



La pratique du brûlage sur le territoire des Causses et des Cévennes

Rapport d'analyse de la stagiaire Mathilde MARQUES étudiante en Licence Professionnelle
Gestion et Animation des Espaces Montagnards et Pastoraux (GAEMP)

année universitaire 2018/2019

Pour le compte de
l'Entente interdépartementale Causses et Cévennes

Sous la direction de Madame Amandine PRIAC et Monsieur Dominique LYSZCZARZ

Résumé

Le territoire des Causses et des Cévennes a été classé sur la liste du patrimoine mondial de l'humanité de l'UNESCO pour ses remarquables paysages façonnés par les activités agropastorales. Le brûlage, qui est une technique permettant l'apport de ressources fourragères et d'entretenir l'ouverture des milieux pastoraux, est utilisé sur ce territoire. Celui-ci était très présent jusqu'au XIX^{ème} siècle et est aujourd'hui peu connu et reconnu. Les pertes de savoirs de cette technique traditionnelle, les évolutions qu'elle a subies, la désertification rurale et la complexification législative de son utilisation la rendent de moins en moins accessible aux agriculteurs. De plus, les connaissances et documentations liées à son utilisation et à son évolution sur le territoire ne sont pas nombreuses.

Cette pratique est ici difficile à être observée due à la segmentation du territoire où elle se situe. Les Causses et Cévennes étant composé de quatre départements (Aveyron, Gard, Hérault et Lozère), il est difficile d'unifier les informations concernant l'usage du feu et d'échanger entre les différentes personnes concernées par ce sujet. C'est à travers un Groupe de Travail composé d'acteurs clés du brûlage sur le territoire que l'observation de cette pratique se développe. Avec eux, la mise en place d'un meilleur suivi de l'usage du feu est réfléchi, ce qui permettra de comprendre son évolution.

Nous étudions à travers ce compte rendu ce qu'il en est de l'utilisation du brûlage dans les Causses et Cévennes et avons une réflexion sur des moyens de surveiller cette activité et de la maintenir. Ce document servira d'outil pour développer « l'Observatoire » de cette pratique.

Sommaire

Résumé.....	2
Glossaire.....	4
Introduction.....	6
I/ Les Causses et Cévennes et l'utilisation du brûlage.....	7
1. Le territoire des Causses et des Cévennes et son inscription à l'UNESCO.....	7
1.1. Le patrimoine mondial de l'UNESCO.....	7
1.2. L'inscription du territoire Causses et Cévennes.....	7
1.3. Les caractéristiques du territoire C&C.....	9
2. La gestion du territoire des Causses & Cévennes.....	11
2.1. Le modèle de gouvernance.....	11
2.2. Les enjeux de la gouvernance.....	11
2.3. La gestion de l'attribut « brûlage pastoral ».....	12
II/ Le brûlage pastoral sur C&C.....	14
1. Quelques éléments historiques.....	14
1.1. Le feu, une pratique primordiale dans le développement de l'agriculture.....	14
1.2. Le feu agricole aujourd'hui, entre brûlage pastoral et brûlage dirigé.....	15
2. Des objectifs, des techniques et des modes de transmission multiples.....	16
2.1. Les objectifs.....	16
2.2. Les principes techniques de réalisation d'un brûlage.....	17
2.3. La mise en œuvre et la transmission.....	19
3. Une pratique aujourd'hui très encadrée.....	21
3.1. Le cadre réglementaire : Le Code de l'Environnement et le Code Forestier.....	21
3.2. Le PDPFCI et les arrêtés préfectoraux.....	22
3.4. Les déclarations et demandes d'assistance.....	25
4. Un panorama d'acteurs liés au feu.....	25
5. Une pratique en question.....	28
5.1. Des bonnes conditions de réalisation difficiles à réunir.....	28
5.2. Des impacts potentiels sur l'environnement.....	30
5.3. Un clivage autour de la pratique ?.....	31
III/ Vers un observatoire du brûlage pastoral sur le territoire des Causses et Cévennes.....	33
1. Contexte et proposition de mise en place.....	33
1.1. Suivi des pratiques de brûlage pastoral, objectifs et intérêts.....	33
1.2. Proposition d'indicateurs.....	33
1.3. Les gisements de données.....	35
2. Approche méthodologique.....	37
2.1. Démarchage et conventionnement auprès des acteurs.....	37
2.2. Télédétection des brûlages pastoraux : une première expérimentation.....	39
3. Vers d'autres perspectives.....	57
3.1. Déclarations en ligne - l'exemple des Pyrénées Orientales.....	57
3.2. Une harmonisation des méthodes sur les quatre départements.....	58
Conclusion.....	60
Bibliographie.....	61

Glossaire

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement

AOP : Appellation d'Origine Protégée

APFM : Auxiliaires de Protection de la Forêt Méditerranéenne

ASA DFCI : Association Syndicale Autorisée de Défense de la Forêt Contre l'Incendie

AVEC : Association de Valorisation de l'Espace Causses et Cévennes

CFM : Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne

CFPPA : Centres de Formation Professionnelle et de Promotion Agricoles

CNES : Centre National d'Etudes Spatiales

CNFPT : Centre National de la Fonction Publique Territoriale

COPAGE : Comité pour la Mise en Œuvre de Plan Agro-environnemental et de la Gestion de l'Espace en Lozère

CPIE : Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DDT : Direction Départementale des Territoires

DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer

DFCI : Défense des Forêt Contre les Incendies

DRAC : Direction Régionale des Affaires Culturelles

DRAFF : Direction Régionale de l'Alimentation de l'Agriculture et de la Forêt

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

EICC : Entente Interdépartementale des Causses et Cévennes

ESA : Agence Spatiale Européenne

GTP : Groupe Travail Projet

ICOMOS : International Council on Monuments and Sites (Conseil international des monuments et des sites)

IGN : Institut Géographique National

IGP : Indication Géographique Protégée

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

MAE : Mesures Agro-Environnementales

MIR : Moyen InfraRouge

MUSCATE : MUlti Satellite, multi-CApteurs, multi-Temporelles

NBR : Normalized Burn Ratio

NDII : Normalized Difference of Infrared Index

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

ONCFS : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

ONF : Office National des Forêts

PAC : Politique Agricole Commune

PDPFCI : Plan Départemental de Protection des Forêts Contre l'Incendie

PEPS : Plateforme d'Exploitation des Produits Sentinel

PIR : Proche InfraRouge

PNC : Parc National des Cévennes

PNRGC : Parc Naturel Régional des Grands Causses

PPFCI : Plans de Protection des Forêts Contre les Incendies

RPG : Registre Parcellaire Graphique

SDIS : Service Départemental d'Incendie et de Secours

SIG : Système d'Information Géographique

TIC : Technologies de l'information et de la communication

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture)

VUE : Valeur Universelle Exceptionnelle

Introduction

Inscrit en 2011 par l'UNESCO sur la liste du patrimoine mondial de l'Humanité, le territoire des Causses et des Cévennes présente une diversité de pratiques agricoles façonnant ses paysages. L'agropastoralisme est une pratique agricole marquante du territoire. Elle est compatible avec la préservation des espaces et de leurs végétations semi-naturelles ainsi que de sa biodiversité.

