



# NOTE DE SYNTHÈSE DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU PARC NATUREL RÉGIONAL DES PYRÉNÉES ARIÉGEOISES SUR LES BRÛLAGES PASTORAUX EN ARIÈGE - MAI 2019

Ont contribué à cette note de synthèse, par ordre alphabétique les membres du Conseil scientifique suivants : Anne Calvet présidente du Conseil Scientifique, Bernard Defaut spécialiste de l'entomofaune et des relations climat-végétation, Gaëlle Fedrigo chargée de mission agro-environnement et biodiversité au Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises, Gérard Largier directeur du Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées, Emmanuel Menoni chargé de mission à l'ONCFS spécialiste de la faune de montagne, Jean- Paul Métaillé directeur de recherches CNRS émérite – laboratoire GEODE, Gilles Pottier herpétologiste, et Aurélien Ribes climatologue au centre national de recherches météorologiques de Toulouse.

## Sommaire

Introduction .....	1
Partie 1 : une pratique ancienne et encadrée, des risques nouveaux.....	2
1.1. Une pratique ancienne. La place du feu dans l'histoire des paysages pyrénéens.....	2
1.2. Une pratique diversement réglée et encadrée dans les Pyrénées .....	3
1.3. Les risques actuels et les nouveaux projets de réglementation en Ariège .....	5
Partie 2 : les impacts des brûlages pastoraux sur les sols, la biodiversité, les paysages et la valeur pastorale.....	7
2.1. Les effets de l'intensité et de la sévérité des brûlages sur les sols.....	7
2.2. Les effets des brûlages sur la biodiversité - peuplements végétaux et animaux, flore et faune .....	12
2.3. Les effets des brûlages sur la valeur pastorale et les paysages.....	15
Partie 3 : les études, expérimentations et travaux de recherche en cours et perspectives.....	17
3.1. Les études des impacts des brûlages sur la qualité de l'air et sur l'atmosphère .....	17
3.2. Les projets locaux d'expérimentation et les travaux de recherche en cours.....	18
3.3. Les travaux de recherche et les expérimentations à encourager .....	20
Conclusion .....	22
Travaux cités.....	24





# INTRODUCTION

Au cours de l'hiver 2017, des opérations de brûlage pastoral dans les hautes vallées de l'Ariège et du Vicdessos, mal maîtrisées et pour certaines effectuées sans respect de la réglementation en cours, dégénèrent en larges incendies, nécessitant l'intervention du SDIS 09 (Service Départemental d'Incendie et Secours). Ces incendies ravivent en Ariège une polémique entre les partisans de la réouverture paysagère ou de l'entretien des milieux par l'utilisation du feu et ses opposants, dans un double contexte de déprise agricole et de changement climatique, ce qui en fait une question socialement vive.

Soucieux d'apaiser les tensions et d'acquérir des connaissances scientifiques sur l'intérêt ou non des brûlages pastoraux, le Bureau du Syndicat Mixte du Parc naturel régional (SMPNR) des Pyrénées Ariégeoises sollicite alors le Conseil scientifique du PNR, dans une délibération du 20 mars 2018. Le Bureau demande au Conseil scientifique la production d'une note de synthèse, qui fasse le point sur l'histoire et la législation des feux pastoraux en Ariège, étudie les effets avérés ou probables de ces feux dans leur diversité et leur complexité, présente des comparaisons de pratiques d'ouverture des milieux et replace l'ensemble dans le contexte des enjeux de société actuels et futurs.

En réponse à cette sollicitation, le Conseil scientifique désigne en son sein un groupe de travail, regroupant des chercheurs en sciences humaines et en sciences de la nature. Un an après, la livraison de la présente note de synthèse est une tentative de réponse à la commande du bureau du SMPNR, qui ne prétend ni à l'exhaustivité ni à l'établissement de certitudes, tant le sujet est complexe et les données locales disponibles incomplètes.

Le groupe de travail a été en effet confronté très vite à trois défis.

Le premier défi a été celui de la définition claire des termes et du périmètre du sujet. En effet, les pratiques de « feu pastoral » qui sont des techniques d'entretien des milieux très courantes et très anciennes dans les Pyrénées, mais aussi en Europe et dans le monde entier, recouvrent en réalité des procédures très diverses dans des lieux, temporalités et situations très variées. Les dérives actuelles sont, le plus souvent, constatées dans les vacants intermédiaires, pâturages de demi-saison, autrefois intensément utilisés, avec une pression pastorale forte, mais aujourd'hui moins utilisés et où les brûlages dirigés comme le débroussaillage mécanique sont difficiles. Pour cette note de synthèse, le terme de « brûlage pastoral » a été préféré à celui de feu pastoral, pour le distinguer de l'incendie et de l'écobuage, qui se pratiquent aussi hors des espaces dits « pastoraux » ; le groupe de travail aborde essentiellement dans cette note les brûlages sur pied dans les espaces pastoraux et les vacants intermédiaires. Par ailleurs, travailler sur ce sujet c'est aussi s'intéresser à la préservation de la biodiversité, à ce qu'est « la conservation de la nature », car le brûlage pastoral est une pratique qui touche à la question globale de la place de l'homme dans la nature, ou de l'impact de la société sur les milieux. Ces aspects sont liés à des choix de société, qui ne seront abordés ici que sommairement. Enfin ce sujet impose de se poser aussi la question de l'impact des brûlages sur la santé.

Le deuxième défi a été celui de la collecte de données scientifiquement établies qui permettent de préciser quels peuvent être les impacts, positifs ou négatifs, de ce type de pratiques sur l'environnement naturel et économique, localement, et sur quels milieux. En effet, la bibliographie des travaux de recherche effectués sur ce sujet est à la fois très abondante et incomplète.

Enfin, le troisième défi a été celui du repérage de travaux de comparaisons pertinents et opérants, entre les pratiques de brûlage pastoral et d'autres pratiques qui ont aussi pour but l'ouverture ou le débroussaillage, en conservant les avantages du brûlage, sans les inconvénients.

Dans ce contexte, et tout en essayant de respecter des délais de réponse raisonnables, le groupe de travail s'est efforcé d'éviter toute généralisation abusive, en entrant dans la complexité et en tenant à distance les débats liés aux choix de société.

Nous présenterons dans une première partie l'ancienneté de ces pratiques de brûlage pastoral et les évolutions de leur encadrement, en replaçant le sujet dans le contexte historique et législatif du temps long, puis dans une deuxième partie nous ferons le point sur les impacts probables ou possibles de ces pratiques sur les sols, la biodiversité, la valeur pastorale et les paysages dans les Pyrénées ariégeoises ou des territoires semblables, puis dans une troisième partie nous apporterons quelques informations à propos des impacts de brûlages sur l'air et l'atmosphère, avant d'évoquer les expérimentations, études comparées et travaux de recherche en cours ou à encourager.

## **PARTIE 1 : UNE PRATIQUE ANCIENNE ET ENCADREE, DES RISQUES NOUVEAUX**

### **1.1. Une pratique ancienne. La place du feu dans l'histoire des paysages pyrénéens.**

Reconstituer l'histoire des feux est important à l'échelle pyrénéenne pour comprendre sa place dans la construction des paysages sur la longue durée. Les espaces pastoraux, en particulier, sont étroitement liés à une gestion par le feu d'un bout à l'autre de la chaîne.

A l'échelle locale de cette gestion (estives, zones intermédiaires, voire parcelle), la répétition des brûlages sur des siècles, voire des millénaires, a depuis bien longtemps transformé aussi bien la végétation que les sols. On ne peut donc pas considérer le feu comme impactant aujourd'hui un milieu primaire, ses effets doivent être analysés au regard de cette histoire, de la fréquence passée des brûlages et du temps écoulé depuis le dernier feu. Il est fondamental aussi d'analyser les processus en fonction de l'évolution des pratiques et de la pression pastorale, et des phénomènes d'enfrichement qui sont associés. Or, on doit noter dans la littérature que beaucoup d'études récentes ne prennent pas en compte cette dimension historique et analysent les dynamiques à partir d'un seul feu donné. Les recherches récentes en paléoécologie, écologie historique et archéologie, qui ont été particulièrement développées dans les Pyrénées au cours des dernières décennies, permettent aujourd'hui d'avoir ce panorama historique.

On sait maintenant que les incendies naturels de forêts ont été périodiques pendant la phase de recolonisation forestière post-glaciaire, en relation avec le réchauffement et les phases de sécheresses. A partir de 5 à 6000 ans av. J.C., dès les premiers temps de la colonisation agro-pastorale du Néolithique, ce sont les feux d'origine humaine qui dominent<sup>1</sup>. Des débuts de l'Âge du Bronze (vers 2000 av. J.C.) jusqu'à l'Antiquité, les pratiques intensives du feu se généralisent dans tout l'espace montagnard (brûlages pastoraux et agricoles). Les « artigues »<sup>2</sup> connaissent encore un pic au Moyen-Âge puis disparaissent peu à peu jusqu'au XIXe siècle. Par contre, l'entretien des pâturages par écobuages se maintient jusqu'au XXe siècle et ne diminue que dans la seconde moitié de ce siècle, parallèlement à la crise agro-pastorale, à la baisse de la pression pastorale et à l'enfrichement. Le feu n'est donc pas un épiphénomène dans l'histoire des paysages pyrénéens mais une constante variable, et on peut considérer la pratique actuelle comme un résidu des pratiques anciennes, dans des espaces modelés par le feu, l'agriculture et le pâturage sur des durées pouvant atteindre 7000 ans.

L'histoire récente, au XXe siècle, est dominée par les processus d'abandon, sous-pâturage et enfrichement des espaces pastoraux qui changent souvent profondément le comportement du feu et accroissent les risques<sup>3</sup>. Les zones intermédiaires et les terroirs enfrichés deviennent les secteurs où se posent les problèmes de gestion des feux. Cela s'accompagne aussi de la diminution de la main d'œuvre disponible pour réaliser des brûlages dans les moments propices et d'une perte des savoir-faire traditionnels.

Si des pratiques régulières se maintiennent dans les estives, où les problèmes de gestion sont mineurs, leur fréquence diminue. Par contre l'enfrichement des bas versants devient le principal problème de gestion des

<sup>1</sup> Cultures sur brûlis dans les basses vallées et défrichements pastoraux par le feu en altitude

<sup>2</sup> Défrichements agricoles par essartage

<sup>3</sup> Accumulation de biomasse combustible, disparition des coupe-feux naturels, implantation de plantations résineuses très combustibles

brûlages. D'une part, l'abandon des cultures (terrasses et prairies de fauche), qui n'avaient pas connu de feu depuis leur défrichement, se traduit par une croissance de landes et broussailles très dynamiques, profitant d'une fertilité héritée dans des sols amendés et remaniés depuis des siècles. Des biomasses considérables peuvent s'accumuler sur ces espaces construits, où la problématique est plutôt celle de la réouverture. D'autre part, les pâturages communaux des zones intermédiaires, autrefois très exploités, connaissent aussi un enrichissement rapide par des landes pouvant accumuler de fortes quantités de biomasse. Ces milieux étant par ailleurs proches des forêts et plantations, des granges et d'autres équipements, cela accroît les risques alors que les coupe-feux traditionnels disparaissent dans l'enrichissement. Cette situation a débouché sur les actions contemporaines d'organisation des brûlages via les Commissions Locales d'Écobaie (Faerber 1995) (Métailié et Faerber 2003).

## 1.2. Une pratique diversement réglée et encadrée dans les Pyrénées

### LA GESTION DES BRULAGES : CONTEXTE EUROPEEN ET FRANÇAIS

Les pratiques traditionnelles de gestion des espaces pastoraux par le feu étaient encore très répandues dans la plupart des pays européens jusqu'à la seconde Guerre Mondiale ; puis les processus d'abandon rural, en particulier dans les montagnes, ont entraîné perte des savoir-faire traditionnels et enrichissement. Par ailleurs, en particulier dans les zones méditerranéennes, l'accroissement des incendies liés à l'embroussaillage et à la densification des forêts a entraîné le durcissement des réglementations de prévention. Cette évolution réglementaire en Europe a fait voisiner des contextes institutionnels variés (Montiel Molina et Kraus. 2010) (Montiel-Molina et Kraus 2013), allant de l'interdiction totale de l'usage du feu dans certains pays, à son intégration dans la gestion des espaces dans d'autres. En effet, à partir des années 1970-80, les travaux menés sur l'écologie du feu et les techniques de brûlage ont permis de comprendre la logique et les effets d'une pratique maîtrisée.

Aux Etats-Unis, les recherches avaient abouti au « prescribed burning », mis en œuvre sur le terrain par les services forestiers. Ces techniques de « feu contrôlé » ou « brûlage dirigé » ont ainsi été introduites en France dans les années 1980, à la suite d'une mission aux Etats-Unis de responsables forestiers méditerranéens (Alexandrian et al. 1980). L'unité « Prévention des Incendies de Forêt » de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) d'Avignon a été chargée de tester sa faisabilité en milieu méditerranéen et son efficacité en tant que technique de débroussaillage, y compris dans les écosystèmes forestiers. Ce travail a abouti au développement des techniques appliquées par les unités de forestiers sapeurs de l'Office National des Forêts (ONF), les Services départementaux d'incendie et de secours (SDIS) et les Unités d'instruction et d'intervention de la Sécurité civile (UIISC), essentiellement dans les Pyrénées, le sud du Massif central, les Alpes du Sud et la Corse, où ont été constituées des *cellules de brûlage dirigé*. Cette technique est orientée vers la prévention des incendies de forêt, mais appliquée aussi pour la gestion des espaces pastoraux. En 1990 a été créé le « Réseau des équipes de brûlage dirigé », qui rassemblait 30 équipes en 2018. Parallèlement, dans les années 1980, les services pastoraux des départements montagnards se sont trouvés confrontés au problème de la survivance de l'emploi du feu. Les Pyrénées s'individualisent comme une des régions en France et en Europe où la pratique traditionnelle du feu est encore aujourd'hui la plus active. Devant les difficultés posées par l'enrichissement, et la nécessité de maîtriser le feu aussi bien pour l'entretien que pour la réouverture des espaces pastoraux, la réflexion a été engagée au sein des services pastoraux départementaux. Elle a abouti, à partir des années 1990, à la mise en place dans plusieurs départements des *commissions locales d'écobaie* (CLE), qui sont une des spécificités des Pyrénées.

