-dessous devront être interprétés avec prudence.

Une amélioration possible serait de diminuer le délai entre l'incendie et les mesures. Malheureusement, ceci engendrerait une augmentation très importante de l'astreinte des équipes terrain et donc du coût de la collecte.

iii) Etude générale de la puissance

La mesure de la hauteur de flammes a permis de déterminer la puissance du front de flammes sur 22 feux, grâce à la formule (2) (figure 16).



Source : ARDFCI

Figure 16 : Nombre de feux et surfaces brûlées en fonction de leur puissance

Les feux sur lesquels a porté l'étude ont eu une puissance comprise entre **52 et 1170 kW/m**.

Selon, Trabaud (1989) (6) l'échelle suivante peut être retenue. Elle correspond à des gammes de dégâts croissantes :

- 20 à 350 kW/m
- 350 à 1700 kW/m
- 1700 à 3500 kW/m
- 3500 à 7000 kW/m
- Supérieur à 7000 kW/m.

Les feux étudiés sont donc de **faible puissance** et concernent les deux premières classes correspondant aux dégâts suivants :

- **20 à 350 kW/m** : « *les grands arbres subissent peu de dommages ; seul le sous-bois peut être partiellement ou totalement endommagé entraînant la mort de certains arbrisseaux* »,
- **350 à 1700 kW/m** : « *il y a une perte des feuilles de couronnes des arbres ; la plupart des buissons sont tués ; les basses branches des arbres sont endommagées et des blessures aux troncs apparaissent lorsque sont atteintes les fortes puissances de cette amplitude* ». (Trabaud 1989) (6)

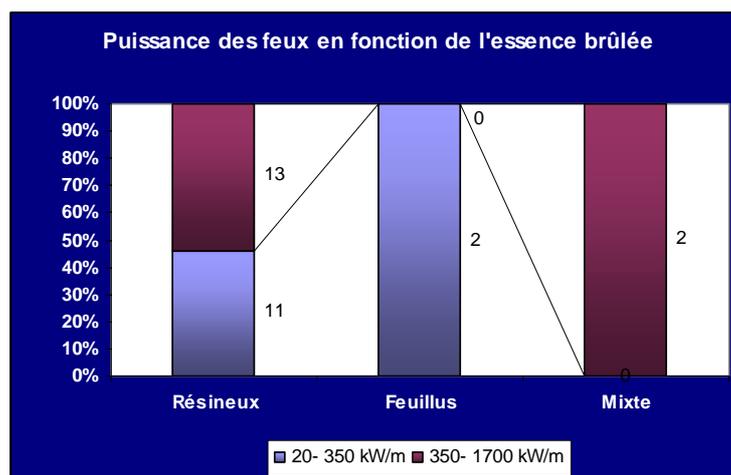
Les feux étudiés correspondant à des feux de faible puissance, la formule $P_f = 260 (h)^{2.17}$ peut être utilisée.

Ce résultat est confirmé par l'analyse des épaisseurs d'écorce calcinée. Celle-ci est **inférieure à 0,5 cm dans 25 feux sur 32 feux étudiés**. Au maximum l'épaisseur d'écorce calcinée est de 1,5 cm (un seul cas rencontré).

La figure 17 met en évidence une augmentation des surfaces brûlées avec l'augmentation de la puissance des feux (coefficient de corrélation de 0.65), ce qui paraît cohérent avec la formule de Byram (1).

iv) Relation entre puissance d'un feu et nature du peuplement brûlé

L'étude de la relation entre la puissance des feux et les essences brûlées permet d'obtenir la figure 17.