La pratique qui nous intéresse tout particulièrement ici est le brûlage pastoral. Présente depuis des millénaires, elle consiste à brûler la végétation dans le but de la renouveler et ainsi empêcher l'envahissement des ligneux et permettre la pousse de ressources fourragères nécessaires au pâturage des animaux. Mais s'il est mal géré, le feu peut détériorer les zones brûlées et aller jusqu'à créer des incendies. Au fil du temps, la pratique du brûlage s'est complexifiée à travers un encadrement législatif, une multiplication des acteurs usant du feu et des objectifs recherchés. Le feu est un moyen efficace, peu coûteux et respectueux des milieux lorsqu'il est utilisé selon des règles strictes.

Le brûlage, présent sur les quatre départements composant le territoire des Causses et des Cévennes (Aveyron, Gard, Hérault et Lozère), est peu suivi et mal connu des personnes présentes sur le Territoire. On trouve peu de recherches sur le sujet des brûlages.

Ce document a été rédigé pour permettre une meilleure compréhension de cette pratique et pour ensuite proposer des pistes d'amélioration de la situation actuelle (son utilisation, son suivi et la surveillance de sa progression).

I/ Les Causses et Cévennes et l'utilisation du brûlage

1. Le territoire des Causses et des Cévennes et son inscription à l'UNESCO

1.1. Le patrimoine mondial de l'UNESCO

L'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) a pour mission de contribuer à l'édification de la paix par la coopération internationale en matière d'éducation, de science et de culture. Devant le constat de l'accroissement des menaces et destructions affectant le patrimoine culturel et naturel et entraînant un appauvrissement de notre héritage, l'UNESCO a mis en place en 1972 un dispositif conventionnel international constituant un outil de reconnaissance et de protection collective du patrimoine naturel et culturel de valeur exceptionnelle.

La Convention du patrimoine mondial distingue le patrimoine culturel tel que les monuments (œuvre architecturale, sculpture, peinture, grotte ornée ...), les ensembles architecturaux ou les sites (paysage culturels, sites archéologiques...), et le patrimoine naturel (formations géologiques, habitats d'espèces menacées ...). Certains biens peuvent être considérés comme patrimoine mixte, à la fois culturel et naturel.

Pour accéder au patrimoine mondial un site ou un monument doit justifier de sa Valeur Universelle Exceptionnelle (VUE), c'est à dire de son caractère inestimable et sans équivalent pour les générations actuelles et futures. Pour ce faire la convention établit 10 critères possibles (6 critères culturels et 4 naturels). La satisfaction à au moins l'un de ces critères est nécessaire. Par ailleurs il est nécessaire de justifier de l'authenticité et de l'intégrité du site. L'authenticité permet d'apprécier le caractère crédible et véridique de la VUE au travers d'une série d'attributs culturels. L'intégrité permet quant à elle d'apprécier le caractère exhaustif et préservé des attributs, condition essentielle pour l'expression de la VUE.

Les paysages culturels représentent les œuvres conjuguées de l'homme et de la nature (Convention du Patrimoine Mondial). Ils illustrent l'évolution de la société humaine et son établissement au cours du temps sous l'influence de contraintes physiques environnementales difficiles. Les paysages ruraux sont les types les plus répandus de paysages culturels vivants (ICOMOS). Ils ont été façonnés au fil des millénaires par l'interaction homme-nature notamment à des fins de production alimentaire par l'agriculture et l'élevage. De fait, ils sont représentatifs de l'histoire humaine, des modes de vie et du patrimoine.

1.2. L'inscription du territoire Causses et Cévennes

Le territoire des Causses et Cévennes a été inscrit en 2011 sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO comme "Paysage culturel évolutif et vivant de l'agropastoralisme méditerranéen".

La catégorie "Paysage culturel du patrimoine mondial" est de création récente, elle a été adoptée en 1992 par le Comité du patrimoine mondial. L'inscription du territoire a été acceptée à la 3ème tentative ; les 2 premiers dossiers déposés ayant été refusés en 2006 et en 2009.

En 2011, soixante six paysages culturels étaient inscrits au patrimoine mondial.

L'agropastoralisme peut se définir comme un système d'élevage associant le pâturage extensif de ressources végétales spontanées et la production de céréales et de fourrages destinés à compléter l'alimentation des troupeaux. Le pastoralisme est généralement associé à une forte mobilité des troupeaux et un savoir faire dans leur conduite permettant la valorisation durable de surface difficiles car peu productives et non mécanisables. Les Causses et Cévennes présentent une grande diversité d'organisations pastorales différentes : sédentaire ou transhumant, agropastorale ou sylvopastorale, ovin, caprin ou bovin.

L'activité agropastorale, toujours présente, façonne les paysages des Causses et Cévennes depuis des millénaires. Pour s'adapter à un milieu présentant des contraintes géologiques et climatiques fortes, les Êtres-Humain y ont développé une activité et une culture agropastorale économe, ingénieuse et respectueuse des ressources qui constitue aujourd'hui la Valeur Universelle Exceptionnelle (VUE) reconnue par l'UNESCO pour ce territoire. La VUE des Causses et des Cévennes est définie dans le dossier d'inscription par les critères suivants :

- **Critère III) :** « apporter un témoignage unique ou du moins exceptionnel sur une tradition culturelle ou une civilisation vivante ou disparue. » La tradition agropastorale plurimillénaire des Causses et des Cévennes a généré un paysage culturel dont la structure résulte d'un ensemble d'attributs caractéristiques qui révèlent une maîtrise des milieux physiques et naturels du territoire, de pratiques agronomiques qui ont eu un rôle essentiel dans l'histoire et témoignent d'une culture singulière, à la fois religieuse, savante et populaire.

- **Critère v) :** « être un exemple éminent d'établissement humain traditionnel, de l'utilisation traditionnelle du territoire ou de la mer, qui soit représentatif d'une culture (ou de cultures), ou de l'interaction humaine avec l'environnement, spécialement quand celui-ci est devenu vulnérable sous l'impact d'une mutation irréversible. » Le paysage culturel évolutif vivant des Causses et des Cévennes est un exemple éminent d'une « œuvre conjuguée de l'homme et de la nature » qui perdure depuis trois millénaires grâce à sa capacité d'adaptation à son environnement naturel, politique, économique et social. Sur une partie nettement identifiée du territoire, le paysage présente encore aujourd'hui, par la reprise de son dynamisme et les garanties apportées à sa pérennité, une réponse exceptionnelle aux évolutions contemporaines constatées dans le sud-ouest de l'Europe. En englobant pour une large part une réserve de biosphère et un parc national, les Causses et les Cévennes démontrent que l'activité pastorale est un facteur de maintien de la biodiversité. Par là, ils doivent être regardés comme un bel exemple de développement durable.