## LES DIFFERENTS MODES D'ORGANISATION ET GESTION DES BRULAGES DANS LES PYRENEES

Gestion	Type de surfaces	Pyrénées - Atlantiques - 64	Hautes - Pyrénées - 65	Haute - Garonne - 31	Ariège - 09	Aude - 11	Pyrénées - Orientales - 66
Collective	Estives (ha) (source : enquête pasto de 1999)	150 000	137 000	29 000	122 000	25 000	110 000
Privée	Zones intermédiaires : granges forraïnes et parcours de demi saison (ha) <i>correspond à la SMH peu productive des exploitations pastorales en 2000 sur la Zone massif.</i>	23 000	5 000	2000	28 000	17 000	25 000
Ensemble des surfaces pastorales (ha)		173 000	142 000	31 000	150 000	42 000	135 000
Nombre d'exploitations pastorales en montagne		2230	1400	300	900	260	320
Nombre d'unités de bétail (UGB)		155 000	45 000	10 000	40 000	12 000	17 000
Superficies brûlées annuellement (ha)		8-15 000 2016-17: ± 30 000	5-10 000	500-1000	700-2000 2016-17: ± 6 000	200	400-1400

Figure 1 : Synthèse des espaces concernés par les écobuages dans les Pyrénées (source : Bordelet, 2013 ; modifié par Jean-Paul Métaillé)

Le tableau ci-dessus permet de visualiser les contrastes entre les divers départements de la chaîne, au niveau des espaces concernés et des surfaces brûlées en moyenne. L'Ariège, malgré de grandes surfaces pastorales, se situe, en moyenne, dans un nombre de brûlages inférieur à ceux des départements des Hautes-Pyrénées et des Pyrénées-Atlantiques.

### LA MAITRISE DES BRULAGES PASTORAUX EN ARIEGE

A la lumière des expériences, comme dans le reste des Pyrénées centrales et occidentales, la prise de conscience de la nécessité d'une maîtrise des écobuages a émergé dans le département à la fin des années 1980. Les discussions commencèrent en 1988, aboutissant à la mise en place d'une commission de concertation à l'échelle départementale incluant les divers acteurs<sup>1</sup>. Un programme de travail fut mis au point, qui comprenait à la fois une simplification de la réglementation<sup>2</sup>, une opération d'information et des opérations expérimentales pour tester le brûlage dirigé sur le terrain avec les différents partenaires locaux. Ce travail d'animation et de diffusion de l'information a duré de 1989 à 1993 et s'est appuyé préférentiellement sur les groupes d'éleveurs organisés - Associations Foncières Pastorales (AFP) et Groupements Pastoraux (GP), capables de se mobiliser pour des opérations collectives et naturellement les plus réceptifs aux conseils techniques.

Il fut constaté que la maîtrise des feux, souvent difficile, rendait nécessaire la mise en place d'une cellule technique pouvant appuyer les éleveurs ou s'y substituer. La première *cellule de brûlage dirigé* de l'Ariège fut donc créée par la Fédération pastorale en 1995, mise en route grâce au Fonds de Gestion de l'Espace Rural et s'insérant dans le plan départemental de Défense des forêts contre les incendies (DFCI). La cellule était composée de 5 personnels encadrés par un formateur du réseau « Brûlage Dirigé », auxquels pouvaient s'adjoindre pour la préparation et la réalisation des chantiers les éleveurs ou personnels des AFP, GP ou de l'ONF. Une dizaine de brûlages furent réalisés chaque année, d'une superficie totale de 200 ha (Fédération pastorale de l'Ariège 1996, 1997). Le financement du dispositif ne put être pérennisé, et au bout de ces deux années de fonctionnement la cellule dut cesser son activité. L'arrêté préfectoral est à nouveau modifié en 1996. On passe à un double régime : le régime général maintient le dispositif de la déclaration, mais dans des conditions de réalisation plus restrictives, notamment par rapport à l'heure d'extinction, qui est fixée à 15 heures ; à ce régime général est associé un régime particulier, qui permet de déroger à pratiquement toutes les règles, à condition de se faire agréer, ce qu'aucun éleveur ou groupement d'éleveurs n'a tenté de faire. Ce changement est donc perçu comme un durcissement par la profession agricole.

<sup>1</sup> Fédération pastorale, élus, Direction départementale de l'agriculture et de la forêt (aujourd'hui Direction départementale des territoires, DDT), ONF, SDIS, recherche, chasseurs, etc...

<sup>2</sup> Un nouvel arrêté préfectoral fut promulgué en 1990, instituant un régime de simple déclaration des brûlages

Le projet de cellule de brûlage dirigé fut repris en 1999 par le SDIS. Les demandes sont déposées par tous les propriétaires ou gestionnaires de l'espace en général : maires, éleveurs, ONF, Fédération pastorale. Les brûlages sont donc réalisés sous la responsabilité des pompiers, le SDIS assumant seul le fonctionnement de la cellule, avec des moyens limités. Les surfaces brûlées annuellement oscillent entre 30 et 200 ha, pour une moyenne de 130 ha. En 2009, le nouvel arrêté préfectoral officialise la création d'une cellule de brûlage dirigé, composée du SDIS, le l'ONF, du Centre régional de la propriété forestière (CRPF), de la Chambre d'agriculture, de la Fédération pastorale et de la DDT. Elle a pour mission l'instruction des demandes d'autorisation de brûlage, la planification des brûlages dirigés, la réalisation des chantiers pour lesquels elle est sollicitée et leur évaluation. L'arrêté institue un double fonctionnement : pour les chantiers inférieurs à 15 ha, le simple régime de déclaration est conservé ; une fois la demande déposée, 11 jours avant le feu au minimum, elle est valide pour une période de trois mois. Pour les gros chantiers, supérieurs à 15 ha, c'est par contre un régime d'autorisation dont la procédure est lourde, car elle implique une évaluation par la cellule « brûlage dirigé », un arrêté préfectoral spécifique, et la présence d'un responsable « breveté Brûlage dirigé ». Ce qui revient à un durcissement de la réglementation par l'interdiction de fait de brûlage de plus de 15 ha par les éleveurs, et un monopole du SDIS sur les chantiers importants.

A la suite de la sécheresse de l'hiver 2015-16, qui entraîna de nombreux feux incontrôlés, la DDT, la Chambre d'agriculture de l'Ariège et le SDIS mirent en œuvre des actions d'information et de formation à destination des éleveurs et des acteurs locaux. Une plaquette d'information a en particulier été éditée. A l'automne 2016, un premier projet de commission locale fut proposé dans la commune de Rabat-les-Trois-Seigneurs, sur le modèle mis au point dans les Hautes-Pyrénées. Mais le projet n'a pas avancé et les feux incontrôlés de l'hiver 2016-17 ont considérablement tendu la situation dans le département.

### 1.3. Les risques actuels et les nouveaux projets de réglementation en Ariège

Denis Clément, technicien de l'ONF et animateur de la cellule départementale de brûlage dirigé de l'Ariège, et Patrick Antoniutti, capitaine des sapeurs-pompiers, chef du centre de secours de Tarascon, spécialiste des feux de forêt et des brûlages dirigés en Ariège, constatent que les incendies de forêts incontrôlés se multiplient ces dernières années.

#### DES RISQUES QUI AUGMENTENT

Aujourd'hui, les feux peuvent en effet dégénérer très rapidement, car le mode de gardiennage en estive a changé, et les bergers moins présents pratiquent peu de petits brûlages pastoraux ciblés et réguliers. La pratique collective de gestion des feux et la construction de pare feux disparaît, dans un contexte de fort enrichissement lié à la déprise agricole. Les méthodes employées sont plus expéditives comme le montre le dessin ci-dessous.

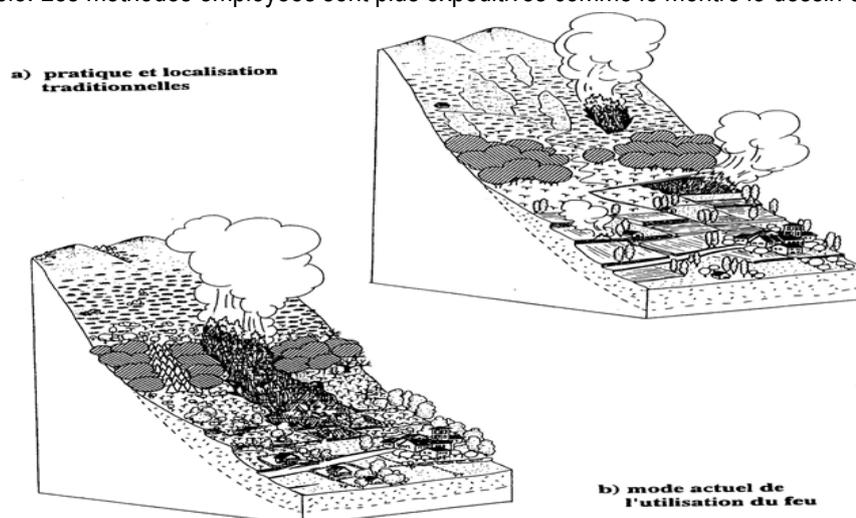


Figure 2 : Evolution des méthodes de brûlage (source : Jean-Paul Métaillé, inédit)

#### LES EFFETS ATTRIBUES AU CHANGEMENT CLIMATIQUE :

Par ailleurs les brûlages peuvent se transformer plus rapidement en incendies, en raison d'épisodes de sécheresse plus fréquents, du renforcement des vents de sud-ouest et de la destruction des buis par la pyrale ces dernières années. Les praticiens du réseau de brûlage dirigé sont unanimes à constater une instabilité croissante des conditions météorologiques qui accroît les difficultés et les risques. Tous facteurs confondus, les feux deviennent rapidement incontrôlables. Avec les conditions météorologiques d'aujourd'hui les départs de feux deviennent de plus en plus dramatiques. Entre 1994 et 2003 il a fallu ajouter des citernes pour contrôler les feux et le SDIS est de plus en plus sollicité.

Par exemple, en 2000, dans les Pyrénées-Atlantiques, 5 randonneurs sont morts asphyxiés ou brûlés par un feu non contrôlé. En janvier 2017 à Suc-et-Sentenac en Ariège, un incendie de 200 ha a mobilisé plus de 35 sapeurs-pompiers pendant 3 jours. En mars 2019, sur la commune de Bédeilhac-et-Aynat, 70 personnes et 4 canadiens sont mobilisés pour arrêter un feu qui ravage 100 hectares. Ce genre d'intervention d'urgence coûte bien plus cher au SDIS que les actions de prévention par brûlage dirigé. Si des brûlages sont programmés au printemps, les conséquences peuvent être dramatiques, et enfin, les vents chauds peuvent aussi aggraver la pollution atmosphérique.

Pour le SDIS, donc, non seulement la surveillance et la réglementation des brûlages pastoraux doivent nécessairement s'accroître, mais aussi la construction de pare feux contrôlés doit être mise en œuvre, comme dans les territoires méditerranéens.

#### LE NOUVEAU PROJET DE REGLEMENTATION EN ARIEGE :

La DDT de l'Ariège réfléchit actuellement à un nouvel arrêté préfectoral sur "l'emploi du feu à l'intérieur et jusqu'à 200 mètres d'espaces naturels combustibles dans le cadre de la prévention des incendies de forêt".

Le projet d'arrêté commence par une partie qui reprend largement ce qui existait déjà dans le précédent arrêté préfectoral, de façon plus organisée. Le projet annule les articles qui différenciaient « petits chantiers » (moins de 15ha) et « gros chantiers » (plus de 15ha), ce qui complexifiait les procédures dans ce dernier cas. La période d'application (art. 5), avec interdiction du 1er juin au 30 septembre diffère de 2009 (qui était du 1<sup>er</sup> juillet au 15 septembre). Par ailleurs, une période de dérogation est prévue du 1<sup>er</sup> au 30 juin, en estive, pour les territoires avec CLE. Les articles 8 et 9 précisent la procédure dans le cadre de CLE (déclaration 15 jours au moins avant le brûlage) et évoquent le fonctionnement de la cellule départementale de brûlage dirigé. Pour autoriser les incinérations de végétaux sur pied ou coupés, ce projet d'arrêté prévoit la rédaction d'un formulaire déclaratif d'incinération de végétaux complété par l'utilisateur, qui devra être instruit par le maire de la commune. Celui-ci, en l'absence de commission locale d'écobuage, devrait être invité à statuer sur cette autorisation en l'absence « d'enjeux avérés », ou à demander une réunion de la cellule départementale des brûlages en cas « d'enjeux avérés ». L'article 10, intitulé « mesures préventives » précise la procédure à suivre entre le dépôt initial du dossier en mairie et la réalisation du brûlage : information des pompiers, gendarmes, etc., surveillance de la mise en place des moyens nécessaires, et du respect des horaires de réalisation. L'alinéa 5 de cet article 10, qui détaille les conditions aérologiques, est surprenant : brûler jusqu'à 40 km/h de vitesse du vent devrait être réservé aux praticiens chevronnés, nombreux et équipés... A cette vitesse de vent, si on n'a pas préparé des pare feux importants et du personnel pour éviter les sautes, le feu ne pourra pas être arrêté.