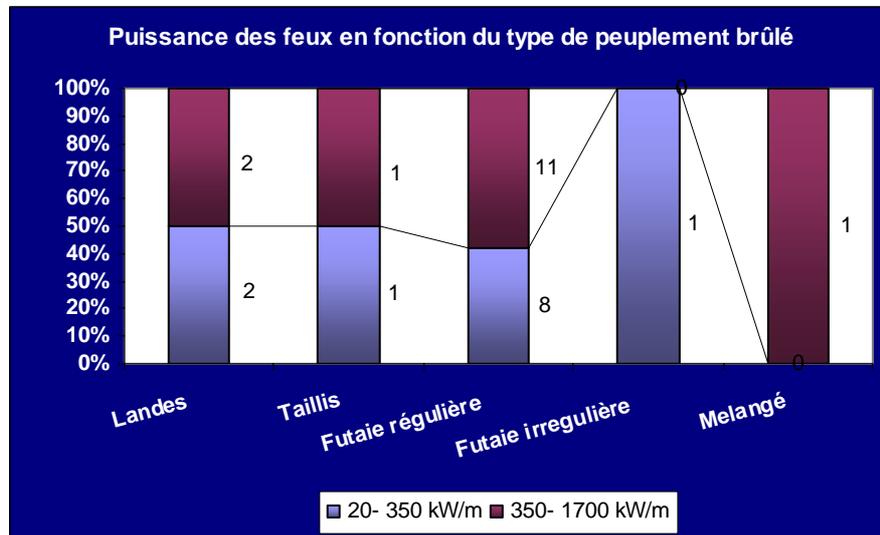
Source : ARDFCI

Figure 17 : Puissance des feux en fonction de l'essence brûlée

Couplée avec le résultat du paragraphe III e ii, il apparaît que les peuplements de résineux engendrent des feux de puissance plus importante plus souvent que les peuplements de feuillus. Cependant, on peut être surpris du résultat obtenu concernant les peuplements

mixtes, puisqu'ils semblent être plus favorables au développement de feux puissants que les autres peuplements, ce qui ne correspond pas au résultat présenté paragraphe III e ii. Ce résultat doit toutefois être considéré avec prudence étant donné que seuls deux feux éclos dans des peuplements mixtes ont fait l'objet de mesures.

Concernant l'étude des types de peuplements les résultats suivants ont été obtenus :



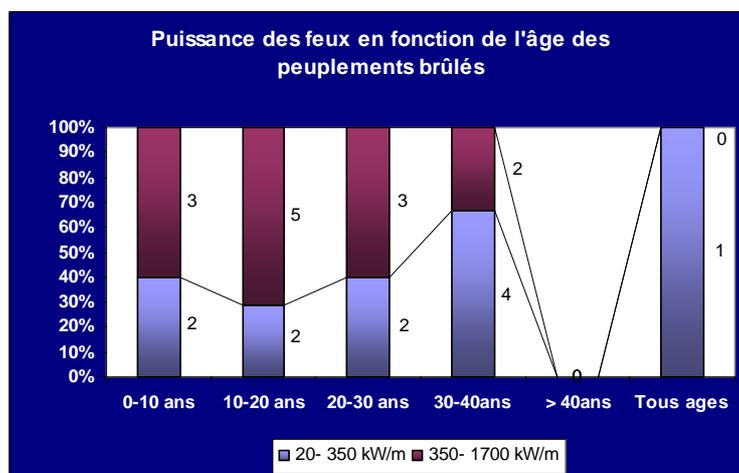
Source : ARDFCI

Figure 18 : Puissance des feux en fonction du type de peuplement brûlé

A l'issue de cette étude, il apparaît que les peuplements mélangés, les futaies régulières, les taillis et les landes soient favorables au développement de feux puissants, contrairement aux peuplements de futaie irrégulière.

Encore une fois, la faiblesse du nombre d'individus statistiques nous oblige à être prudents quant aux conclusions de ces résultats.

L'étude de la puissance des feux en fonction de l'âge des peuplements de pin maritime aboutit à la figure 19.



Source : ARDFCI

Figure 19 : Puissance des feux en fonction de l'âge des peuplements brûlés

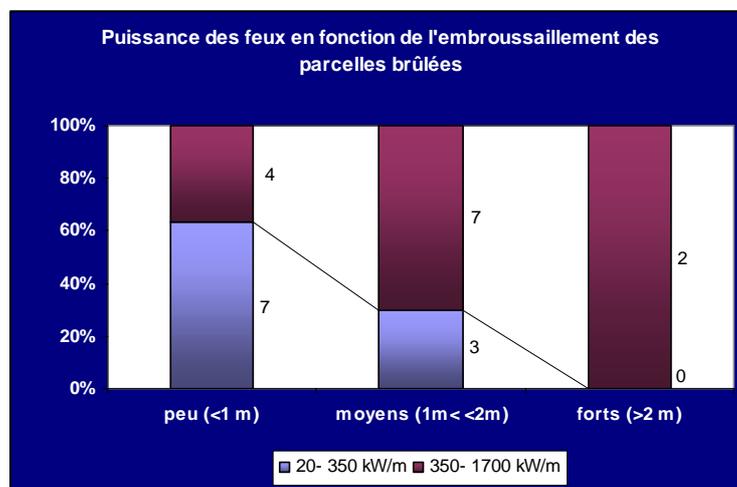
On constate que les peuplements âgés de 10- 20 ans favorisent le développement de feux plus puissants, puisque dans 70% des cas ils dépassent 350kW/m. Le classement suivant peut être réalisé (vulnérabilité croissante) :