Illustration 1: Une cazelle - Source: Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes

Les attributs culturels identifiés dans le dossier d'inscription constituent à la fois des marqueurs paysagers et des témoignages de l'évolution des sociétés pastorales. Certains attributs relèvent directement des milieux ouverts et de la riche biodiversité associée à ces espaces (ex : landes à callune du schiste et du granite, landes basses à thym, pelouses steppiques des Causses, ...). D'autres relèvent du patrimoine matériel, souvent du bâti vernaculaire en lien avec l'activité agropastorale qui sont des constructions majoritairement faites en pierre sèche. Cela concerne, les ouvrages de gestion hydraulique (canaux d'irrigation et lavognes pour l'abreuvement des troupeaux), les abris pour les troupeaux (jasses) et pour les hommes (cazelles), les enclos et murets pour le tri ou la circulation des troupeaux, les clapas (empilements de pierres issues des travaux

d'épierrement des parcelles)... Enfin, certains attributs relèvent du savoir-faire et des pratiques culturelles qui sont des éléments du patrimoine immatériel, tel que la transhumance des troupeaux en période estivale qui est associée aux chemins et lieux de passage spécifiques (draille, col), les pratiques religieuses (rituels pour la protection des troupeaux), ou encore les savoir-faire lié à la gestion des milieux (conduite des troupeaux, brûlage).



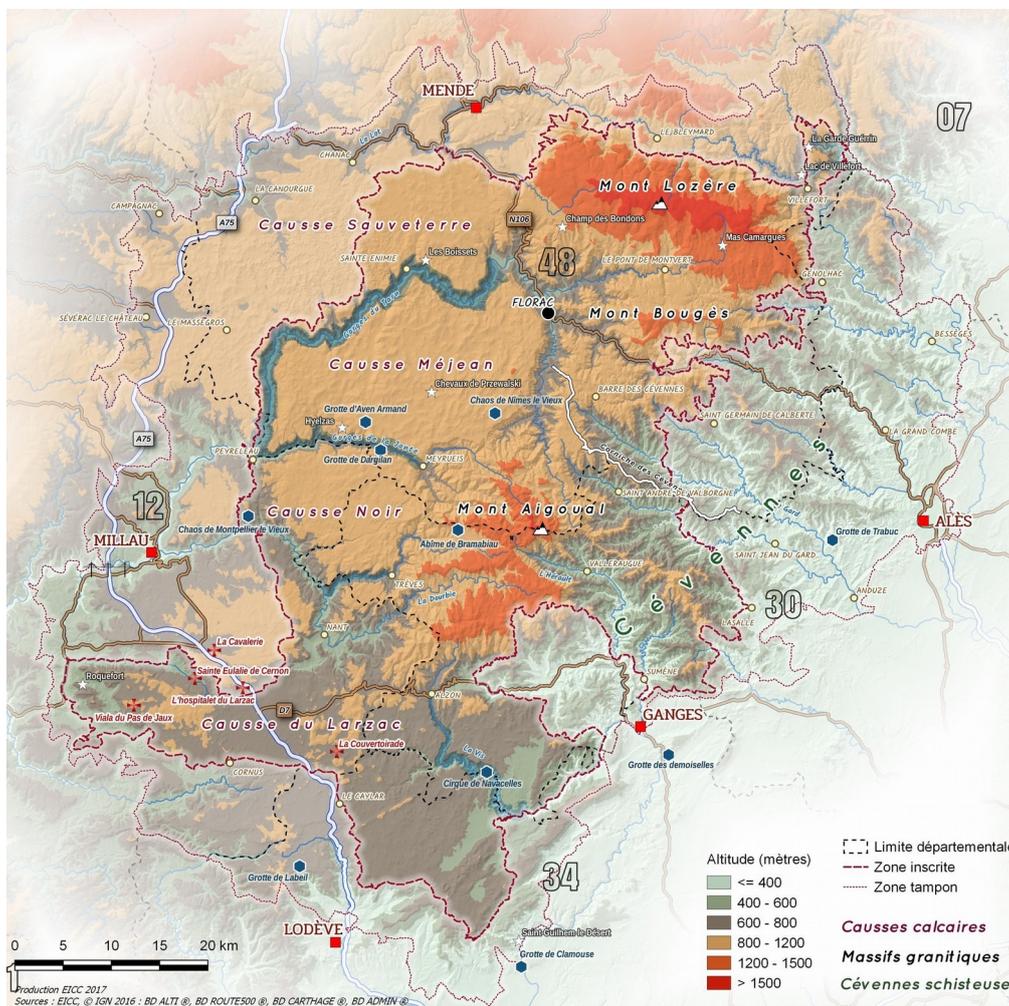
Illustration 2: Une lavogne - Source: Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes



Illustration 3: Des clapas - Source: Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes

1.3. Les caractéristiques du territoire C&C

Le territoire des Causses et Cévennes se situe dans la région Occitanie et s'étend sur quatre départements : l'Aveyron, la Lozère, l'Hérault et le Gard. Cinq communes (Alès, Ganges, Lodève, Mende et Millau), "dites villes portes", marquent l'entrée sur le territoire des Causses et Cévennes. C'est actuellement le plus grand site européen inscrit dans la catégorie des paysages culturels (3 144 km²). Trois zones géographiques et géologiques différentes se distinguent : les Causses calcaires, les basses Cévennes schisteuses et les hautes Cévennes granitiques (le Mont Lozère et le Mont Aigoual).



L'agriculture, toujours très présente, occupe environ un tiers du territoire des Causses et Cévennes. Plus de 2/3 des exploitations sont tournées vers l'élevage. En 2010, le recensement agricole sur la zone inscrite a dénombré 1 411 exploitations : 30 % sont en élevage ovin, 23 % sont en polyélevage et/ou polyculture, 13 % sont en élevage bovin et enfin 5 % sont en élevage caprin, le tout générant plus de 2000 emplois directs. Le cheptel est constitué de 140 000 ovins (dont 2/3 en brebis laitières) majoritairement localisés sur les causses, 10 000 ovins transhumants sur les massifs granitiques, 8500 caprins et 8500 bovins. De nombreuses productions locales sont valorisées au travers de signes officiels de qualité, comme l'IGP Agneau de Lozère, l'AOP Bleu des Causses, l'AOP Pélardon ou encore l'AOP Roquefort. Ces labels s'accompagnent de cahiers des charges définissant des conditions strictes de production et imposant certaines obligations, en particulier l'obligation de pâturage.

Aujourd'hui 40 % des élevages du territoire Causses et Cévennes sont de type "pastoral extensif" (exploitations dont au moins 80 % de la surface fourragère totale correspond à des surfaces toujours en herbe peu productives). En 2015 sur la zone inscrite, 155 000 ha ont été déclarés au titre des aides de la PAC dont 80 % de surfaces pastorales peu productives.

Les systèmes d'élevage se différencient selon la localisation sur le territoire.

Sur les Causses, l'élevage se fait essentiellement avec des brebis laitières dans des structures de grande taille. Les produits confectionnés sont surtout des fromages. L'élevage de bovins laitiers et de bovins allaitants s'est aussi développé sur cette partie du territoire. L'élevage de brebis allaitantes y est aussi présent, mais de façon moins significative. Ces troupeaux sont majoritairement sédentaires, mais certains peuvent transhumer.