Une nouveauté apparaît avec l'article 11, relatif à la pollution de l'air ; le maître d'ouvrage doit consulter les informations du réseau ATMO et reporter le brûlage s'il y a un épisode de pollution aux particules ; mais à ce jour, il n'y a de station de mesure qu'à Pamiers, rien en haute Ariège ou en Couserans.

La difficulté principale réside dans la qualification des "enjeux avérés" évoqués dans l'annexe 2 : enjeux de sécurité (proximité de sentiers de randonnée, présence d'habitation, infrastructures dont routes...) ; agricoles (bâtiment, cultures et/ou élevage ...) ; risques (érosion, chutes de pierre...) ; forestiers (forêt de protection, forêt de production, Espace Boisé Classé...) ; environnementaux (captages d'eau, Natura 2000, espèces protégées...) ; enjeux de surface (au-delà de 150ha). Du fait de l'absence de véritables CLE en fonctionnement en Ariège, cela

signifie que la DDT et la Cellule départementale se chargeront d'autoriser ou non les brûlages sur tout le département. L'instruction concrète des projets sur le terrain et l'animation locale nécessitera cependant des moyens humains conséquents.

La DDT envisage enfin de proposer des actions de formation aux maires et de distribuer des outils d'aide à la décision permettant aux maires de mieux cerner les enjeux en question. L'arrêté semble donc vouloir favoriser le fonctionnement de CLE, mais elles n'existent pas encore en Ariège. Un investissement important dans l'animation des premières CLE semble alors prioritaire.

Finalement, le groupe de travail formule les remarques suivantes :

- Le projet d'arrêté se veut plus simple et applicable mais il souffre toujours d'une rédaction complexe, liée à la structuration juridico-administrative en titres, articles et sous articles. Il faudrait proposer un résumé ou un schéma de synthèse. Le formulaire en annexe 2 est par contre clair.
- Ce projet fait porter aux maires des communes une assez lourde responsabilité. L'existence de véritables CLE à l'échelle communale, accompagnées par les services de l'état, permettrait de partager cette responsabilité entre différents acteurs, comme c'est le cas dans les Hautes-Pyrénées, la Haute-Garonne et les Pyrénées-Atlantiques. Il serait souhaitable d'investir massivement dans ce sens.
- Enfin, le groupe de travail signale que la cellule départementale des brûlages ne comprend pas de spécialiste de la biodiversité, qui pourrait être représenté par un membre de l'AFB, ni de représentant du PNR, et qu'il serait peut-être intéressant d'intégrer l'un et l'autre à cette cellule.

## **PARTIE 2 : LES IMPACTS DES BRULAGES PASTORAUX SUR LES SOLS, LA BIODIVERSITE, LES PAYSAGES ET LA VALEUR PASTORALE**

### **2.1. Les effets de l'intensité et de la sévérité des brûlages sur les sols**

La littérature sur les effets du feu sur les sols est considérable à l'échelle mondiale, mais concerne pour l'essentiel les incendies de forêt (*wildfires*)<sup>1</sup>, voire les défrichements de forêt par le feu. Les effets lors des brûlages dirigés (*prescribed fires*) sont beaucoup moins étudiés, et une grande partie concerne d'ailleurs les feux de débroussaillage sous forêt à vocation de défense contre les incendies. Les brûlages dans des milieux pastoraux, réalisés en hiver, et leurs effets sur les sols, ont été beaucoup moins étudiés (sauf en Grande-Bretagne) et peu de travaux concernent les milieux pyrénéens, en particulier sur le versant nord où l'on peut dire que tout reste à faire. On est donc conduit à se baser sur les travaux portant sur des milieux analogues à ceux des Pyrénées françaises.

#### LES QUESTIONS DE L'INTENSITE ET DE LA SEVERITE DES BRULAGES

##### La variabilité des températures de feux

Les températures atteintes lors de feux sont extrêmement variables et dépendent :

- de la quantité et de la physionomie de la biomasse,
- du mode de propagation du feu et de sa vitesse,
- de la température
- et de l'hygrométrie du sol.

Dans des feux rapides, sur sols frais, avec végétation élevée, les effets sont faibles, voire nuls en dessous de 2-3 cm de profondeur. Si la litière est humide, elle peut même être préservée. Alors que dans les feux lents, à la recule, sur sols secs, avec une végétation dense et basse, les températures sont élevées dans les horizons superficiels du sol et il peut y avoir des impacts importants à ce niveau.

---

<sup>1</sup> Les incendies de forêts se produisent en général en saison sèche estivale, et non en hiver comme les brûlages pastoraux en Europe

Dans le cadre des brûlages pyrénéens, il s'agit en général de feux hivernaux, touchant des sols froids et humides, qui ont de ce fait une bonne fonction d'isolation thermique. Il est difficile de comparer avec des études faites après brûlages ou incendies en périodes de sécheresse estivale.

### Les modifications des milieux par le feu

Les températures atteintes pendant la combustion de la biomasse sont habituellement utilisées pour en qualifier les effets : la figure suivante en présente une synthèse.

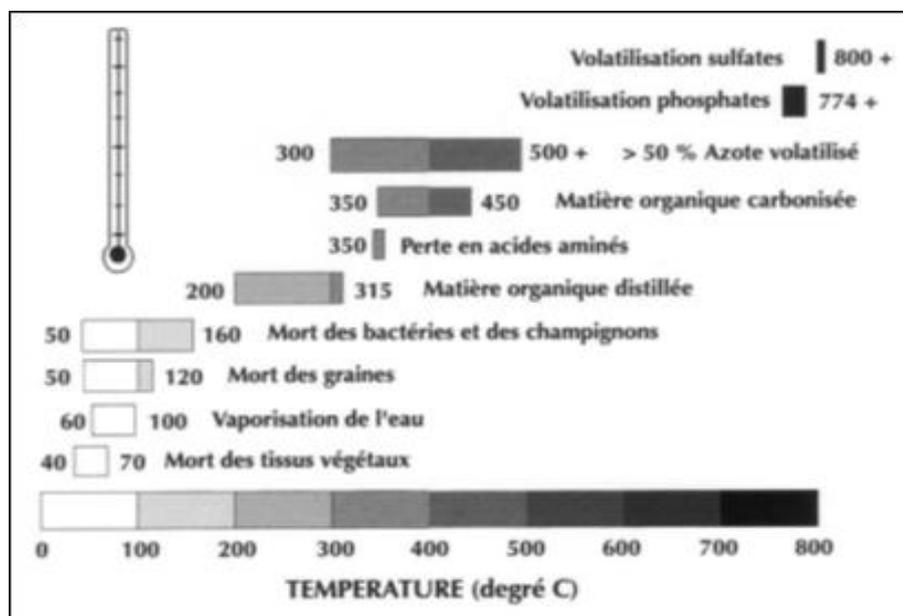


Figure 3 : Effets du brûlage dirigé sur le sol (source: Rigolot 1998)

- à basse température (en dessous de 200°C) les propriétés biologiques sont affectées : par exemple la réduction de la biomasse microbienne et la destruction de la banque de semences et des racines fines, bien que les propriétés physiques telles que la résistance à l'eau du sol et la stabilité des agrégats puissent également être altérées.

- à des températures plus élevées (au-dessus de 200°C), les propriétés chimiques sont affectées par la combustion de la matière organique du sol et la production de composés organiques pyrogènes ; le pH du sol augmente et les propriétés physiques changent également, avec des altérations de la résistance à l'eau et de la stabilité des agrégats.

- la transformation des minéraux du sol peut se produire lorsque des températures supérieures à 350°C sont atteintes, ce qui donne un sol plus friable et érodable.

- cependant les sols sont de mauvais conducteurs de chaleur et par conséquent, même un feu très intense consommant la plus grande partie du combustible disponible au sol et en surface peut n'entraîner qu'une pénétration limitée de la chaleur dans le sol, comme on le verra plus loin.

Au-delà de ces seuils théoriques, les effets concrets restent dépendants de facteurs très variables qui sont :

- *l'état de la biomasse combustible* : type et physionomie de la végétation (hauteur), quantité de biomasse et teneur en eau, quantité de nécromasse et taux d'humidité ; la compacité du combustible est également à noter, car les biomasses denses brûlent moins bien, la circulation de l'oxygène se faisant moins bien que dans celles qui sont plus aérées ;

- *les caractéristiques du sol* : par exemple, la teneur en matière organique, la composition minérale et les propriétés thermiques ;

- *la topographie et la morphologie du site* : pente, exposition, microtopographie ;

- *les conditions météorologiques* dans les jours précédents le brûlage et le jour même: hygrométrie de l'air et du sol, température de l'air et du sol ; vitesse du vent ; microclimat du couvert végétal ;
- *les modes de conduite du feu* : feu avec la pente et /ou le vent, feu à contre vent et/ou à contre pente (à la recule) ; vitesse de propagation du feu ;

### La variabilité des feux

Le comportement du feu n'est nullement homogène dans l'espace et dans le temps, et dépend de l'ensemble des facteurs décrits plus hauts. On différencie alors ***l'intensité***<sup>1</sup> des brûlages (les températures atteintes) et leur ***sévérité***<sup>2</sup> (la durée de maintien des températures, les effets effectivement constatés et identifiés avec des indicateurs). Un brûlage n'a pas des conséquences dans l'absolu, mais il a des effets déterminés par les caractéristiques du milieu brûlé et par les conditions de brûlage et le comportement du feu au moment donné. Ces données permettent de choisir une conduite du feu en fonction des objectifs à atteindre.

Par exemple, dans les Pyrénées-Orientales, 70% des brûlages sont réalisés avec le vent et la pente, pour avoir des feux rapides et un faible impact des températures sur le sol (Métailié et al 2016). De nombreux guides ont été élaborés par les professionnels du brûlage dirigé et les chercheurs, de par le monde et en Europe notamment dans le cadre du programme Fire Paradox (Fernandes et Botelho 2003) (DEFRA 2007) (Alexander et Thomas 2006) (Bruce et Servant 2004) (Fernandes et al 2010) (Montiel-Molina et Kraus 2013) (Martinez Ruiz 2001) (Fernandes et al. 2002)

Par ailleurs, il faut insister sur la nécessité de replacer les brûlages actuels dans l'histoire du régime de feux dans les lieux étudiés, qui sont des socio-écosystèmes. Il faut faire la distinction entre les changements à court terme qui surviennent après un seul incendie et les effets à long terme qui découlent d'un régime particulier de feux et sont déterminés par l'intensité, la fréquence et la saison de l'incendie. La plupart des études ont pris en compte le premier cas, généralement en échantillonnant et en analysant les sols à différentes périodes après un incendie. De telles méthodes ne donnent qu'une mesure statique de l'état du sol (Raison 1979). Or, en ce qui concerne en particulier les effets du feu sur les sols des landes à genêt à balais et fougère sur anciennes cultures, il est fondamental de connaître la trajectoire historique de ces sols.

### LES TEMPERATURES ATTEINTES LORS DES BRULAGES PASTORAUX

Les températures atteintes et les effets des brûlages sur les sols des landes ont été étudiés surtout dans les landes à Callune en Grande-Bretagne depuis les années 1960 (Gimingham 1972) (Tucker 2003) dans les landes, garrigues et maquis méditerranéens (depuis les années 1970, Trabaud, 1979 à 1998), et plus récemment dans les monts Cantabriques et les Pyrénées espagnoles, dans des milieux variés (landes à genêts, à ajoncs, à éricacées diverses et de grande taille, à cistes...). Cependant, des observations multiples sur les températures (laques thermosensibles) ont été menées dans les années 1990 ; par contre il n'a pas eu d'études systématiques de sols ni de mesures de températures en continu lors de feux dirigés.

*Les températures post-feu* sont également à prendre en compte : les températures diurnes sont souvent élevées après la combustion de la végétation et de la litière, et le noircissement de la surface du sol a un effet important ; des hausses ont été relevées allant jusqu'à 10° à 7,6 cm de profondeur et des températures de sol plus élevées ont été détectées jusqu'à des profondeurs de 18 cm. L'élévation de température est généralement plus forte immédiatement après le brûlage et diminue à mesure que le couvert végétal se développe. Les températures plus élevées du sol peuvent contribuer à l'augmentation de la productivité des plantes souvent observée après un incendie. L'effet peut être direct ou résulter d'une activité microbienne accrue et de la minéralisation de la matière organique du sol.

<sup>1</sup> L'intensité peut se définir comme étant le processus physique de combustion qui produit la libération d'énergie à partir de la matière organique, et donc la température maximale enregistrée sur un certain point et le temps que la température se maintienne sur ce point. Elle peut être quantifiée en kW.

<sup>2</sup> La sévérité décrit la réaction des écosystèmes : effets du feu sur le sol, la flore et la faune, l'hydrosystème, l'atmosphère et la société. Ces concepts font l'objet de débats et de diverses définitions (Bento, Gonçalves et al 2012) (Keeley 2009).

## LES DONNEES SUR LE FEU ET LES SOLS EN EUROPE ET DANS LES PYRENEES

Au niveau de la fertilité des sols, un corpus considérable de connaissances, fruit de nombreuses études, fournit une base conceptuelle de bonne qualité pour prédire les effets du feu. Cependant, ces effets du feu varient en fonction de chaque situation écologique et aboutissent souvent à des résultats divergents, voire contradictoires entre les diverses publications. D'excellents travaux ont examiné l'influence du feu sur diverses composantes du cycle des éléments nutritifs, mais l'importance des effets isolés sur le bilan nutritif d'écosystèmes entiers, où il existe de nombreux processus écologiques de régulation et de compensation, est encore mal identifiée. Les meilleures mesures des effets du feu sur les bilans nutritifs sont probablement disponibles pour les landes à bruyère.