- peuplements de 30- 40 ans
- peuplements de 20- 30 ans
- peuplements de 0- 10 ans,
- peuplements de 10- 20 ans

Les peuplements de plus de 40 ans n'ont pas pu être étudiés.

Ces résultats ne permettent pas de confirmer les résultats présentés au paragraphe III e iv, mais vérifient ce qui peut être lu dans la littérature.

L'étude de la puissance des feux en fonction de l'état d'embroussaillage des parcelles brûlées a abouti aux résultats suivants :



Source : ARDFCI

Figure 20 : Puissance des feux en fonction de l'embroussaillage des parcelles brûlées

Les résultats obtenus paraissent satisfaisants, mettant en évidence que plus l'embroussaillage est important plus la parcelle est favorable au développement de feux puissants. Ce résultat vient appuyer les résultats du paragraphe III e vi.

Il est difficile d'apporter des conclusions à l'étude de la puissance des feux étant donné la faiblesse du nombre d'individus statistiques. Cependant, deux grandes tendances se dégagent : les jeunes peuplements et les parcelles les plus embroussaillées sont favorables au développement de feux plus puissants.

h. Aspects sociologiques

i) Morcellement de la propriété

L'embroussaillage étant un facteur de propagation du feu, il est apparu intéressant de s'interroger sur le rapport entre entretien des parcelles et taille des propriétés. Pour cela nous nous sommes appuyés sur les résultats du critère 6, sous indicateur 6.1.1 « Structure de la propriété forestière », communiqués par le CRPF Aquitaine. Le tableau 18 indique pour

chaque commune de la zone d'étude la surface moyenne des comptes de propriétés publiques et privés. Les parcelles en landes n'ont pas été prises en compte.

Tableau 18 : Impact du morcellement de la propriété

Commune	Surface moyenne/ compte	Superficie brûlée/ feu (2001- 2005)
Aureilhan	6,52	0,20
Labouheyre	23,61	0,31
Solferino	43,53	0,36
Mimizan	27,19	0,39
Sainte Eulalie en Born	20,36	0,41
Trensacq	38,27	0,51
Saint Paul en Born	16,21	0,61
Gastes	13,97	0,65
Escource	25,71	0,77
Lue	29,63	0,79
Sabres	37,76	1,00
Commensacq	32,38	1,04
Pontenx les Forges	18,42	2,08
Bias	20,88	11,09
Total	25,45	0,97

Source : CRPFA et ARDFCI

Le code couleur est le suivant : les communes dont la surface moyenne par compte de propriété est :

- comprise entre 4 et 10 ha en vert
- comprise entre 10 et 25 ha en jaune
- supérieure à 25 ha en orange

Les communes sont classées par ordre croissant en fonction de la superficie moyenne brûlée par feu.

Aucun lien n'apparaît entre les surfaces moyennes brûlées par feu et la surface moyenne par commune des comptes de propriété.

Cette étude aurait été plus pertinente en s'intéressant à la taille des parcelles touchées par les feux. Malheureusement, ceci n'a pas été possible : d'une part, il est difficile de localiser un feu sur un plan cadastral et d'autre part, un même feu peu toucher plusieurs parcelles.

ii) Estimation des pertes économiques

Les pertes économiques ont été estimées à partir des peuplements de futaie régulière de pin maritime à l'aide du tableau suivant :

Tableau 19 : Estimation des pertes économiques

Classe d'âge	Prix estimé € ha
0-10 ans	2 060,00
10-20 ans	3 220,00
20-30 ans	4 000,00
>30 ans	3 377,50

Source : ARDFCI

Les résultats suivants ont été obtenus :