Dans les Hautes Cévennes (le Mont Lozère et le Mont Aigoual), l'élevage est principalement tourné vers de la production de viande, ovine ou bovine. C'est une terre qui accueille les troupeaux transhumants en estive. En effet, la transhumance est encore présente de façon très localisée sur le territoire des Causses et Cévennes. Cette pratique ne concerne qu'une faible portion des éleveurs, une centaine intègrent cette pratique dans leur système d'élevage.

Dans les Basses Cévennes, les exploitations sont de petite taille mais diversifiées. On y trouve des élevages caprins pour la production du fromage Pélardon notamment, des ovins pour la production de viande.

Les tendances d'évolution entre 1988 et 2010 montrent une forte baisse du nombre d'exploitations (-38%). Néanmoins sur la période 2000/2010 la baisse des emplois (-2%) est bien inférieure à la moyenne régionale (-25%). On constate également une baisse moindre de la SAU (-7%), mais qui impacte très fortement les surfaces pastorales (-17 %) alors que les prairies productives et les cultures fourragères ont augmenté respectivement de 36 et 48 %. Parallèlement l'évolution des cheptels montre une baisse significative des effectifs de caprins (-22%) et une baisse moindre des ovins viande (-6,6%). En revanche nous constatons une augmentation des effectifs de brebis laitières et vaches allaitantes (respectivement +12,2 % et +69%) qui combinée à la baisse du nombre d'exploitation révèle l'augmentation de la taille des troupeaux. (GAUTIER, 2017)

Les pratiques pastorales connaissent un déclin à cause de la déprise agricole, de l'abandon des surfaces les plus difficiles et éloignées ainsi que de l'intensification des pratiques. Le risque de

fermeture des milieux et de banalisation du paysage (conversion de parcours en prairie de fauche) impacte directement la valeur patrimoniale des paysages emblématiques des Causses et des Cévennes.

2. La gestion du territoire des Causses & Cévennes

2.1. Le modèle de gouvernance

L'État français est garant de la bonne conservation de la VUE du bien Causses et Cévennes. Le préfet de la Lozère est désigné préfet coordonnateur pour la gestion du bien. Il est appuyé dans cette mission par les services déconcentrés des 3 ministères concernés (environnement, culture et agriculture).

Un système de gouvernance a été mis en place depuis le 1er juillet 2012 afin de bien articuler les actions de tous les acteurs de la gestion du site. Il s'organise autour de 3 instances :

- La conférence territoriale, présidée par le Préfet coordonnateur, prend les décisions qui définissent les grandes orientations de gestion du Bien Causses et Cévennes, et valide les objectifs visant la bonne conservation du Bien. La zone inscrite des Causses et des Cévennes recoupe d'autres zonages de protection, le Parc national des Cévennes (PNC), le Parc naturel régional des Grands Causses (PNRGC), les grands sites de France des gorges du Tarn, de la Jonte et Causses, du cirque de Navacelles et de Saint-Guilhem le Désert – Gorges de l'Hérault. Les établissements gestionnaires de ces sites participent directement à la gouvernance du territoire des Causses et Cévennes en participant à la conférence territoriale.

- Le Comité d'orientation propose les orientations et les recommandations de gestion du Bien en lien avec les gestionnaires locaux du territoire. Aujourd'hui en suspens, ce comité prenait la forme de l'AVEC (Association de Valorisation de l'Espace Causses et Cévennes).

- L'Entente Interdépartementale des Causses et Cévennes (EICC) qui représente la mission technique. L'EICC est un établissement public régi par le code des collectivités territoriales, elle est financée par les 4 départements concernés par l'inscription et dispose actuellement de 6 salariés. Elle est désignée par l'État pour suivre et mettre en œuvre le plan de gestion et le plan d'action sur ce territoire. Elle s'appuie sur des groupes de travail projet permettent de réunir les acteurs locaux sur des thématiques précises afin de suivre l'avancée des actions et d'en faire émerger de nouvelles.

Ces 3 instances sont appuyées par :

- un conseil scientifique qui répond aux sollicitations de la gouvernance,
- le Pôle de compétence État qui rassemble les services régionaux de l'État (DREAL, DRAC, DRAAF) ainsi que les services départementaux (DDT(M)).

2.2. Les enjeux de la gouvernance

L'Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes poursuit un objectif de maintien de l'agropastoralisme en travaillant autant que possible avec les différents acteurs du territoire, et cela sur des actions qui ont des intérêts communs.

Les enjeux de gestion visent d'une part les grands objectifs suivants :

- maintenir l'activité agropastorale sur le territoire,

- mieux connaître les attributs culturels,
- mieux les gérer,
- accompagner le développement touristique,
- partager les connaissances que l'Entente a de l'ensemble du territoire

Et d'autre part à faire face aux menaces identifiées :

- la désertification rurale,
- l'intensification des pratiques et la fermeture des milieux qui entraîne une banalisation du paysage,
- la perte des savoir-faire pastoraux traditionnels ainsi que des pratiques culturelles (par exemple, l'utilisation traditionnelle du brûlage pour l'entretien des milieux)

Ces menaces sont accompagnées de la présence de prédation sur le territoire (le loup) et d'une dépendance aux aides de la PAC et aux filières de valorisation puissantes (AOP et IGP).

Un des grands enjeux est de réussir à faire émerger et à maintenir une dynamique favorable à l'agropastoralisme impliquant un maximum d'acteurs qu'ils soient institutionnels, techniques associatifs et quels que soient leurs champs de compétences. Trouver des synergies entre ces acteurs est un travail de long terme parfois complexe. Certaines structures n'ont pas l'habitude de travailler en partenariat, d'autres ont des champs de compétences très éloignés, enfin, l'agropastoralisme n'est pas toujours vu comme une priorité. De plus, le rattachement du territoire des Causses et Cévennes à quatre départements démultiplie le nombre d'interlocuteurs et rajoute parfois une difficulté dans la construction et la mise en œuvre d'objectifs communs partagés.

2.3. La gestion de l'attribut « brûlage pastoral »

Le territoire des Causses et des Cévennes est reconnu comme un exemple de paysage culturel grâce aux différentes activités agropastorales qui l'ont façonné. Il convient donc de reconnaître ces activités et de les maintenir. C'est dans cette optique qu'elles sont mentionnées dans le dossier d'inscription à l'UNESCO comme faisant partie du patrimoine de ce territoire.

Cela concerne les pratiques pastorales sédentaires ou transhumantes et les pratiques agricoles, cela inclut aussi le brûlage pastoral.

En effet, les éleveurs utilisent le brûlage en complément du pâturage sur les espaces pastoraux afin de préserver leur valeur alimentaire et de lutter contre la fermeture des milieux.

Le brûlage est donc ancré dans le territoire des Causses et Cévennes. Il n'est pourtant pas toujours bien compris par les autres usagers de l'espace.

Dès la finalisation du plan de gestion, les acteurs locaux ayant contribué aux réflexions du groupe de travail "Agropastoralisme" ont souhaité qu'un Groupe de Travail Projet soit dédié aux problématiques liées à la pratique du brûlage pastoral.