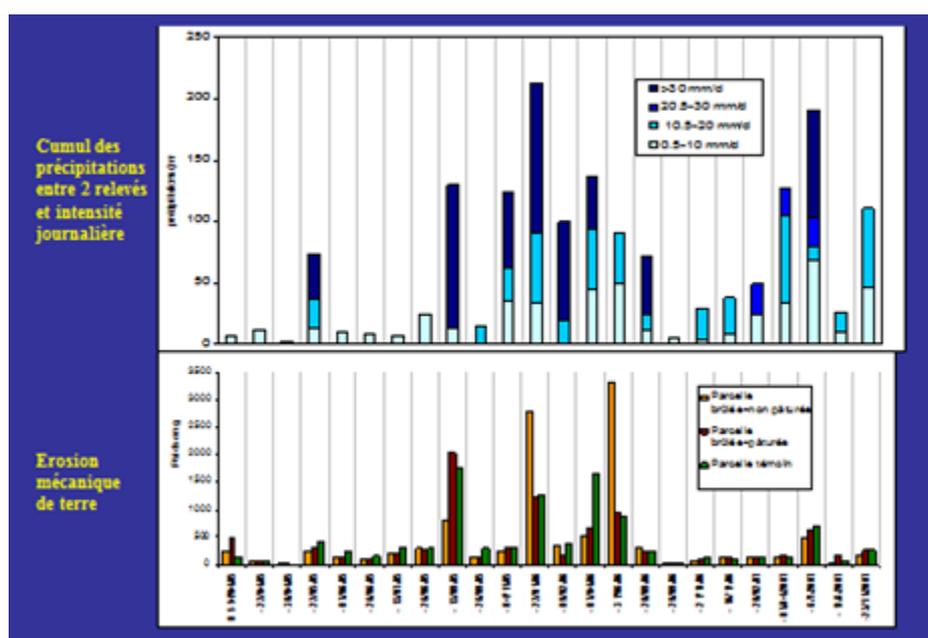
Dans Les Pyrénées françaises, très peu de travaux ont été développés sur les sols (Burnel et al 1995) (Faerber 2008). On est donc dans l'obligation de se baser sur les recherches menées lors de brûlages dirigés qui permettent de disposer d'analogues en Espagne atlantique sur les landes à éricacées et ajoncs, et bien sûr en Grande-Bretagne sur les landes à callune.

Globalement, les travaux réalisés attestent que la plupart des effets du feu se manifestent dans la couche superficielle et les modifications subséquentes des horizons inférieurs du sol dépendent de facteurs comme le lessivage et la perturbation du sol. Le temps et les conditions climatiques sont donc importants pour influencer les changements mesurés après le brûlage. Plusieurs publications montrent que le retour des propriétés chimiques du sol aux conditions d'avant l'incendie est initialement rapide et généralement complet en un an, en particulier dans le cas des brûlages d'hiver, à moins que le feu ne soit intense.

Les effets limités du brûlage dirigé sur les sols et l'eau sont attribués à deux facteurs clés : le chauffage limité du sol et l'effet protecteur de la couverture superficielle restante (DeLuis et al. 2003) (Vega et al. 2005) (Fernandez et al. 2013) (Stoof et al. 2012). L'augmentation des températures semble influencer directement sur l'érosion du sol, ce qui souligne l'importance de contrôler le chauffage du sol pendant les brûlages dirigés. La perte de végétation protectrice et de litière, combinée à une perte de la structure du sol, fait en sorte que le ruissellement de surface et l'érosion se trouvent renforcés. Après l'incendie, la litière devrait idéalement couvrir 70 à 80 % de la surface du sol pour minimiser l'érosion (Vega et al. 2005) (Fernandez et al. 2013) ce qui suggère que des compromis sont nécessaires pour gérer ces risques, compromis qui sont souvent difficiles à réaliser dans la réalité concrète d'un feu. De plus, il ne faut pas oublier que l'érosion du sol est un processus naturel qui agit à la surface du sol indépendamment du feu et les relevés sur les parcelles-témoins non brûlées peuvent montrer des taux d'érosion importants lors des épisodes pluvieux, voire plus importants que les parcelles brûlées (Faerber 2008).

Dans les Pyrénées ariégeoises, la seule étude réalisée sur les sols dans le cadre d'un brûlage pastoral est celle de Ribereix (1992) en vallée d'Ascou. Le brûlage, alors intégré dans le programme de suivi de la création de la cellule de brûlage de l'Ariège, a été effectué sur des terrasses de cultures enfrichées (soula de Montmija), dont on sait que la création s'est étalée pendant le XVIIe siècle. Ces terrasses, utilisées en prairies de fauche et pacages depuis le début du XXe siècle, ont été abandonnées entre 1946 et 1948, et laissées en pâturages extensifs qui n'ont brûlé qu'une seule fois en 1962. La végétation était une lande à *Cytisus scoparius* et *Pteridium aquilinum* en mosaïques de densité variable, parfois très denses et mélangées de ronces. Le brûlage fut réalisé le 4 mars 1992, en feu montant. Les températures, mesurées au thermocouple sur la parcelle expérimentale dominée par la fougère ont donné des températures de 400 à 540° dans la couche de fougère, 80 à 100 ° à la surface du sol, sous peu de litière, et 35 à 40° sous la litière humide. Mais l'expérimentation ne fut pas concluante, le feu ne se développant pas suffisamment en raison d'une trop grande humidité de la végétation et de l'air. Dans la parcelle dominée par le genêt, les arbustes ont été échauffés et tués mais très partiellement brûlés. Les résultats des analyses ont montré, dans les semaines qui ont suivi, une élévation modérée du PH et un enrichissement de la matière organique jusqu'à 5-7 cm. Ce travail préliminaire n'a malheureusement pas eu de suite.

Une étude de suivi de l'érosion post-feu dirigé a été installée en 2005 par J. Faerber dans une lande à callune dans le massif granitique du Doumidou (Sournia, Pyrénées-Orientales). Situées à une altitude de 1 100 m, les parcelles sont modérément inclinées (12° à Sournia 1, 14° à Sournia 2) et recouvertes par des sols très superficiels d'une épaisseur moyenne de 35 cm. Le site de Sournia 1 a été incendié en avril 2005, celui de Sournia 2 en avril 2006 par des brûlages de faible intensité. L'incinération était complète, à l'exception de quelques secteurs non végétalisés ou recouverts seulement d'une végétation herbacée discontinue ; une partie de la litière et l'humus ont été préservés. L'érosion du sol a été étudiée d'avril 2005 à novembre 2007 à Sournia 1 et d'avril 2006 à novembre 2007 à Sournia 2, soit 32 et 20 mois d'expérimentation. Les conditions atmosphériques ont été « normales » pendant la première année de l'expérimentation (2005-début 2006), mais la pluviométrie était largement déficitaire en 2006 et 2007. Dans l'ensemble, le brûlage n'a pas conduit à une augmentation de l'érosion, malgré la destruction de la couverture végétale qui a dû diminuer la protection du sol contre les forces mécaniques des gouttes de pluie et du ruissellement (cf. figure ci-dessous). Plusieurs hypothèses peuvent être évoquées pour expliquer ce fait : la faible puissance du feu a certainement permis le maintien de la fraction organique du sol et d'une partie de la litière. Par ailleurs, la régénération rapide de la végétation a rapidement stabilisé le sol. En effet, cinq mois seulement après le brûlage, le taux de recouvrement végétal s'est élevé à plus de 40 % ; 16 mois après le brûlage, les valeurs se situées à 55 % environ, et 28 mois à plus de 70 % (Sournia 1 seulement). Sur les parcelles témoins, le recouvrement végétal est resté à peu près stable pendant toute la période d'observation, avec environ 90 %. Le « pavage » du sol par des graviers a dû constituer une protection supplémentaire. Sur les parcelles expérimentales, les graviers recouvrent en moyenne 20 à 30 % de la surface du sol.



températures. Cela implique évidemment une préparation préalable pour circonscrire strictement la parcelle à brûler<sup>1</sup>. Il faut éviter les feux lents dans de fortes accumulations de biomasse, sur des sols desséchés.

## 2.2. Les effets des brûlages sur la biodiversité - peuplements végétaux et animaux, flore et faune

Ont été recensés les impacts des brûlages sur les milieux représentés dans l'emprise géographique du PNR des Pyrénées Ariégeoises, ou au moins sur le territoire départemental.

Les neuf biotopes suivants ont alors été retenus, énumérés selon une échelle approximative de résilience croissante : les appellations courantes de ces biotopes sont suivies de leur code Corine biotope et de leur appellation officielle.

- a. Landes collinéennes / subalpines à Genévrier et / ou Raisin d'ours (Habitat d'intérêt communautaire) [31.43, 31.47 et 31.88. Landes xérophiles, bien exposées]
- b. Landes montagnardes / subalpines à Callune. (Habitat d'intérêt communautaire). [31.2. Landes acidiphiles, sèches et mésophiles]
- c. Landes subalpines à Myrtille et Framboise. (Habitat d'intérêt communautaire) [31.42. Landes hyperacidiphiles, hygrosclaphiles, subalpines]
- d. Lande à montagnardes / subalpines à Genêt poilu. (Habitat d'intérêt communautaire) [31.2. Landes acidiphiles, sèches et mésophiles]
- e. Garrides subméditerranéennes à Lavande et Genêt scorpion. [32.6. Garrigues supraméditerranéennes calcicoles]
- f. Landes (montagnardes à) subalpines à Genêt purgatif. (Habitat d'intérêt communautaire). [31.84. Landes à grandes Fabacées des sols profonds et plus ou moins acides]
- g. Landes montagnardes pures à Genêt à balai. [31.84. Landes à grandes Fabacées des sols profonds et plus ou moins acides]
- h. Landes montagnardes mixtes à Genêt à balai et à Fougère Aigle. [31.84. Landes à grandes Fabacées des sols profonds et plus ou moins acides]
- i. Landes montagnardes pures à Fougère Aigle. [31.86. Formations à *Pteridium*]

Sont traités séparément l'impact sur la végétation (communautés végétales, considérées avec leurs espèces constitutives) et sur la flore (espèces végétales considérées pour elles-mêmes), et séparément aussi l'impact sur les peuplements animaux (communautés animales) et sur la faune (espèces animales). Car, par exemple, l'ouverture durable d'une lande dense par un moyen approprié déterminera une nouvelle biocénose<sup>2</sup> plus poreuse et plus lumineuse, donc très différente de la biocénose précédente. Si les espèces constitutives y sont plus nombreuses, cela ne signifiera pas pour autant qu'elle sera plus intéressante pour le naturaliste : la plupart des espèces étant nouvelles, car davantage exigeantes en lumière, ce ne sera pas une biocénose enrichie mais une biocénose différente.

Dans les rubriques flore et faune, ce sont les impacts sur les espèces ayant une valeur patrimoniale<sup>3</sup> qui ont été ciblées. Dans le cas des espèces de faune, en dehors des oiseaux et de quelques espèces de mammifères qui fuient devant le feu, la plupart des animaux restent passifs, notamment les invertébrés. La vitesse de reconstitution des populations animales dépend alors de leurs capacités de reproduction et de la vitesse de reconstitution des milieux ; ainsi, en bioclimat méditerranéen (non présent en Ariège), les populations de tortues

<sup>1</sup> Cette préparation peut s'appuyer sur la neige ou d'autres zones incombustibles

<sup>2</sup> La biocénose : ensemble d'espèces coexistant dans un espace écologique donné. Dans le cas du complexe landes / prairies nous croyons qu'il faut envisager trois types fondamentaux de biocénose : 1) la biocénose de la lande fermée, 2) la biocénose de la prairie pure, 3) la biocénose de la prairie landicole. Il ne faut pas confondre cette dernière avec la mosaïque landes / prairies : elle s'en distingue par la présence d'espèces qui n'existent ni dans la lande dense, ni dans la prairie pure, par exemple le criquet des ajoncs (*Gomphocerippus armoricanus*) dans les fourrés littoraux de Saintonge, le criquet steppique (*Xerhippus rhesbanensis*) dans la steppe à Armoise du Moyen Atlas, la perdrix grise (*Perdix perdix hispaniensis*) dans les landes ouvertes à Genêt purgatif des Pyrénées, etc.. Et il ne faudrait pas se laisser abuser par une richesse spécifique apparemment élevée chez telle mosaïque landes / prairies, comparée à une richesse spécifique apparemment moindre de la lande originelle ; dans le premier cas (richesse élevée de la mosaïque landes / prairies) on n'aura fait qu'ajouter des cortèges indépendants, liés à des milieux différents.

<sup>3</sup> Espèces rares, vulnérables, relictuelles, en limite d'aire, endémiques

sont très fortement affectées (leur taux de reproduction est faible), alors qu'à l'inverse, des espèces de petits rongeurs peuvent pulluler après le feu. Mais dans certains cas il n'y a pas d'explication évidente aux observations, par exemple le fait que les roitelets soient durablement impactés par le passage du feu, et pas les pinsons (Prodon et Cheylan 2005).

Finalement, pour chacun des biotopes ont été renseignées les sept rubriques suivantes :

1. Impacts sur la végétation,
2. Impacts sur les peuplements animaux,
3. Impacts sur la flore patrimoniale,
4. Impacts sur la faune patrimoniale,
5. Impacts sur la valeur pastorale,
6. Impacts sur les paysages.

Enfin, dans la limite de la documentation étudiée, des éléments de comparaison entre les impacts des défrichements par le feu à ceux des défrichements mécaniques (landes subalpines à Genévrier nain, et landes subalpines à Myrtille et Framboise) ont été apportés à cette note de synthèse.