Tableau 20 : Estimation des pertes économiques de 2005

Age	Surface brûlée (ha)	Perte économique (€)
0- 10 ans	5,42	11 163,14
10- 20 ans	5,69	18 312,14
20- 30 ans	6,00	24 000,00
30 ans <	22,18	74 909,57
Total	39,29	128 384,85

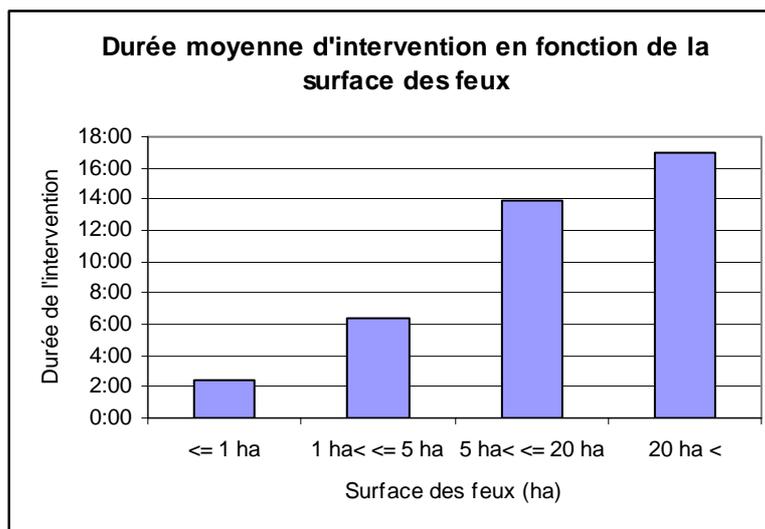
Source : ARDFCI

Les plus grosses pertes concernent les peuplements âgés de plus de 30 ans (plus grosses surfaces touchées).

i. Les conditions de lutte

i) Les moyens engagés

L'intervention des sapeurs-pompiers conditionne bien évidemment l'évolution du feu. Ce paragraphe vise à évaluer le lien entre surface brûlée et durée d'intervention.



Source : ARDFCI

Figure 21 : Durée moyenne d'intervention en fonction de la surface des feux

Etant donné que les feux font en moyenne 0.97 ha, on constate que la majorité des interventions sont d'une durée inférieure à 2h00 (49 % des feux éclos sur la zone d'étude entre 2001 et 2005). 23% des feux nécessitent une intervention comprise entre 2 et 4h ; 25 % entre 4 et 12 heures. Seule une minorité nécessite plus de 12h d'intervention (les interventions de 12 à 24h ne concernent que 1% des feux et celles de plus d'une journée ont concerné moins de 0.5% des feux éclos sur la zone d'étude entre 2001 et 2005, ce qui représente 2 feux).

Cette analyse aurait pu être améliorée en étudiant le lien entre la surface à l'attaque et la durée d'intervention. Cela nécessite l'obtention de la surface brûlée à l'arrivée des services de secours sur le lieu du sinistre, donnée qui n'était pas disponible au cours de cette étude.

ii) L'accessibilité du massif

Tableau 21 : Réseau de pistes par commune (km/ 100 ha boisés)

Commune	Densité de pistes en sol naturel de largeur <4m	Densité de pistes en sol naturel de largeur >4m	Densité de pistes empierrées	Densité du réseau local goudronné	Densité du réseau secondaire
AUREILHAN	0,86	3,53	0,04	1,25	4,82
BIAS	2,66	2,11	0,07	0,77	2,96
COMMENSACQ	2,61	0,47	0,38	0,29	1,13
ESCOURCE	3,41	1,83	0,16	0,23	2,22
GASTES	0,92	11,61	0,86	2,35	14,82
LABOUHEYRE	1,34	2,26	0,19	1,39	3,84
LUE	2,14	1,86	0,15	0,42	2,43
MIMIZAN	2,09	2,76	0,39	0,95	4,10
PONTENX	2,04	1,91	0,49	0,26	2,65
SABRES	1,81	1,05	0,16	0,26	1,46
SOLFERINO	2,77	2,48	0,30	0,21	2,99
ST-PAUL	1,93	1,74	0,10	0,33	2,17
STE-EULALIE	1,48	9,04	0,58	1,42	11,04
TRENSACQ	1,89	1,51	0,28	0,23	2,02
Moyenne	2,19	2,23	0,28	0,49	3,00

Source : ARDFCI

Le réseau de pistes secondaires correspond aux pistes en sol naturel de largeur supérieure à 4m, les pistes empierrées et les routes du réseau local goudronné.