Ce GTP a pris forme en 2017 et regroupe les acteurs techniques agrienvironnementaux et institutionnels du territoire pouvant être concernés par le brûlage pastoral. Y sont représentés :

- la Chambre d'Agriculture de l'Hérault et de l'Aveyron,
- le Parc Naturel Régional des Grands Causses,

- le Parc National des Cévennes,
- la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie,
- le COPAGE (Comité pour la mise en Œuvre du Plan Agro-environnemental et de Gestion de l'Espace en Lozère),
- le CPIE des Causses Méridionaux,
- le Parc National des grands Causses,
- le Parc National des Cévennes,
- le Conservatoire des Espaces Naturels Languedoc-Roussillon.

Plusieurs réunions entre ces acteurs ont permis de partager les actions mises en œuvre dans chaque département, les questionnements et priorités de chacun.

Ce travail entre dans les objectifs de l'Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes qui est d'approfondir les connaissances sur les activités agropastorales et de suivre leurs dynamiques. Cela concerne donc l'utilisation du brûlage sur le territoire. Son suivi nécessite en amont la réalisation d'un constat de ce qui est fait aujourd'hui et de comment cela évolue. C'est par le biais de l'Observatoire que ce projet se réalise.

Les objectifs sont :

1. de réaliser un diagnostic des pratiques du brûlage pastoral sur les Causses et Cévennes,
2. d'élargir les connaissances sur ce sujet (se rendre compte d'où se situent les zones qui sont brûlées, de leurs surfaces, des techniques utilisées, des objectifs derrière cette action, de l'évolution de la pratique, des formations réalisées...);
3. de développer la pratique du brûlage pastoral en sécurité (création d'un référentiel technique des bonnes pratiques du brûlage pastoral, de renforcer les formations adressées aux agriculteurs utilisant le feu, accompagner les brûleurs locaux dans leurs démarches, de renforcer le réseau entre les quatre départements composant les Causses et Cévennes...);
4. de sensibiliser les acteurs locaux sur l'utilisation du brûlage pastoral lorsque celui-ci est raisonné et de son importance pour le maintien de l'ouverture des milieux et de leur bon état de conservation (maintenir une communication sur ce sujet à travers des articles de presses ou encore des capsules de témoignages d'acteurs locaux).

Il a été décidé de développer l'Observatoire du brûlage avec une étude de cette pratique à travers un stage. Celui-ci a pour but de réaliser un premier état des lieux du brûlage sur le territoire avec un travail tourné vers l'établissement d'une méthode de suivi des brûlages reproductibles s'appuyant sur une recherche bibliographique et à la prise de contact avec les différents acteurs locaux liés au brûlage (SDIS, DDT, éleveurs...) à travers des entretiens.

C'est par le biais de ce premier travail que des données sont récoltées telles que la caractérisation des surfaces brûlées (surface, localisation...), comment est mis en œuvre un brûlage (technique, période, objectif(s), ...), comment s'organisent les brûlages.

La récolte de données permet par la suite de rédiger un rapport d'analyse et de les valoriser au travers d'outils cartographique (SIG).

II/ Le brûlage pastoral sur C&C

1. Quelques éléments historiques

1.1. Le feu, une pratique primordiale dans le développement de l'agriculture

En Europe, le feu est devenu un outil essentiel au développement de l'agriculture (pâturages, terres agricoles) dès la période du Néolithique (-5000 à -2000 ans avant J.C), pour façonner de nouvelles terres cultivables mais aussi pour fertiliser et entretenir ces terres. Dans certaines localités, l'utilisation du feu dans le cadre de la gestion des milieux pastoraux s'est poursuivie jusqu'à aujourd'hui.

Les communautés rurales des pays bordés par l'océan Atlantique brûlaient traditionnellement les landes et les terrains marécageux. C'est dans ces pays que l'utilisation du feu reste aujourd'hui encore la plus répandue, et cela majoritairement dans un but pastoral. (Rego, Rigolot, Fernandes, Montiel et Sande Silva. (2010), p. 1 à 4)

Ainsi, dans les Pyrénées, la présence d'éleveurs remonte à il y a 6 000 ans av.J-C et le feu a été le premier outil pour défricher l'espace pastoral. (Jean-Paul Métaillé, (2016), p.518)

L'usage du feu a pris de nombreuses formes et quelle que soit la technique employée, il repose sur un ensemble de savoir-faire. Les agriculteurs héritent souvent de ce savoir de leurs ancêtres. Cependant, les informations sur les techniques utilisées sont très limitées et se concentrent principalement sur les défrichements réalisés par un écobuage ou par un essartage, sur la critique de « bergers incendiaires » ou encore sur l'impact du feu. (Dumez, 2010, p.56)

L'utilisation du feu s'est beaucoup répandue dans l'espace en complémentarité du déboisement et la création des pâturages. Cela a fortement joué sur l'apparition des terroirs et de leurs techniques agricoles telles que :

- l'essartage (agriculture sur jachère forestière : taillis de 10-20 ans, dont les branches sont coupées et brûlées, en préservant les souches),
- la technique de déboisement pastoral,
- le déchaumage (opération superficielle de préparation du sol destinée à enfouir les chaumes et restes de paille afin de favoriser leur décomposition),
- ou encore l'écobuage qui était utilisé en Europe jusqu'au XIXème siècle.

En France, au XIX siècle, le feu agricole et le défrichement commencent à disparaître :

- les populations agricoles montagnardes connaissent un fort exode.
- un vaste programme de reboisement est mis en œuvre sur ces régions (publication du Code forestier en 1827, lois sur le reboisement des milieux montagnards durant les années 1860 et 1882).
- le brûlage dédié au pastoralisme a une réputation de pratique agricole destructrice envers les plantations forestières. Les réglementations forestières se montrent alors de plus en plus strictes vis à vis de l'utilisation du feu. (*Pastum : brûlage dirigés*, 1998)

Les dernières traces de défrichements datent du tout début du XXe siècle. Les paysages engendrés par les pratiques, notamment agro-sylvo-pastorales, commencent à se stabiliser. L'utilisation du feu ne se fait plus que par les bergers et éleveurs pastoraux, derniers témoins de

cette pratique traditionnelle. On peut alors commencer à parler d'une pratique de "brûlage pastoral", même si la confusion avec le terme écobuage persiste toujours de nos jours, l'écobuage étant une opération à but cultural et non pastoral.

L'écobuage était une méthode d'entretien et de défrichage de l'espace pastoral utilisée depuis le début du maniement du feu à but agricole. C'est une opération qui consistait à écroûter ou peler le sol pour incinérer ensuite les gazons lorsqu'ils sont presque secs. Cela permettait de défricher les landes et les prairies pour les mettre en culture. Son utilisation n'avait pas un but pastoral mais était exclusivement tourné vers la mise en culture. (Dumez, 2010, p. 34)

Quatre étapes étaient nécessaires pour faire un écobuage:

1. le dégazonnement (la couche supérieur du sol est découpée là où la strate herbacée et ses racines se trouvent),
2. le séchage du gazon (les morceaux découpés sont mis à sécher, puis sont empilés de manière à construire un fourneau),
3. le brûlage (le tout est incinéré),
4. l'épandage de la matière (ce qui avait été incinéré était répandu afin de fertiliser la terre à cultiver).