La partie qui suit est une synthèse bibliographique des impacts des brûlages pastoraux sur la biodiversité, la valeur pastorale et les paysages, limitée aux végétations représentées en Ariège ou sur les 2/3 non méditerranéens du territoire pyrénéen.

#### IMPACTS SUR LA VEGETATION

- **Landes subalpines à Genévriers : effets comparés du brûlage et du broyage mécanique**

Dans l'étage subalpin le brûlage et le broyage mécanique semblent aussi efficaces pour éliminer durablement le genévrier : 5 ans après les interventions ils n'ont pas repoussé. Il faut distinguer le brûlage pied par pied, ou par îlots, qui se pratique encore dans les Pyrénées, parfois assez haut en altitude (> 2000m) et le brûlage en plein. Le feu dans une lande dense à genévrier est difficile à maîtriser et donc rarement recherché. En revanche on note parfois des passages de feu sur de fortes pentes à Raisin d'ours et Genévrier (C. Brau-Nogué, com. pers.).

- **Landes montagnardes / subalpines à Callune : effets du brûlage seul**

Le passage du feu dans des callunaias âgées de 20 ans les remplace durablement par une pelouse banale des *Nardetalia* (la capacité de repousse des vieilles callunaias est faible : il faut attendre 16 ans pour que son recouvrement atteigne 72% de la valeur initiale). Cela constitue une perte au plan patrimonial.

- **Landes subalpines à Myrtille et Framboise : effets comparés du brûlage et du broyage mécanique**

L'avantage apparent au brûlage pour faire reculer myrtille et framboise demande à être confirmé : le broyage a été mal réalisé la première année, d'après les auteurs de l'étude (BIBAL et al. 2016).

Deux ans après l'ouverture du milieu le recouvrement des graminoides et celui des phorbes ont augmenté davantage là où le broyage a été utilisé.

La myrtille reconquiert l'espace perdu en cinq ans, en moyenne. Pour s'en débarrasser définitivement il faut recourir au labour ou à l'arrachage.

- **Landes montagnardes / subalpines à Genêt poilu : effets du brûlage seul**

Le passage du feu a des effets contradictoires, le recouvrement du genêt pouvant avoir régressé ou au contraire augmenté cinq ans plus tard.

- **Landes subalpines à Genêt purgatif : effets du brûlage seul**

Le passage du feu réduit beaucoup le volume de la végétation, mais cet effet est peu durable : le phytovolume ré-augmente d'abord de 500 m<sup>3</sup>/ha/an, puis plus lentement jusqu'à atteindre un pallier au bout d'une quinzaine d'années. Au-delà, la lande devient sénile, et se transforme progressivement en pinède à crochets.

À la différence de ce qui est observé avec les feux de forte puissance (comme les incendies sauvages et les brûlages pastoraux d'ouverture), les brûlages de faible puissance (brûlages d'entretien), n'augmentent pas le pourcentage de sol nu, même s'ils sont répétés à intervalles rapprochés.

Si les brûlages sont trop rapprochés, la lande se densifie ou parfois se transforme en lande à fougère aigle.

- **Landes montagnardes à Genêt à balai** : effets du brûlage seul

Le passage du feu transformera une lande à genêt à balai en pelouse si elle possédait initialement une strate herbacée bien développée ; dans le cas contraire (strate herbacée peu développée) la lande se densifiera si le feu passe à intervalles de plus de trois ans, ou se transformera en lande dense à Fougère-Aigle pour des intervalles plus courts.

Il semble qu'une sarothamnaie qui n'a jamais connu le retournement du sol par l'homme ou par les sangliers, ni le passage du feu (lequel lèverait immédiatement la dormance de la banque de graines enfouies), se transforme au bout de 15 à 20 ans (durée de vie des pieds de genêt à balai) en friche mixte à végétation herbacée, ronces et fougères, piquetée de jeunes arbres, mais quasiment dépourvue de sarothamne.

- **Landes montagnardes à Fougère-Aigle** : effets du brûlage seul

La Fougère-Aigle, dont les rhizomes sont profonds, est favorisée par le feu davantage encore plus que les végétations précédentes. Après le passage du feu elle repousse plus précocement et plus densément. Il est très difficile de s'en débarrasser si l'on ne peut recourir au labour.

Le passage du feu a cependant pour mérite de réduire l'épaisseur de la litière morte, et par là de diminuer le risque d'incendie.

#### IMPACTS SUR LES PEUPELEMENTS ANIMAUX

- **Landes subalpines à Genêt poilu** : effets du brûlage seul

Le feu détruit les pontes superficielles de certaines espèces de Criquets, ce qui peut modifier sensiblement la physionomie du peuplement orthoptérique l'année suivante.

- **Garides à Lavande et Genêt scorpion** : effets comparés du brûlage et du broyage mécanique

Concernant les peuplements d'orthoptères des coteaux de Dun, il a été constaté que le « le débroussaillage manuel améliore plus que l'écobuage la plupart des paramètres utilisés » (Defaut 2000)

- **Landes subalpines à Genêt purgatif** : effets du brûlage seul

Les impacts du feu sur le peuplement d'oiseaux ont été étudiés par plusieurs auteurs, mais, selon nous, ils demandent à être précisés en considérant séparément le peuplement de la lande dense, le peuplement de la prairie et, s'il y a lieu, le peuplement de la prairie landicole.

#### IMPACTS SUR LA FLORE PATRIMONIALE

- **Garides à Lavande et Genêt scorpion** : effets comparés du brûlage et du broyage mécanique

Après ouverture du milieu à Dun « on dénombre aujourd'hui un minimum de 27 espèces sur le site » (Métailié et Alet 2002).

#### IMPACTS SUR LA FAUNE PATRIMONIALE

- **Landes collinéenne / subalpines à Genévrier** : effets comparés du brûlage et du broyage mécanique.

Dans l'étage subalpin le brûlage par taches et le broyage mécanique, conçus l'un et l'autre de façon à laisser une couverture ligneuse de 60%, sont favorables à l'installation de la Perdrix grise (espèce à enjeu patrimonial)

- **Garides à Lavande et Genêt scorpion** : effets du brûlage et du broyage mécanique.

Le criquet endémique pyrénéen *Paracaloptenus bolivari* est confiné en Ariège aux garides à Genêt scorpion des coteaux molassiques, où il est très rare (Defaut et Morichon 2015). La destruction de cette végétation lui est donc préjudiciable.

- **Landes subalpines à Genêt purgatif** : effets du brûlage seul

Pour la Perdrix grise des Pyrénées (espèce à enjeu patrimonial) il est recommandé de pratiquer des brûlages d'entretien seulement lorsque le contexte est humide et, au-dessus de 1 800 m, à des intervalles de 10 à 12 ans (Bilal 2016)

#### IMPACTS SUR LES REPTILES

La problématique "brûlage pastoral / reptiles" est assez complexe car, sous climats tempérés, les vertébrés ectothermes ont autant besoin d'ensoleillement pour élever leur température, que d'ombrage pour

abaisser leur température. Ils se tiennent donc alternativement à couvert ou à découvert en fonction de la météorologie et de leurs besoins physiologiques (gestation, digestion, lutte contre une infection...), pour s'assurer une température interne proche de 30°C. En outre, ils subissent des pertes en eau par évapotranspiration et peuvent rechercher le couvert pour cette raison-là, aussi la plupart des espèces présente une authentique phase d'estivation en cas de sécheresse durable. Bien évidemment, le couvert végétal revêt également un rôle protecteur vis-à-vis des prédateurs (aviens, surtout).

Les formations de ligneux bas clairiérés leur sont très favorables, car elles offrent une riche palette de gradients thermiques et hydriques, en plus de la ressource trophique<sup>1</sup>.

En résumé, un pâturage retourné à la forêt leur est très défavorable, mais un pâturage qui ressemble à un green de golf leur est tout aussi hostile, pour donner deux repères cardinaux et caricaturaux.

Entre les deux, on trouve la grande majorité des pâturages pyrénéens, c'est à dire des pâturages présentant des surfaces éparées de ligneux bas et des refuges rocheux variés<sup>2</sup>, les premières étant souvent liées aux seconds. Ces pâturages possèdent de beaux peuplements de reptiles, y compris ceux qui sont périodiquement brûlés. Mais c'est parce que nous sommes dans un contexte "favorisé", avec une bonne dynamique démographique globale et de nombreuses possibilités de re-colonisation, une fois le milieu à peu près reconstitué, depuis les zones non brûlées.

Dans le cas de populations isolées, les feux peuvent avoir des conséquences très négatives car l'habitat met trop de temps à se reconstituer et les animaux survivants<sup>3</sup> ne peuvent pratiquement plus thermoréguler, ni se nourrir, ni se dissimuler efficacement aux yeux des prédateurs. Des auteurs anglais (Jofré, G.M. & Reading et C.J. 2012) soulignent, à propos des feux de landes dirigés à basse altitude certes : « Toute l'information disponible, du Royaume Unis et dans le monde entier, montre que la gestion des habitats de landes par l'usage du feu cause souvent des dommages aux populations de reptiles : la vitesse de renouvellement des habitats suite au brûlage est trop lente pour assurer leur survie. Cela résulte aussi d'un très lent taux de recolonisation, celui du au temps important de restructuration des milieux habités par les reptiles. C'est particulièrement vérifié pour les espèces britanniques de reptiles trouvées sur les landes de plaine. L'utilisation d'un brûlage contrôlé n'est donc pas une méthode appropriée pour la gestion des landes de plaine dans le cas où la conservation des reptiles est une priorité »<sup>4</sup>.

Le point de vue de l'herpétologiste est donc, que si d'autres méthodes d'entretien sont possibles, alors privilégions plutôt ces méthodes, pour éviter des destructions inutiles même si on sait qu'elles seront compensées dans le futur (recolonisation). Se pose en outre un problème d'ordre législatif : il s'agit presque exclusivement d'espèces intégralement protégées par la loi, ce qui pose question.

Dans certains cas précis (notamment pour les rares populations de *Lacerta agilis garzoni* de la haute vallée de l'Ariège, taxon endémique des Pyrénées localisé à l'extrémité orientale de la chaîne et ultra-localisé en 09), l'entretien par le feu est tout simplement à proscrire.

### 2.3. Les effets des brûlages sur la valeur pastorale et les paysages

#### IMPACTS SUR LA VALEUR PASTORALE

- **Landes collinéenne / subalpines à Genévrier** : effets comparés du brûlage et du broyage mécanique

<sup>1</sup> Très variable selon les espèces : la Vipère aspic cible essentiellement les micromammifères, la Coronelle lisse consomme surtout des lézards et les lézards, eux, sont des prédateurs d'invertébrés

<sup>2</sup> Affleurements fissurés, vieilles moraines végétalisées, murets, tas de pierres, éboulis...

<sup>3</sup> La majorité survit, la température dans les refuges souterrains restant à des valeurs très modestes

<sup>4</sup> "All the available information from both the UK, and around the world, shows that the management of heathland habitats, through the use of fire, is often severely damaging to reptile populations as the speed of habitat recovery, following a fire, is too slow to enable their survival. It also results in a very slow rate of re-colonisation due to the time taken for habitats to regain the structure that is required by reptiles. This is particularly true for British reptiles occurring on lowland heathland. The use of controlled burning is, therefore, not an appropriate method for managing lowland heathland where reptile conservation is a primary concern."

Pour ce qui est de l'amélioration de la valeur pastorale il n'y a pas d'avantage net pour une méthode de débroussaillage plutôt que pour une autre, semble-t-il.

- **Vieilles landes subalpines à Callune** : effets du brûlage seul

La transformation des veilles callunaies en pelouses s'accompagne d'un accroissement progressif, mais net, de la valeur pastorale ; celle-ci atteint sa valeur maximale au bout d'une dizaine d'années, puis décroît au fur et à mesure que la callunaie se reconstitue.

- **Jeunes landes subalpines à Callune** : effets du brûlage seul

La valeur pastorale augmente nettement après ouverture par le feu, mais la lande se reconstitue rapidement, sauf s'il y a un pâturage soutenu. (Mais une pression de pâturage trop forte « *peut entraîner une dégradation de la lande : disparition de la callune d'abord, puis dégradation de la couverture herbacée et érosion du sol.* ») (Faerber 2013).

- **Landes subalpines à Genêt purgatif** : effets du brûlage seul

Dans le cadre d'une gestion pastorale, et avec aussi le souci de minimiser le risque d'incendie, des auteurs recommandent de faire le premier brûlage d'entretien 3 ans (voire 5 à 6 ans) après le brûlage d'ouverture. Ensuite on peut « *opter, soit pour des brûlages en plein assez espacés dans le temps en conservant un aléa incendie non nul, mais peu dommageable, soit pour une gestion par le feu très serrée de type jardinage, avec des passages touffe à touffe pratiquement chaque année qui maintiennent au plus bas l'aléa incendie.* » (Rigolot et Lambert 1998).

Un feu de forte puissance fait régresser les graminées à plus fortes valeur pastorales (fléoles et dactyles, qui ont un plateau de tallage superficiel), mais pas un feu de faible puissance.

- **Landes montagnardes à Genêt à balai** : effets du brûlage seul

Le feu ouvre le milieu, le rendant pénétrable par les troupeaux, qui peuvent alors exploiter la strate herbacée, et l'améliorer.

- **Landes montagnardes à Fougère-Aigle** : effets du brûlage seul

Le feu n'augmente pas ou guère la valeur pastorale de la ptéridaie ; il peut favoriser le développement du Brachypode penné, mais c'est une graminée peu consommée par les troupeaux.

#### IMPACTS SUR LES PAYSAGES

- **Landes collinéennes / subalpines à Genévrier** : effets comparés du brûlage et du broyage mécanique.

Dans l'étage subalpin l'impact sur les paysages est en faveur du broyage mécanique : les traces du brûlage sur les genévriers « *persistent dans le temps et laissent une impression de paysage désolé malgré une repousse de la végétation herbacée* ».