Selon la « Typologie des travaux de défense des forêts contre l'incendie dans le massif des Landes de Gascogne » (4), il est recommandé que le maillage de pistes secondaires atteignent en moyenne **4 km / 100 ha boisés**. De manière générale, la zone d'étude à un réseau de pistes d'une densité inférieure aux objectifs visés. Cependant, les communes d'Aureilhan, Gastes, Mimizan et Ste Eulalie en Born présentent une très bonne accessibilité de leur massif.

Le réseau de pistes de la zone d'étude se caractérise par un maillage essentiellement en pistes en sol naturel. En particulier, il est intéressant de constater que la densité de pistes en sol naturel de largeur supérieure à 4m est plus importante que celle de largeur inférieure à 4 m, puisqu'elles permettent aux véhicules de secours de se croiser sans danger diminuant les délais des aller- retour aux points d'alimentation en eau.

iii) La disponibilité en eau

Tableau 22 : Réseau de points d'alimentation en eau

Type de point d'alimentation en eau	Nombre	Pourcentage
Châteaux d'eau (AEP)	13	3,16
Forages DFCI	121	29,37
Forages privés	16	3,88
Points d'eau naturels	71	17,23
Prises d'eau	170	41,26
Puisards	0	0,00
Réservoirs	21	5,10
Total	412	100,00

Source : ARDFCI

La défense des forêts contre les incendies est essentiellement assurée par les forages DFCI. Les prises d'eau étant surtout utilisées pour la défense de l'urbain. Comme pour l'accessibilité

du massif, la « Typologie des travaux de défense des forêts contre l'incendie dans le massif des Landes de Gascogne » (4), préconise une densité de points d'alimentation en eau d'**un point aux 500 ha**. La zone d'étude compte en moyenne **1.5 points d'alimentation en eau pour 500 ha de forêt** (les châteaux d'eau et les prises d'eau n'ont pas été pris en compte pour la défense incendie en forêt). Par conséquent, il semble qu'elle ait une disponibilité en eau suffisante. Cependant, cette moyenne doit être relativisée, puisqu'elle ne rend pas compte de la répartition géographique des points d'alimentation en eau.

Le maillage de la zone en pistes d'accès et en points d'alimentation en eau contribue à réduire les délais d'intervention des services d'incendie et de secours. Le principe d'attaque des feux naissants sur lequel repose la lutte est donc possible, limitant la propagation du feu et permettant que la majorité des interventions soit de durée inférieure à 2h.

IV Estimation du coût de mise en place des indicateurs

La mise en place de cet indicateur nécessite :

- des relevés terrain (contour des feux, nature des peuplements, hauteur de flamme, épaisseurs de sol et d'écorce calcinées),
- des données à disposition de l'ARDFCI, de l'IFN et du CRPF.

Seules les données nécessitant un travail terrain ont fait l'objet d'un chiffrage (temps et frais de déplacement), les autres données n'ayant requis aucun investissement complémentaire (utilisation de données à disposition de l'ARDFCI ou de données mises à disposition par les partenaires dans le cadre de l'étude...). Le tableau suivant synthétise l'ensemble des coûts liés à la mise en place de cet indicateur (journées homme, frais de déplacements, amortissement du matériel informatique). En particulier, le coût des journées homme ont été imposées dans le cadre de l'étude.

Tableau 23 : Estimation du coût de mise en place des indicateurs

Poste	Unité	Nombre	Total
Mesures terrain	jours	10	1 250,00 €
<i>Relevé du contour du feu</i>			
<i>Nature du peuplement</i>			
<i>Hauteur de flamme</i>			
<i>Epaisseur de sol calcinée</i>			
<i>Epaisseur d'écorce calcinée</i>			
Intégration des données dans le SIG	jours	2	250,00 €
Traitement des données	jours	6	1 200,00 €
Frais de déplacements	km	3818	1 030,86 €
Matériel informatique et GPS	amortissement		99,78 €
Total			3 830,64 €

Source : ARDFCI

Cela représente un coût de **98.22 € par feu**. Or l'Aquitaine compte en moyenne 1 000 feux de plus de 100 m² par an. Par conséquent, si on généralise ce calcul sur l'ensemble de la région Aquitaine la mise en place de cet indicateur représente **un investissement de 98 220 € par an**.