A partir des années 50, l'exode rural s'accélère : les populations sont en déclin, de nombreuses surfaces sont abandonnées, le nombre de troupeaux chute : cela a des conséquences sur l'évolution du paysage. Une dynamique rapide d'enfrichement rend l'espace uniforme, la biomasse de combustible augmente. Le feu reste pour autant un outil régulièrement mobilisé pour l'entretien des espaces pastoraux mais le mode d'utilisation du feu dans la gestion des espaces change complètement. Les brûlages qui se faisaient fréquemment sur de petites surfaces s'espacent dans le temps et se font sur des parcelles plus vastes concentrées sur les secteurs les plus faciles à brûler. Enfin, cette activité qui se faisait de façon collective est devenue beaucoup plus individuelle. « À une pratique régulière, « quand il faut », rendue possible par une plus grande disponibilité et une présence constante sur les pâturages, a succédé le feu mis « quand on peut » » (Métailié et Faerber. (2003), p. 37 à 39).

Ces évolutions s'accompagnent aujourd'hui d'une perte de références techniques et de reconnaissance sociale. Les connaissances autour du brûlage ont évolué, tout comme les pratiques.

1.2. Le feu agricole aujourd'hui, entre brûlage pastoral et brûlage dirigé

L'évolution des pratiques agricoles a poussé à une fermeture des milieux, sur des surfaces qui étaient ou qui sont encore gérées par de l'agropastoralisme. Cette progression de la végétation entraîne un accroissement des incendies dans les espaces naturels. Dans les années 80, le feu a été réapproprié par les autorités publiques et est utilisé dans le cadre de l'entretien des espaces. Les éleveurs, les forestiers, les pompiers et les environnementalistes usent de techniques agricoles et pastorales traditionnelles du feu pour répondre aux nouvelles problématiques qui pèsent sur ces milieux. Cette technique de brûlage, dit "brûlage dirigé" consiste en l'utilisation du feu pour combattre le feu estival. En éliminant la matière combustible en hiver/automne, leur accumulation est minimisée ce qui limite donc aussi les risques d'incendies.

C'est un usage innovant du feu et un changement de moyen d'intervention sur la nature qui est habituellement tourné vers des outils mécaniques. Comme pour le brûlage pastoral, il y a usage d'un outil dont la technicité de pilotage est peu visible. Contrairement aux autres outils utilisés par l'Être Humain, le feu est indépendant de la main de celui-ci. Il agit sur la matière dépendamment du combustible présent, du relief et du vent. (Nadine RIBET, 2011, p. 277-281). Que ce soit dans le cadre d'un brûlage dirigé ou d'un brûlage pastoral, le pilotage du feu sort du cadre des techniques modernes au profit d'une technique traditionnelle tournée vers un savoir-faire collectif demandant de la pratique, de l'adaptation et de la communication.

Le brûlage dirigé est inspiré des techniques traditionnelles liées du brûlage pastoral. Il reprend certains points comme le fait de brûler de la végétation sur pied sur une surface limitée, son but est de contenir la fermeture des milieux et il ne se fait qu'en hiver/automne là où la végétation et le sol ne sont pas trop secs. Ce qui qualifie cette pratique est que le feu est utilisé en tant qu'outil, il est contrôlé et « dirigé » comme son nom l'indique. La puissance des flammes et leur impact sur le milieu sur lequel il agit sont planifiés. Il sert à la base à la réduction des combustibles - dans le cadre de prévention contre les incendies de forêt, mais il s'est développé au cours du temps pour atteindre des objectifs plus diversifiés dans la gestion des espaces (gestion des peuplements forestiers, des pâturages, des landes et des friches).

Le brûlage dirigé s'est réapproprié certaines pratiques du brûlage pastoral et a permis lors de son apparition dans les Pyrénées à la fin du XXème siècle de revaloriser le brûlage traditionnel. Il est devenu lui-même une technique en soi et est celle qui est le plus enseignée de nos jours, lors de formations dédiées aux acteurs liés à l'utilisation du feu (pompiers, agriculteur). En France, la pratique du brûlage dirigé est organisée par un ensemble d'équipes de praticiens d'origines variées (forestiers, pastoralistes, pompiers...) regroupés à travers un réseau national animé par l'INRA. Ce réseau a créé une charte et un cahier des charges sur le brûlage dirigé.

2. Des objectifs, des techniques et des modes de transmission multiples

2.1. Les objectifs

Les raisons pour un éleveur d'utiliser le brûlage sont nombreuses, mais l'objectif principal est avant tout de détruire les ligneux. Il est utilisé pour l'ouverture ou la réouverture de milieux pour différentes raisons, cela peut être dans un but pastoral (celui-ci est suivi d'un entretien par le pâturage), cynégétique, de préservation de la biodiversité ou dans un but préventif pour lutter contre les incendies. Le feu à objectif pastoral est le plus répandu dans la région des Causses et Cévennes, il consiste à utiliser le feu courant durant la période de repos végétatif (le plus souvent en hiver). Il peut avoir plusieurs dimensions : recherche d'une végétation plus appétente pour les animaux qui vont pâturer, réouverture d'un milieu pour le passage des troupeaux, réouverture de milieux dans le cadre de la PAC (soit dans le but d'optimiser les montants à l'hectare en supprimant les ligneux non admissibles aux aides, soit dans le cadre des plans de gestion des MAE),...

Cela génère de l'espace où les bêtes pourront circuler et la végétation peut se renouveler. Les jeunes pousses seront assez tendres pour être consommées par les animaux et la végétation appétente pour les bêtes sera libre de pousser sans être gênée par les ligneux. Le feu permet de lutter contre

l'envahissement de végétation indésirable et consomme les herbes trop sèches qui ne sont pas intéressantes pour les animaux, les renouvelant ainsi.

Le feu est aussi « le premier pesticide qui ait existé ». Il élimine les nuisibles (insectes et leurs larves, les plantes indésirables). La notion de « nettoyage » et de « propre » est souvent mis en lien avec le feu par les éleveurs.

Le brûlage est aussi associé à une notion de tradition : il est pour certains agriculteurs une évidence d'utiliser cette technique pour l'entretien pastoral car ils ont toujours vu cette pratique être mis en place (que ce soit dans le cadre familial ou non). (Dumez, 2010)

Le pâturage est le premier outil de « lutte » contre l'embroussaillage. Le brûlage pastoral est une technique de débroussaillage ou de gestion de la broussaille **complémentaire au pâturage**. Il vient en appui du pâturage lorsque son impact ne permet pas de contenir la progression des ligneux encombrants ou pour ré-ouvrir des secteurs où la ressource pastorale est devenue inaccessible. Le pâturage ralentit ensuite la recolonisation. Un fort taux de chargement aux périodes de pousse des rejets diminue fortement la reprise des ligneux.

Lors d'un brûlage pastoral, il ne faut pas vouloir tout « nettoyer ». Il est important de garder quelques arbres et arbustes qui serviront d'abri aux animaux venant pâturer sur la zone qui a été brûlée. Pour faciliter le pâturage des bêtes, il faut que l'espace situé sous les ligneux qui ont été préservés soit bien dégagé, elles pourront s'y installer plus aisément. Les arbustes qui ont été gardés doivent avoir une taille suffisante, plus grand que l'animal, et ne pas être désagréables au toucher (épineux comme les ronciers ou les prunelliers).