- **Landes montagnardes à Genêt à balai** : effets du brûlage seul

Le paysage de carcasses de genêts noircies par le feu se maintient souvent quelques années.

Implicitement ou explicitement nombre d'auteurs recommandent la pratique du brûlage pastoral parce qu'elle empêche l'évolution naturelle des landes vers la forêt. Mais cela questionne les choix de gestion des espaces montagnards : ne faudrait-il pas se demander s'il est indispensable de maintenir ouvertes toutes les surfaces pastorales qui ont été défrichées aux siècles précédents, et s'il ne suffirait pas de maintenir ouvertes uniquement les surfaces en rapport avec les besoins pastoraux actuels, et de laisser le reste au retour à la forêt ? A une époque où l'on (re)découvre que les ligneux sont utiles au pâturage (voir par exemple, (Scopela 2017), la question se pose d'une organisation plus fine de l'espace pastoral avec une imbrication de milieux ouverts, de landes et de forêts, dont les surfaces respectives seraient raisonnées en fonction des besoins. C'est finalement la question du sylvopastoralisme qui se pose, dans un espace où les usages ont été soigneusement et réglementairement cantonnés depuis des siècles.

## **PARTIE 3 : LES ETUDES, EXPERIMENTATIONS ET TRAVAUX DE RECHERCHE EN COURS ET PERSPECTIVES**

### **3.1. Les études des impacts des brûlages sur la qualité de l'air et sur l'atmosphère**

#### POLLUTION ATMOSPHERIQUE ET QUALITE DE L'AIR

Lors d'importants brûlages, d'épaisses nuées de fumée peuvent être observées dans les vallées ariégeoises. Elles sont souvent denses et peuvent rester statiques dans les vallées plusieurs jours car les feux sont typiquement organisés au cours de périodes anticycloniques stables, avec des inversions thermiques fortes (i.e. températures plus chaudes en altitude qu'en surface), ce qui piège les fumées dans les basses couches de l'atmosphère. La question des conséquences de ces brûlages pastoraux sur la pollution atmosphérique et la qualité de l'air se pose donc.

On manque de données pour bien chiffrer l'impact de ces feux sur la qualité de l'air, entre autres en raison d'un problème de résolution pour les modèles numériques de qualité de l'air et les observations satellitaires (dans les cas consultés, la pollution était confinée dans une vallée, car les feux étaient déclenchés dans des conditions atmosphériques très stables avec une forte inversion thermique), et semble-t-il un manque de stations de mesure dans les massifs. Du coup il n'y a ni suivi ni alerte pour ce type d'événement.

Après enquête auprès de quelques instituts de recherche régionaux (Météo France, ATMO Occitanie notamment), on ne dispose pas de données précises concernant la qualité de l'air dans les vallées et les massifs ariégeois, et il est donc difficile d'évaluer l'impact des brûlages pastoraux sur cette qualité de l'air. Il y a qu'une seule station de mesures « de surface » en Ariège, installée à Pamiers, et d'autres dans quelques villes du piémont pyrénéen, dont Lourdes. Les observations satellites n'offrent pas une résolution suffisante pour des phénomènes qui demeurent très localisés dans les vallées, ce qui est souvent le cas en raison de conditions atmosphériques stables. Enfin, les émissions de particules associées à ces brûlages sont mal connues, et même si elles l'étaient, les modèles numériques utilisés pour prévoir la qualité de l'air ne sont pas suffisamment fins pour bien représenter le relief. Du coup il n'y a ni suivi ni alerte pour ce type d'événement. Disposer de mesures de concentrations en particules semble nécessaire pour pouvoir évaluer l'impact de ces brûlages sur la pollution atmosphérique et la qualité de l'air.

La qualité de l'air rejoint la problématique de l'impact sur la santé humaine, qui ne peut être traitée correctement dans cette note compte tenu du manque de littérature disponible et du manque d'expertise au sein du groupe de travail. Finalement, si le manque de données dans ce domaine est avéré, l'impact est probable et reconnu, comme le montrent les arrêtés préfectoraux dans les Hautes Pyrénées qui interdisent les brûlages pendant les vacances scolaires ou dans des situations de haute pression. Si le feu est mis en avant comme un élément de pollution en particules fines dans les vallées, on manque de données comparatives précises par rapport à d'autres sources de pollution plus régulières, telles que le brûlage du bois pour le chauffage domestique, le trafic automobile, etc.

Dans le même sens, un rapport d'expertise de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (ANSES 2012), qui aborde la question des impacts brûlages pastoraux sur la qualité de l'air et la santé donne une référence solide, même s'il n'est pas exclu que les émissions de particules des feux analysées dans ce rapport soient différentes de celles des brûlages pastoraux en Ariège. Ce rapport insiste aussi sur le rôle des inversions de températures, ce qui est pertinent pour cette note de synthèse. Et si les concentrations atmosphériques de particules résultant des brûlages pastoraux pyrénéens sont inconnues, il est probable que les concentrations résultant des incendies de l'hiver 2016-2017 aient été franchement élevées, sans qu'il soit possible d'avancer des données chiffrées.

Ce sujet de la qualité de l'air et de l'impact des brûlages sur la santé humaine est un des sujets qui mériterait d'être approfondi par des études et des programmes de recherche<sup>1</sup>. Une campagne de mesures *in situ* dans les conditions hivernales serait souhaitable pour produire des données concrètes permettant d'informer les habitants et d'orienter les décisions publiques.

#### L'INFLUENCE POSSIBLE SUR LE CLIMAT

La combustion de végétaux rejette du carbone principalement sous forme de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, lequel contribue ensuite à l'effet de serre. Néanmoins, le carbone stocké par les végétaux a au préalable été prélevé par le végétal dans l'atmosphère<sup>2</sup>. Qualitativement, le recours à des brûlages réguliers, par exemple pour maintenir des pâturages, n'induit pas d'émissions de CO<sub>2</sub> à long terme ; on ne fait que stocker lorsque la végétation croît, puis re-larguer lors du brûlage une certaine quantité de carbone. Il s'agit d'une différence essentielle par rapport à la combustion de carbone fossile. De plus, compte tenu du type de végétation brûlée, les quantités de carbone en jeu sont relativement modestes (beaucoup plus petites par exemple que pour des forêts), même si nous n'avons pas cherché à faire une évaluation précise des quantités de carbone en jeu. Au final, ce type de pratique ne contribue pas, ou marginalement, aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre de long terme.

En revanche, la biosphère constitue globalement un puits de carbone, puisqu'elle stocke environ 25% des émissions anthropiques de carbone fossile. En maintenant constant et plutôt à un faible niveau le stock de biomasse sur les parcelles concernées, on bloque cet effet "atténuateur". Mais le même constat pourrait être fait pour un grand nombre de terres cultivées.

Enfin les brûlages ont quelques effets de court terme. L'émission de fumées et aérosols peut temporairement interférer avec le rayonnement dans l'atmosphère, par exemple diminuer le rayonnement solaire reçu en surface. Le dépôt de produits de combustion (ex : carbone suie) sur la neige est susceptible d'altérer ses propriétés radiatives (modification de l'albédo), et peut accélérer sa fonte. Ces effets demeurent globalement de court terme et relativement localisés dans l'espace (zone touchée par les fumées).

### **3.2. Les projets locaux d'expérimentation et les travaux de recherche en cours**

Dans ce contexte d'incertitude, la construction et la mise en œuvre de programmes expérimentaux prend toute son importance.

Les projets mentionnés ci-dessous sont financés par différents programmes européens, ou régionaux. Ces financements permettent notamment de tester différentes pratiques de gestion des espaces et leurs impacts sur les milieux.

#### LES PROGRAMMES ET TRAVAUX AUXQUELS PARTICIPE LE PNR DES PYRENEES ARIEGEOISES

**Le CRB, Contrat de Restauration de la Biodiversité**, financé par la Région, est une application du principe de Trame Verte et Bleue sur le terrain, et consiste à mettre en place des actions de restauration de ces trames. Chez un éleveur, sur la commune d'Arignac, une expérimentation est menée avec pour but d'évaluer les impacts de différents modes de réouverture de milieux. Le protocole de suivi est réalisé sur la lande à genêts et à fougères aigles, en testant différents modes de gestion : brûlage, gyrobroyage et pâturage. Les expérimentations débutent en 2019, et les résultats ne sont pour le moment pas établis, ni publiés. Un prochain CRB sera présenté à la Région afin de poursuivre ces suivis et ces actions.

**Les programmes Natura 2000** permettent eux aussi d'expérimenter différents modes de gestion pour différents milieux. Le PNR des Pyrénées Ariégeoises abrite de nombreux sites Natura 2000 sur lesquels il est possible d'obtenir des financements.

<sup>1</sup> 48000 décès prématurés par an en France sont attribués à la qualité de l'air, dont plus de 2800 en Occitanie. (source santé publique France 2016). Source : <https://geodes.santepubliquefrance.fr/#c=indicator&selcodgeo=09&view=map2>

<sup>2</sup> Avec ou sans incendie, le carbone stocké par un végétal retourne à terme dans l'atmosphère, lorsque le végétal meurt et est biodégradé

Dans le cadre de sa mission d'appui aux animateurs des sites Natura 2000, le Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées travaille notamment sur des expérimentations et sur des recueils de suivi de gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Pour Catherine Brau-Nogué, en charge de ces suivis, il faut garder une grande vigilance sur cette question, sur ce qu'on met en avant et ce qu'on analyse, en prenant en compte à la fois les enjeux de la protection des espaces et ceux de l'accompagnement et de la gestion des espaces.

Entre 2010 et 2016, une expérimentation comparée de brûlage et broyage sur landes à genévrier a été mise en œuvre sur la montagne de Pouey Boucou, commune de Gèdre- Gavarnie (CBNPMP 2017). Les premières conclusions de cette expérimentation permettent de comparer les deux méthodes de réouverture sur le plan de la conservation des milieux, paysager et pastoral, et aussi sur le plan financier.

Sur le plan de la conservation des milieux, les deux méthodes permettent le maintien des habitats de pelouses et une mosaïque de milieux favorables à la perdrix grise, la flore n'est pas bouleversée et la végétation repousse, partiellement seulement dans les parties brûlées. Sur le plan pastoral et paysager, la valeur pastorale augmente dans les deux cas, et la circulation des troupeaux est favorisée. L'impact paysager est fort sur la physionomie des secteurs réouverts, mais les traces de brûlages restent plus longtemps visibles que les traces de broyage (rames calcinées). Sur le plan financier, le coût à l'hectare du brûlage est nettement moins cher, *stricto sensu*, mais il nécessite la présence d'un grand nombre de personnes et la procédure administrative pour le mettre en place est lourde, ce qui a aussi un coût.

Les auteurs de cette recherche expérimentale insistent sur la réflexion à mener en amont de la décision, en particulier sur les objectifs du projet (ressource fourragère, paysage, protection de la faune ?) sur la nécessaire présence de bétail pour entretenir le milieu après débroussaillage, et enfin sur l'importance du partage du projet avec les autres acteurs du territoire. Au final, le choix de la méthode choisie dépend de plusieurs facteurs : l'accessibilité à la parcelle, la densité de recouvrement, le relief, l'impact sur le milieu, l'intérêt paysager et les modalités de financement.

**Un poste de « chargée de mission Santé et environnement »** a été créé au PNR-PA, à la suite de la réponse à l'appel à projets 2018 de l'Agence régionale de la santé (ARS) et la DREAL Occitanie sur la déclinaison locale du plan régional santé-environnement (PRSE3).

La feuille de route pour 2019 est définie par la réalisation des 4 actions inscrites à l'appel à projets :

- sensibiliser, informer et éduquer le grand public aux enjeux de santé environnementale
- responsabiliser les collectivités (élus et agents) sur ces enjeux
- mobiliser les réseaux professionnels sur ces enjeux
- mettre en place et animer une « gouvernance territoriale environnement-santé »

Cinq thèmes prioritaires ont été définis pour 2019, dont l'amélioration et la préservation de la qualité de l'air intérieur et extérieur. L'action du Parc se place sous l'angle de la prévention et de la sensibilisation. Il se positionne en relais des messages existants au service du territoire pour alerter sur les atteintes possibles de l'environnement sur la santé publique. Dans le cadre du partenariat avec l'ATMO, il a été proposé de réaliser des campagnes de mesure, et notamment en période d'écobuage : la mission du PNR sera d'informer les acteurs du territoire sur l'influence des brûlages sur la qualité de l'air.

#### D'AUTRES TRAVAUX DE RECHERCHE EN COURS

**En Catalogne, le CTFC (Centro Tecnológico Forestal de Catalunya)** a évalué les impacts de l'ouverture des pâturages par le feu sur la richesse de la flore et de la valeur pastorale. Selon cette étude, qui présente un protocole de suivi du recouvrement arbustif après 4 types de brûlages expérimentaux, la végétation arbustive a une dynamique de pousse plus importante après un brûlage qu'après un traitement mécanique, et la richesse floristique (en terme de nombre d'espèces végétales) est plus importante qu'avec le traitement mécanique.

**Le projet LIFE Soilmontana** est un programme mené par NEIKER en Pays Basque espagnol. Il permet de réaliser des diagnostics et des évaluations de pratiques pastorales sur la santé des sols et des milieux. La santé du sol se définit comme sa capacité à mener à bien ses fonctions et services écosystémiques de manière durable.