V Conclusion

Si l'objectif de cette étude était de déterminer les facteurs de la vulnérabilité de l'écosystème forestier au risque incendie de forêt, il est difficile de conclure de manière tranchée.

En effet, la principale difficulté rencontrée est la faiblesse du nombre d'individus statistiques (85 feux dont seulement 39 de plus de 100 m²). Par conséquent, on peut s'interroger sur la représentativité des statistiques. Il serait donc intéressant de poursuivre ces travaux sur plusieurs années.

L'obtention de données est d'autant plus difficile que les bois sont exploités rapidement après un sinistre de manière à éviter leur bleuissement. Une amélioration possible serait donc de diminuer le délai entre l'incendie et les mesures, ce qui engendrerait une augmentation très importante de l'astreinte des équipes terrain et donc du coût de la collecte.

Enfin, l'intervention des sapeurs-pompiers apporte un facteur nouveau qui influence bien évidemment l'évolution des feux.

Cependant, on peut déduire deux grandes caractéristiques :

- l'étude de la puissance des feux, approchée pour la première fois sur le massif des Landes de Gascogne par des mesures physiques, a permis de déterminer que les feux éclos sur la zone d'étude en 2005 étaient des feux de faible puissance
- les activités humaines paraissent influencer de manière plus importante les départs de feux que la nature des peuplements.

Une description plus poussée du sous-bois (quantité de combustible, nature du combustible) aurait permis d'étudier plus précisément les espèces favorisant la propagation et l'éclosion des feux. Encore une fois ce type de mesures requiert une astreinte très importante de l'équipe terrain par la lourdeur du travail à réaliser. D'autre part, il est important de réaliser ces mesures dans un délai faible après le sinistre de façon à avoir une description la plus proche de l'état de la végétation au moment du sinistre possible.

D'autre part, il aurait été intéressant d'essayer d'obtenir auprès des sapeurs-pompiers :

- la localisation des départs de feu au sein de la parcelle, de manière à étudier de façon plus précise les facteurs d'éclosion
- la surface brûlée à l'arrivée des services de secours sur le sinistre de manière à la prendre en compte dans des travaux complémentaires.

L'intérêt de cet indicateur est son aspect synthétique. En effet, il prend en compte à la fois les aspects d'éclosion et de propagation, les conditions météorologiques, l'aménagement du territoire et les aspects sociologiques. En réalisant ces mesures de manière systématique il serait possible d'optimiser la protection (prévention, prévision, lutte).

Cependant, les relevés effectués répondant à des événements ponctuels et fréquents (environ 1000 départs de plus de 100m² par an sur l'Aquitaine sur la période 2001- 2004), il paraît difficilement envisageable de systématiser l'ensemble de ces travaux : cela représenterait un investissement en journées homme et un investissement financier importants : 98 220 €

Pourtant, si le suivi de cet indicateur à un niveau de détail aussi précis représente un investissement important, on ne doit surtout pas sous-estimer l'intérêt du suivi du nombre de feux et des surfaces brûlées par an qui permet la surveillance de l'évolution du risque.

Bibliographie

- 1) Alexandrian, D. 1982. Estimation de l'inflammabilité et de la combustibilité de la végétation. Bulletin d'information du CEMAGREF, Janvier 1982, n°228, pp31-39.
- 2) ARDFCI, 2000. Présentation de la méthodologie ARDFCI- Etude préalable à l'élaboration de l'Atlas du département des Landes
- 3) ARDFCI ; ONF. Réalisation de quatre projets de plans de Prévention des Risques Feux de Forêt, respectivement sur les communes de Lacanau, Le Porge, Le Temple et Saumos. Analyse préalable . Typologie de la végétation et Incendie de référence. 2003.
- 4) ARDFCI. Typologie des travaux de défense des forêts contre l'incendie dans le massif des Landes de Gascogne, Juin 2004, 38 pages.
- 5) CIRCOSC. Guide d'interprétation des indicateurs météorologiques du risque feu de forêt- Campagne feu de forêt 2004- Version 3- Avril 2004.
- 6) Trabaud, L. 1989. Les feux de forêt : mécanisme, comportement et environnement, Aubervilliers : France- Sélection. 278 pages.