Ces abris permettront aux animaux de se réfugier lors des intempéries (pluie et/ou orage), du vent lorsqu'il fait trop froid, des rayons du soleil lorsqu'il fait trop chaud.

2.2. Les principes techniques de réalisation d'un brûlage

Le principe de base d'un brûlage est de contenir le feu dans un espace limité sans en perdre le contrôle (et donc sans que celui-ci ne se répande). Pour cela, il est important qu'en amont du chantier des pare-feu soient mis en place. Ils peuvent prendre la forme de « barrières naturelles » telles qu'une route, un sentier, un ruisseau, de la neige, un muret, une barre rocheuse, etc.

La création de pare-feu de façon manuelle est souvent nécessaire. Cela consiste à supprimer les combustibles en bordure de la parcelle qui doit être brûlée par débroussaillage. L'idéal est que la partie combustible enlevée ait une largeur de 2 à 3 fois la hauteur de la végétation concernée. Pour que cette partie soit bien sécurisée, il est préférable de compléter en la décapant ou en faisant un grattage du sol avec une lame de bull, au râteau...). Cette partie de la procédure peut être remplacée par un arrosage des parties débroussaillées avec de l'eau (combiné à de la mousse ou du retardant). (Pastum: Brûlages dirigés, 1998)

Il y a différents modes opératoires pour la conduite d'un brûlage. Ils permettent de contrôler la puissance du feu et de maîtriser ses impacts sur le sol et l'écosystème présent. La conduite dépend des conditions météorologiques lors du brûlage (avant et pendant), de la teneur en eau de la végétation, et surtout de la technique de conduite du feu. Celle-ci se fera en fonction du vent et de la pente. (Info DFCI: Numéro spécial: le feu contre le feu, novembre 2004)

Certains brûlages sont très localisés. Qu'ils soient appelés « Feu par bosquet ou taches » lors de brûlages dirigés ou "Brûlages à la matte (ou en tâche)" lors de brûlages exclusivement pastoraux,

ils consistent à réaliser un brûlage alvéolaire, l'allumage se fait en suivant le périmètre des bosquets à traiter. C'est un feu d'entretien sur une petite surface (quelques m²). Dans les zones de pelouses et de landes claires, ces brûlages sont opérés "matte par matte" après pâturage sur les refus d'herbe et/ou de broussailles. Les éleveurs, tout en gardant, allument ces petits feux. Ce feu est facile à réaliser, il n'y a pas besoin d'organiser de gros chantier et d'être accompagné de professionnels, cela peut se faire seul ou à deux.

Les autres modes de conduite du feu sont réalisés sur des surfaces plus grandes. Ce sont des brûlages dits "*par quartiers*" consistant en un feu de réouverture d'un espace embroussaillé avec suffisamment d'herbe sèche. Les zones à brûler (allant de 1 ha jusqu'à 40 ha) sont délimitées par des coupes feux naturels tel que des ruisseaux, des zones rocheuses, des routes ou des chemins... Le feu peut y être mené de manières différentes :

- « Feu par courbes de niveau successives » : allumage du feu en haut de pente par bandes successives selon les courbes de niveau. Ce feu est plus fort et plus rapide, il est à utiliser avec plus de précautions. — L'espace entre chaque lignes d'allumage dépend de la quantité de combustible, de son humidité, à quel moment de la journée il a été allumé...

Ce type de conduite permet de brûler des surfaces de taille plus conséquente et se fait surtout sur les maquis bas et les landes.

- « Feu à vent montant » : Ce feu est plus facile à allumer. L'allumage se fait en bas de pente. Le feu est beaucoup plus rapide et puissant (le sol chauffe beaucoup plus et les flammes sont plus difficilement contrôlables, en condition sèche et en forte pente le feu peut atteindre la vitesse d'un incendie de forêt, de 1000 à 2000 m par heure). Il est nécessaire d'avoir de larges coupe-feu.
- « Feu à contrevent descendant » : consiste à allumer le feu sur le point le plus haut et à contrevent. Le feu allumé est contraint de se développer à la recule car il est en face d'un coupe-feu, l'empêchant de s'étendre sur une zone non désirée (la flamme est donc couchée sur ce qui a déjà été « nettoyé »). Le feu descendant est généralement lent (5 à 30 m par heure selon le milieu). C'est cette technique qui est la plus couramment utilisée pour les brûlages dirigés car c'est celle la plus sécuritaire.

(Pastum: Brûlages dirigés, 1998)

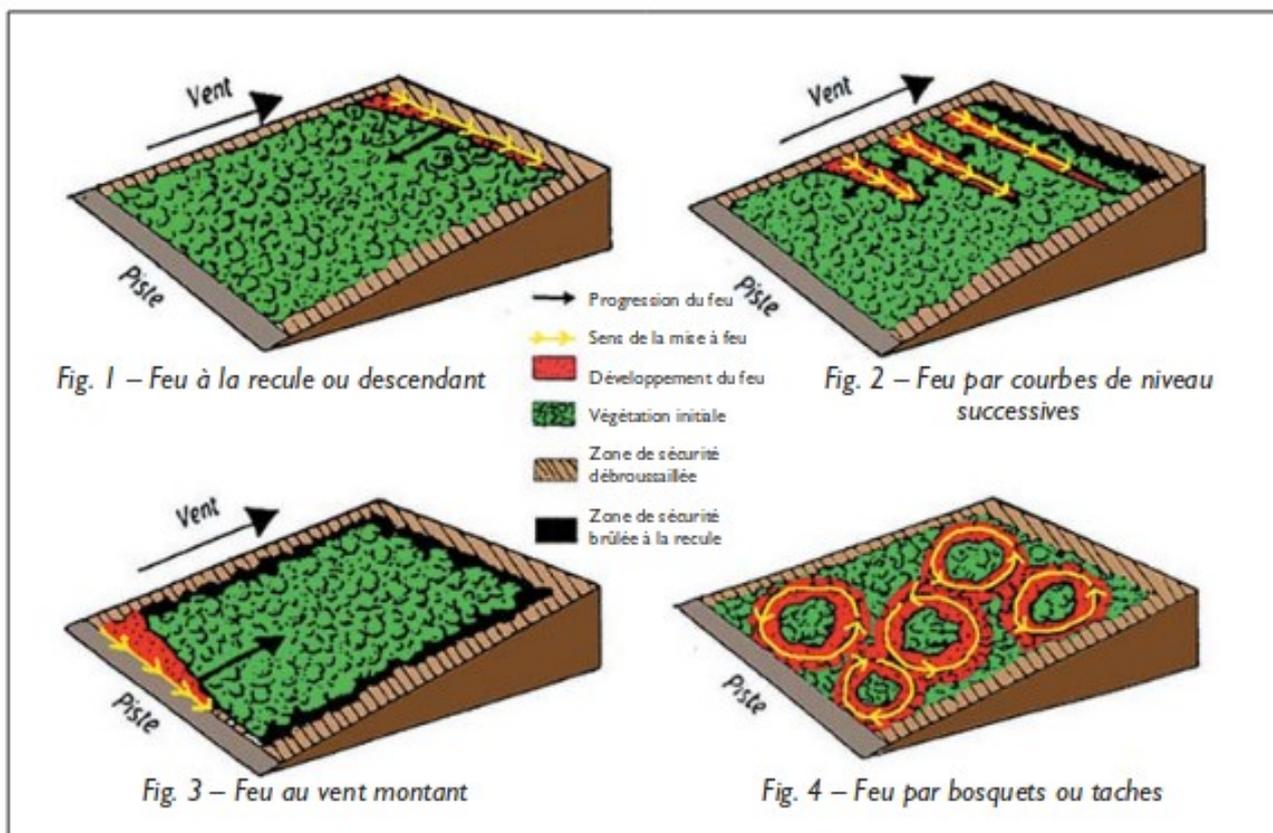


Illustration : (Source: Info DFCI: Numéro spécial: le feu contre le feu, novembre 2004)