**Le projet INTERREG-SUDOE « OPEN TO PRESERVE »** <https://open2preserve.eu/>, qui a officiellement débuté le 1 mars 2018, regroupe 13 partenaires, dont l'université de Navarre, le laboratoire GEODE de l'Université Toulouse Jean Jaurès, le département des Pyrénées Atlantiques, la chambre d'agriculture des Pyrénées Atlantiques, et la société des éleveurs des Pyrénées Orientales. Ce projet devrait se dérouler sur trois ans et a pour but de construire une analyse et des expérimentations sur le maintien des milieux sylvo-pastoraux. Il s'agit de faire une synthèse des expériences sur des systèmes déjà existants et de pratiquer des expérimentations de brûlage dirigé sur des milieux différents avec des modes de gestion pastorale similaires. Ce projet a commencé par le recensement approfondi de la littérature existante depuis les années 80.

**Le POCTEFA-GREEN** (<https://www.green-biodiv.eu/>), **ou la mise en réseau des espaces naturels des Pyrénées** est un programme européen permettant de développer les coopérations transfrontalières entre l'Espagne, l'Andorre et la France. Le Parc naturel régional des Pyrénées Ariégeoises est impliqué dans ce programme en tant que chef de file du volet concernant la préservation et la valorisation des milieux agro-pastoraux. En tant qu'acteur clé de ce volet, le PNR a pu développer différentes méthodes et outils, notamment celui du rouleau brise-fougère, outil de gestion alternative aux brûlages pastoraux à mi-estives. Ce programme a aussi permis au PNR des Pyrénées Ariégeoises de partager les expériences des différents partenaires pyrénéens sur la pratique des feux dans les milieux agro-pastoraux.

Ce programme de coopération et de mise en réseau se termine à la fin de l'année 2019, et reprendra en 2021 sur de nouvelles thématiques ou l'approfondissement de certaines. Les partenaires du réseau GREEN, acteurs de cette action sur les milieux agro-pastoraux se sont entendus sur une possible étude des brûlages pastoraux et de ses alternatives, cette problématique étant partagée par l'ensemble des territoires pyrénéens (le pays basque espagnol étant un peu moins concerné).

**Le programme LIFE Oreka Mendian** (<http://www.lifeorekamendian.eu/fr/>) est un programme européen de plusieurs millions d'euros sur 5 ans. L'objectif de ce programme est de développer une stratégie commune de gestion des milieux agro-pastoraux situés sur 15 sites Natura 2000, fondée sur un équilibre entre les enjeux de conservation et leur exploitation socio-économique. C'est dans ce cadre que la chambre d'agriculture alternative du Pays Basque français EHLG (Euskal Herriko Laborantza Ganbara) s'est impliquée dans la sensibilisation sur les brûlages, par l'élaboration d'une plaquette. Lors d'une rencontre dans le cadre du programme GREEN, ils ont exposé leur souhait de mener des études approfondies sur ces phénomènes. En effet, il existe une bibliographie conséquente sur les brûlages pastoraux, mais ils n'ont pas été correctement caractérisés et les impacts ne sont pas suffisamment connus.

Dans le cadre de ce programme, le CEN Aquitaine étudie l'évolution des habitats suivant différents modes de gestion. Les objectifs sont les mêmes que ceux énoncés dans le cadre du CRB, mais les dispositifs de suivi ne sont pas les mêmes (dans ce cas, un GREEN 2 permettrait d'harmoniser les protocoles).

**Enfin, en Haute Garonne, la chambre d'agriculture** a proposé en 2017 aux agriculteurs des sessions de formation sur « la gestion des milieux embroussaillés » avec une présentation des modes de gestion alternatifs aux brûlages pastoraux, qu'il serait intéressant de connaître.

### 3.3) Les travaux de recherche et les expérimentations à encourager

Fondamentalement, produire de la connaissance sur ce vaste et complexe sujet, est essentiel pour permettre de prendre du recul et de bien cerner les enjeux.

### LES BRULAGES PASTORAUX ET LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Depuis 2016 le PNR des Pyrénées Ariégeoises a engagé avec son voisin le PNR des Pyrénées Catalanes des réflexions sur les impacts du changement climatique, notamment suite au rapport (OPCC 2018) de l'OPCC (Observatoire Pyrénéen du Changement Climatique). Le rapport prévoit notamment une augmentation des températures jusqu'en 2050 ainsi qu'une augmentation du stress hydrique et des sécheresses. Le Plan de Paysage de la Transition énergétique et climatique mené par le PNR des Pyrénées Ariégeoises présente ces résultats sous forme de livret pédagogique et le PNR engage depuis 2018 une concertation en trois volets : « Paysages et Carbone », « Paysage et Climat », « Paysage et Energie ».

L'OPCC, Observatoire pyrénéen du changement climatique, a été créé par la Communauté de travail des Pyrénées (CTP), qui est la structure de coopération transfrontalière entre l'Espagne, la France et l'Andorre. L'OPCC a publié un rapport en 2018 sur le changement climatique dans les Pyrénées qui indique que la température a augmenté tous les dix ans de 0,2°C pour la période 1959-2010 et que les projections prévoient une augmentation progressive des températures au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Par contre la tendance d'évolution des précipitations n'est pas significative.

### LES IMPACTS DES BRULAGES SUR LA QUALITE DE L'AIR.

Le manque de données souligné sur le sujet des impacts des brûlages sur la qualité de l'air devrait motiver l'accueil d'un projet de recherche en Ariège, permettant d'étudier quelques cas de brûlages en réalisant des mesures. Cette étude permettrait d'observer et de chiffrer les effets des feux sur la qualité de l'air, avec des résultats accessibles dans 2 ans, et qui permettrait de valider les observations de panaches de fumées dans les vallées. Quelques premières tentatives pour initier un projet de recherche à l'échelle de la région ont été menées, sans succès à ce stade. Un aspect essentiel consisterait à disposer de mesures de la qualité de l'air réalisées sur place. On peut imaginer des stations de mesure en surface qui soient fixes ou mobiles (contribution possible d'ATMO Occitanie), ou des mesures de type Lydar (contribution possible du CNRM/Météo France) permettant d'avoir des concentrations de particules sur la verticale (donc pas seulement en surface ; il s'agit d'un élément clé car les concentrations sont souvent plus importantes en altitude, ce qui peut impacter certaines activités comme les stations de sports d'hiver, ou autre). Quel que soit le type d'instrument, la mesure ne permet pas de distinguer les différents types d'émissions (incendie, feux de cheminée, trafic automobile, et autres). Idéalement il faudrait donc (i) évaluer les émissions liées aux écobuages, ce qui est désormais possible (au moins grossièrement) à partir d'images de télédétection (contribution possible du Cesbio), et (ii) disposer d'enregistrements longs permettant de faire des statistiques, dans le but d'isoler la contribution spécifique des brûlages pastoraux (ce qui ne sera pas forcément aisé ; il s'agit donc d'un réel projet de recherche). Le montage d'un projet de ce type dans les années à venir intéresserait vraisemblablement d'autres structures à l'échelle du massif pyrénéen (e.g. PNP, autres collectivités), puisque les questions liées aux brûlages pastoraux se posent dans de nombreuses vallées. Plusieurs scientifiques ont déclaré leur intérêt sur cette thématique, mais sans concrétisation à ce jour.

L'ATMO Occitanie, le nouvel observatoire de la qualité de l'air en Occitanie, est partenaire du SMPNR depuis mai 2018. L'ATMO Occitanie réalise des suivis, et sensibilise à la qualité de l'air. En 2017, il dispose de 57 stations de mesure fixes, de 6 stations de mesure mobiles (elles restent de 6 à 12 mois sur un point), et 4 stations "semi-fixes". Par ce dispositif, l'ATMO localise les polluants et donc les populations exposées. Par une convention de partenariat spécifique avec le SMPNR, l'ATMO peut réaliser une étude particulière sur un territoire. Il est à noter que les stations de mesures dont dispose la structure ne feront pas la distinction entre un brûlage pastoral et un feu de bois. Une station réalise des mesures toutes les 15 minutes, avec une sensibilité au mg/m<sup>3</sup> pour différentes particules de l'air.

## LES ENJEUX SOCIÉTAUX :

L'étude de l'acceptabilité sociétale des brûlages pastoraux et des controverses qui s'y rapportent est enfin un élément clé des débats actuels, d'une part en raison des inquiétudes nouvelles sur la pollution visuelle et olfactive, la pollution de l'air et le changement climatique, d'autre part en raison de l'interdiction légale pour la population non agricole ou non autorisée à pratiquer des feux de déchets verts, qui laisse à penser que la loi n'est pas la même pour tous, et enfin en raison de la diversité des approches et opinions sur la gestion des espaces pastoraux pour aujourd'hui et demain. Des travaux de recherche dans ces domaines, en regard du sujet des brûlages pastoraux, auraient tout leur sens.

## CONCLUSION

A l'issue de ce travail de synthèse, il apparaît qu'apporter des réponses simples aux questions que suscitent les pratiques de brûlage pastoral aujourd'hui, dans les Pyrénées comme ailleurs, est impossible, tant les situations et les enjeux sont divers et complexes.

Les brûlages pastoraux constituent une pratique très largement utilisée, et depuis très longtemps, dans les Pyrénées comme ailleurs, au point d'avoir transformé la végétation et les sols. Mais l'histoire récente est marquée par des processus d'abandon et d'enfrichement qui changent les objectifs des brûlages, qui, souvent, ne sont plus ceux d'une gestion régulière mais d'une réouverture, et aussi les comportements des feux en raison de l'accumulation de la biomasse et du changement climatique, ce qui accroît les risques, particulièrement dans les zones intermédiaires et les bas versants, d'autant plus que les savoir-faire techniques du feu se perdent. Les surfaces légalement brûlées en Ariège ne sont aujourd'hui pas considérables, mais pour accompagner les changements susnommés, les réglementations de l'usage des feux par arrêté préfectoral ont évolué vers un durcissement depuis la fin des années 80. En Ariège, le projet de réglementation 2019 en cours de rédaction reprend l'arrêté de 2009, mais fait porter aux maires des communes ou à une cellule départementale éloignée du terrain, la responsabilité de l'autorisation des feux en raison de l'absence de Cellules Locales d'Ecobuage (CLE) dans ce département, alors que ce sont des organismes de concertation pertinents.

Les impacts des brûlages sur les sols, liés à l'intensité et à la sévérité des feux, et aussi sur la biodiversité, les paysages et la valeur pastorale, sont très variables selon les situations, les pratiques, et les territoires impactés (altitude, exposition, nature des sols, nature et taille de la végétation, saison, pluviométrie, horaire de brûlage, pratiques pastorales en place...). L'impact sur les sols dépend de la température atteinte et de la durée des feux. La seule étude réalisée en Ariège l'a été à Ribereix en vallée d'Ascou en 1992. Une étude de suivi de l'érosion post-feu réalisée en 2005 à Sournia dans les Pyrénées-Orientales montre que les impacts sur les sols sont faibles si le brûlage est bien mené, et réalisé au bon moment. L'impact sur la biodiversité, c'est-à-dire les communautés et les espèces végétales, les communautés et espèces animales, est effectif dans la mesure où le brûlage change le milieu, mais est très variable selon les espèces et les techniques de brûlage utilisées. Les rares expériences comparatives recensées, comparant des actions de débroussaillage par le feu ou par des actions mécaniques, mériteraient d'être prolongées et intégrées à des programmes de recherche interdisciplinaires, associant les sciences économiques et sociales et les sciences de la vie. L'exemple de l'impact sur les reptiles développé dans cette note de synthèse montre bien que les brûlages ont des conséquences négatives en détruisant les habitats mais peuvent avoir aussi des conséquences positives à plus long terme en ré-ouvrant des milieux trop fermés, si on n'a pas pu ou pas voulu utiliser d'autres méthodes de réouverture. Enfin, l'argument principal de l'usage du brûlage pastoral, celui de l'amélioration de la valeur pastorale, peut être retenu, mais aussi discuté : certes, le brûlage permet d'ouvrir ou de ré-ouvrir facilement les espaces enfrichés et permet la repousse des graminées, mais si ce brûlage n'est pas suivi d'une gestion fine et durable de l'espace brûlé, il n'est pas toujours pertinent pour une amélioration de la valeur pastorale à long terme. Et empêcher le retour des landes vers la forêt n'est pas une fin en soi, c'est un choix de société. Quant à l'impact sur les paysages, il est évidemment visible et touche à la question de l'acceptabilité sociale, parce qu'il renvoie à l'image des grands incendies

abondamment montrés dans les médias, comme les incendies californiens, australiens ou provençaux, plus près de nous, même si un brûlage bien mené ne détruit pas les arbres ni ne modifie le paysage durablement.

Ce qui est certain, à l'issue de ce travail, c'est que les débats d'experts, chacun restant dans sa spécialité, ne peuvent suffire à conclure quant au bien-fondé ou non des brûlages pastoraux. Ce débat n'a pas de fin et ne peut guère aider à la décision pour changer des pratiques.

En effet, il y a brûlage et brûlage. Le brûlage pastoral peut éviter l'incendie mais peut aussi déclencher l'incendie. Le brûlage, selon la technique utilisée et les données locales, pérennes ou ponctuelles, peut ne pas impacter voire favoriser la biodiversité, ou détruire la biodiversité et noircir durablement le paysage. Enfin, le brûlage peut améliorer la valeur pastorale, mais aussi encourager l'abandon d'une gestion pastorale fine et durable.

Le brûlage pastoral n'est pas une fin, mais un moyen. Et comme tous les moyens, il a une pertinence et des limites. Comme exprimé dans la conclusion de l'expérimentation de broyage-brûlage sur la commune de Gèdre-Gavarnie en 2016 (CNBCMP 2017), les choix des modes opératoires de réouverture de milieu dépendent de plusieurs facteurs : accessibilité, densité de recouvrement, relief et microrelief, impact environnemental sur le milieu, modalités de financement, intérêt paysager du débroussaillage...

La vraie question sous-jacente est bien celle de l'avenir d'espaces déstabilisés, dans un contexte de déprise et de changement climatique, par rapport aux systèmes de gestion agro-pastoraux anciens de l'espace montagnard, et finalement celle des choix de gestion des espaces montagnards par la société. Et le problème, aujourd'hui, est que les brûlages pastoraux ne sont pas toujours suivis de gestion productive. Par ailleurs, une partie de la société tolère mal le reflux de l'ouverture des milieux et des paysages, ce qui entraîne des dérives, alors que d'autres l'acceptent, ou/et expérimentent d'autres pratiques, encore peu diffusées.

Dans ce contexte, le groupe de travail attire l'attention sur trois enjeux majeurs :

Le premier enjeu est celui des choix de gestion des espaces pastoraux. La question de la transposition française des directives de la Politique Agricole Commune, dont une réforme est envisagée en 2021, est un bon exemple de la complexité des choix de société sur ce sujet. Faut-il continuer à encourager par des aides financières l'ouverture des milieux, vérifiée à partir d'images satellites, mais sans regard sur la pertinence et la durabilité de la méthode d'ouverture utilisée dans tel ou tel milieu ? Faut-il au contraire favoriser le maintien de la biomasse, voire encourager parfois ce qu'on nomme un « embroussaillage » et qui est parfois un choix délibéré de reforestation ? Mais comment alors contrôler les risques d'incendie dans les phases intermédiaires ?

Le deuxième enjeu est celui de la prévention des grands incendies, risque majeur non négligeable, qui s'accroît dans le contexte de changement climatique, et suppose une surveillance, et la mise en place de pare feux ou d'actions de défrichements dans les zones à risques.

Et le troisième enjeu est celui de la diminution probable de l'acceptabilité sociale des brûlages pastoraux, en raison de l'accroissement actuel des risques d'incendies et aussi d'une prise de conscience accrue, même si pas toujours scientifiquement pensée, des enjeux liés à la biodiversité et à la qualité de l'air.

La prise en compte de ces enjeux suppose de questionner les idées reçues et les habitudes des habitants et élus du territoire, en informant la population par des rencontres, des expositions et des sorties de terrain, en formant les élus et les professionnels, de façon approfondie, large et récurrente, et en accompagnant et animant des CLE ouvertes, pour aboutir à une réflexion apaisée. Cela suppose aussi de soutenir les travaux de recherche et les expérimentations de terrain, en particulier des recherches comparatives sur les différentes techniques de réouverture, sur plusieurs années et dans des territoires similaires et exploités de façon similaire, des recherches sur les impacts des brûlages sur la qualité de l'air et la biodiversité, associant sciences humaines, sciences physiques et sciences de la nature et croisant les enjeux environnementaux, sociaux, culturels et économiques. Cette note de synthèse présente plusieurs programmes expérimentaux ou travaux de recherche, dont certains auxquels le PNRPA participe, qu'il faut continuer à soutenir et à développer.

Enfin, rappelons pour finir que l'utilisation du feu a une forte dimension symbolique, car elle représente depuis des milliers d'années la maîtrise de l'homme sur la nature, dimension qu'on ne peut occulter. Nadine Ribet, dans l'ouvrage « feu, ami ou ennemi » qu'elle a coordonné (Ribet, 2018), insiste sur cette dimension symbolique du feu en étudiant ses métaphores littéraires, et cite Voltaire en exergue : « on n'a point de génie sans feu, mais on peut avoir du feu sans génie ». A propos des brûlages pastoraux, on ne saurait mieux dire.

## TRAVAUX CITES

- ALEXANDER, M.E., THOMAS, D.A. 2006. Prescribed fire case studies, decision aids and planning guides. *Fire management today*, 66-1, pp. 5-20
- ALEXANDRIAN D., CHAUTRAND L. & DELABRAZE P. 1980 - Prescribed fire study tour (voyage d'étude aux Etats Unis d'Amérique sur le feu prescrit). Forêt Méditerranéenne, t. II, n°2, pp.229-236
- ANSES, 2012. Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre. Rapport d'expertise collective, 195 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2010sa0183Ra.pdf> .
- BENTO, GONCALVES, et al. 2012. Feu et sols : concepts clés et avancées récentes. *Geoderma* Volume 191 , décembre 2012, pages 3-13
- BIBAL D., LEPRINCE F. & FOULCHE K., 2016 – Concilier préservation d'une espèce et activité agricole. Un projet Agrifane dédié au pastoralisme et à l'habitat de la perdrix grise des Pyrénées. *Connaissance et gestion des habitats*, 311 : 22-29.
- BORDELET A. 2013. Note de synthèse sur la pratique des brûlages pastoraux à l'échelle de la chaîne pyrénéenne Réseau Pastoral Pyrénéen (RPP), XXIVes Rencontres Réseau des équipes de brûlage dirigé, Lycée agricole d'Oloron (64), 29 au 31 mai 2013. p 16-19
- BRUCE M. and SERVANT G. 2004. Prescribed Fire in a Scottish Pinewood: A summary of recent research at Glen Tanar Estate, Aberdeenshire, Scotland. *International Forest Fire News (IFFN)* 30: 84–93.
- BURNEL, P.; DALENS, H. ; GERS, C. 1995. L'impact du feu sur les microarthropodes du sol : mise en place d'un dispositif de suivi expérimental dans le canton d'Argelès-Gazost. In : *la commission locale d'écobuage du canton d'Argelès-Gazost. Bilan d'une expérience de gestion des feux dans les Hautes-Pyrénées (1991-1994)*. GEODE, DDAF 65. 12p
- CBNPMP. 2017. Expérimentation de broyage / brûlage sur landes à genévrier sur la montagne de Pouey Boucou, commune de Gavarnie-Gèdre 2010 - 2016. s.d., 2017. 24p.
- DEFAUT B. 2000. Effets comparés du feu dirigé et du débroussaillage manuel sur les Orthoptères à Merviel (Ariège). *Matériaux Entomocénétiques*, 5 : 47-62, 2000, 57.
- DEFAUT B., et MORICHON. 2015. faune de France 97. Criquets de France (Orthoptera, Caelifera), Volume1, fascicules a et b. Fédération française des sociétés de sciences naturelles éditeur., 2015, 321-234.
- DEFRA. 2007. The heather and grass burning, code 2007 version. DEFRA publications. London UK. 28p.
- DE LUIS, M., GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C., & RAVENTÓS, J. (2003). Effects of fire and torrential rainfall on erosion in a Mediterranean gorse community. *Land Degradation & Development*, 14(2), 203-213.
- FAERBER J., 1995. Le feu contre la friche. Dynamiques des milieux, maîtrise du feu et gestion de l'environnement dans les Pyrénées centrales et occidentales. Thèse doct. Géographie, Université de Toulouse II, 363 p.+ann.
- FAERBER J. 1995. Gestion par le feu et impact sur la diversité : le cas des friches sur anciennes terrasses de culture dans les Pyrénées centrales. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 38(1),
- FAERBER J. 1996. Gestion par le feu et impact sur la diversité : le cas des friches sur anciennes terrasses de culture dans les Pyrénées centrales. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 38<sup>e</sup> année, bulletin n°1. Biodiversité, friches et jachères, pp. 273-293;
- FAERBER J. 2000. De l'incendie destructeur à une gestion raisonnée de l'environnement : le rôle du feu dans les dynamiques paysagères dans les Pyrénées centrales françaises. *Sud-Ouest européen*, tome 7, 2000. L'environnement entre nature et paysage. pp. 69-79
- FAERBER J. et EMILIAN A. 2008. (Univ. Perpignan, dépt Géographie) : essai d'évaluation des risques d'érosion après brûlage dirigé : bilan d'une expérimentation menée dans les Pyrénées Orientales. 19es Rencontres des Équipes de brûlage dirigé des Pyrénées Orientales. Carpiagne (13) – 21-23 mai 2008
- FAERBER J., 2009. Le feu pastoral en Ariège. Évolution de la pratique et impact sur les landes à genêt à balai et fougère aigle. Vingtièmes Rencontres des équipes de Brûlage dirigé (Tarascon-sur-Ariège, 10 au 12 juin 2009). 31-35.
- FAERBER J., 2013. Impact du feu sur les milieux pastoraux pyrénéens. Vingt-quatrième Rencontres des équipes de Brûlage dirigé (Lycée agricole d'Oloron [64], 29 au 31 mai 2013) : 39-44.

- FERNANDES P., VEGA J.A., JIMENEZ E. and RIGOLOT E. 2008. Fire resistance of European pines. *Forest Ecology and Management* 256: 246–255.
- FERNANDES, P., 6 BOTELHO, H., LOUREIRO, C., 2002. *Manual de Formação para a Técnica do Fogo Controlado*. UTAD, Vila Real.  
[https://www.researchgate.net/publication/235876657\\_Manual\\_de\\_formacao\\_para\\_a\\_tecnica\\_do\\_fogo\\_controlado](https://www.researchgate.net/publication/235876657_Manual_de_formacao_para_a_tecnica_do_fogo_controlado)
- FERNANDES PM., BOTELHO HS. 2003. Examen de l'efficacité de combustion prescrite dans la réduction des risques d'incendie, *International Journal of Wildland Fire*, 12, 117-128
- FERNANDES, P. M., LOUREIRO, C. 2010. *Handbook to Plan and Use Prescribed Burning in Europe*. Project FIRE PARADOX, 46p.  
[https://www.researchgate.net/publication/235876829\\_Handbook\\_to\\_Plan\\_and\\_Use\\_Prescribed\\_Burning\\_in\\_Europe](https://www.researchgate.net/publication/235876829_Handbook_to_Plan_and_Use_Prescribed_Burning_in_Europe)
- FERNANDES, Paulo M., DAVIES, G. Matt, ASCOLI, Davide, *et al.* 2013. Prescribed burning in southern Europe: developing fire management in a dynamic landscape. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 11, no s1. 11p.
- GIMINGHAM CH, 1972. *Écologie des landes*. Chapman et Hall, Londres
- JOFRE G.M. et READING C.J. 2012. An assessment of the impact of controlled burning on reptile populations. *ARC Research Report* 12/02.
- KEELEY J.E. 2009. Intensité du feu, sévérité du feu et sévérité de la brûlure : bref aperçu et utilisation suggérée. *Journal international des incendies de forêt* 18 (1) 116-126.
- MARTINEZ RUIZ (E.) (coord.). 2001. *Manual de quemas controladas. El manejo del fuego en la prevención de los incendios forestales*. Mundi Prensa, 175 p.
- METAILIE J-P., FAERBER J., 2003. Quinze années de gestion des feux pastoraux dans les Pyrénées : du blocage à la concertation. *Sud-Ouest Européen* 16 :37-51
- METAILIE J-P. et ALET B. 2002. Diversité paysagère et politiques publiques : un enjeu pour le développement local et l'aménagement des territoires ; l'exemple du Sud Ouest de la France. Toulouse, laboratoire GEODE, 2002.- 135 p
- MÉTAILIÉ, J.P., FAERBER J., DAUPRAS, F., LERIGOLEUR, E., MAIRE, E., De MUNNIK, N. 2016. *Evaluation des pratiques de brûlage dirigé dans les Pyrénées-Orientales (1984-2015)*. Rapport, GEODE, DDTM Pyrénées-Orientales, 158p.
- MONTIEL-MOLINA C. 2013. Evaluation comparative de la législation des feux de forêt et des politiques de l'Union européenne. Vers une directive-cadre sur l'incendie. *Politique forestière et économie* Volume 29, avril 2013, pages 1-6
- MONTIEL-MOLINA C. et KRAUS D. 2010. Best Practices of Fire Use - Prescribed Burning and Suppression Fire Programmes in Selected Case - Study Regions in Europe. *European Forest Institute Research Report* 24.
- OPCC. 2018. Le changement climatique dans les Pyrénées : impacts, vulnérabilités et adaptation. <https://www.opcc-ctp.org/sites/default/files/documentacion/opcc-informe-fr-print.pdf>.
- PRODON R. et CHEYLAN M. 2005. La faune face au feu. *Espaces naturels*, 12 : 11.
- RAISON R.J. 1079. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations : a review. *Plant and Soil* 51, 73-108
- RIBET N., BONTEMS V., ESCUDIE D., RIGOLOT E. Feu ami ou ennemi ? Dunod 2018. 224p.
- RIGOLOT E. et LAMBERT B. 1998. Landes oro-méditerranéennes : brûlage dirigé et pâturage dans les landes à genêt purgatif. *Pastrum*, 51-52 ; numéro spécial sur les brûlages dirigés. p113-118
- SCOPELA. 2017. Les ressources ligneuses. Fiche technique, 4 pages 2017. 4.
- STOOFF C., VERVOORT RW., IWEMA J., VAN DEN ELSEN E., FERREIRA AJD et RITSEMA CJ. 2012. Réponse hydrologique d'un petit bassin capté par un feu expérimental, *Hydrol. Terre Syst. Sci.*, 16, 267-285, <https://doi.org/10.5194/hess-16-267-2012>, 2012
- TRABAUD L. 1979. Etude du comportement du feu dans la Garrigue de Chêne kermès à partir des températures et des vitesses de propagation. *Annales des sciences forestières*, N° 36 (1), 13-38
- TRABAUD L. 1998. *Fire management and Landscape Ecology*.
- TUCKER, G. 2003. *Review of the impacts of heather and grassland burning in the uplands on soils, hydrology and biodiversity*. English Nature Research Reports, report 550. 148p.  
<http://publications.naturalengland.org.uk/publication/142001>
- VEGA, J. A., FERNÁNDEZ, C. AND FONTURBEL, T. 2005. Throughfall, runoff and soil erosion after prescribed burning in gorse shrubland in Galicia (NW Spain). *Land Degradation & Development* 16-1: 37–51.