2.3. La mise en œuvre et la transmission

L'accélération de la désertification des zones rurales des années 50 a eu des conséquences sur les pratiques agropastorales. En effet, la diminution des effectifs des éleveurs a entraîné une réduction du nombre d'animaux transhumant dans les montagnes. Cela a donc impacté l'évolution des paysages car cette diminution de la pression pastorale a poussé à l'embroussaillage des milieux habituellement pâturés par les bêtes. Cette fermeture des milieux a mené à l'augmentation de combustibles et donc à l'augmentation des risques d'incendies, menaçant ainsi les forêts, les habitations et les zones agricoles.

Cet embroussaillage a rendu difficile et dangereux l'utilisation du feu par les éleveurs restants. Les incendies se sont faits de plus en plus fréquents. Cette augmentation des risques a poussée à la prudence vis à vis du brûlage pastoral, le cadre réglementaire concernant l'utilisation du feu fixé dans la partie législative du Code forestier s'est fait plus stricte.

Les enjeux autour de l'utilisation du feu sont devenu plus contraignant, remettant en question la pratique du brûlage en solitaire par les agriculteurs. De plus en plus ont ressenti le besoin d'être encadrés ou du moins accompagnés lors des brûlages sur leurs parcelles.

Cette augmentation de demande d'assistance a fait grandir l'apparition de professionnels du feu maîtrisant les techniques de conduite du feu appelé « brûlage dirigé ».

Le brûlage dirigé a pris une place prépondérante au cours des dernières années. Il est aujourd'hui proposé d'accompagner, voire de remplacer, les éleveurs par des « professionnels du brûlage » dans les chantiers (cellule de brûlage, pompiers...).

Il arrive souvent qu'un agriculteur fasse appel à une cellule de brûlage ou au SDIS si celui-ci ne « se sent pas » de le faire tout seul (peur de ne pas avoir de contrôle sur le feu, vieillissement de ces personnes, perte du savoir lié au brûlage...) :

- Si il y a besoin que le brûlage soit accompagné par la cellule et/ou le SDIS, un formulaire de demande d'intervention peut être rempli à l'intention de ce dernier à condition qu'il ait un but de prévention des forêts contre les incendies (en plus d'un but agropastoral),
- Le brûlage tourné vers la prévention anti-incendie aura un encadrement différent selon le département concerné mais sera toujours fait par le SDIS, seul ou accompagné par d'autres acteurs des cellules,
- Le brûlage à objectif pastoral peut se lier à la prévention incendie et vice versa. Cela peut aussi se lier à l'ouverture de milieu dans le cadre de la préservation de la biodiversité (ex : la perdrix grise qui peut potentiellement faire sa nidification sur les zones à brûler).

Traditionnellement, la transmission de la technique liée à l'usage du feu pastoral se faisait dans la pratique et dans le « voir faire », c'est donc auprès de la famille que la transmission se faisait. Les parents et grands-parents transmettaient leurs expériences aux générations suivantes. Le brûlage n'était donc pas une technique dont les savoirs étaient retranscrits à l'écrit car son apprentissage ne se faisait pas de façon théorique.

Aujourd'hui, dans certains départements, les pertes du savoir lié à la gestion par le feu ont été compensées des formations sont proposées auprès des personnes pratiquant le brûlage (éleveurs, pompiers) afin de limiter les risques liés à l'utilisation du feu. Ces formations peuvent être proposées par les cellules de brûlage, le SDIS, la chambre d'agriculture... Cela dépend du département et de son fonctionnement.

La transmission du savoir-faire de façon orale se perd, de plus en plus d'agriculteurs « ne se sentent plus » de brûler seul et font appel aux cellules de brûlage ou au SDIS pour les accompagner dans leurs chantiers, tant que celui-ci entre aussi dans le cadre d'un brûlage DFCI . (Dumez, 2010)

En 2006, suite à un violent incendie sur le causse Méjean en 2003 et à la désertification agricole entraînant l'embroussaillage des milieux, l'École du Feu a été créée par la sous-préfecture de la Lozère. Elle est gérée par le Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricole (CFPPA) à Florac, son objectif est de compenser la perte du savoir lié à la conduite du feu avec l'arrivée de jeunes agriculteurs non expérimentés. Il y a une formation professionnelle pour adulte et une formation pour les apprentis et les BTS agricoles. Durant une période, il y avait aussi les apiculteurs qui étaient formés (enfumage des ruches et entretiens de leurs parcelles).

La formation se fait sur cinq jours, elle englobe la partie réglementaire, environnementale, technique (de la préparation du terrain jusqu'à la réalisation du brûlage). La théorie est mise en place aux mois d'octobre/novembre pour pouvoir pratiquer au mois de décembre/janvier. La formation professionnelle pour adulte a des difficultés à mobiliser des agriculteurs alors que la formation d'apprentis et de BTS peut facilement mobiliser des personnes car cela entre dans leur cursus scolaire (ils représentent un groupe de 10/12 personnes par an).

Plusieurs acteurs soutiennent ce projet, tel que le SDIS, le Comité pour la mise en Œuvre du Plan Agri-environnemental et de Gestion de l'Espace (COPAGE), la Direction Départemental du

territoire (DDT), l'Office National des Forêts (ONF), le Parc National des Cévennes (PNC), l'école forestière de Javols.

L'École du feu est financée par le Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne (CFM), le Conseil Général de la Lozère, le Conseil Régional d'Occitanie, Vivéa (un fonds d'assurance formation des actifs non-salariés agricoles) et le Centre National de la Fonction Publique Territoriale (CNFPT).

3. Une pratique aujourd'hui très encadrée

3.1. Le cadre réglementaire : Le Code de l'Environnement et le Code Forestier

À la base, le brûlage est interdit en France au travers du code de l'environnement et du règlement sanitaire départemental.

Mais, pour des raisons de défense des forêts contre les incendies, il y a des dérogations régissant l'emploi du feu et l'incinération des végétaux dans certains départements ; 32 sont concernés

Les départements du Gard, de la Lozère, de l'Hérault et de l'Aveyron qui connaissent une forte problématique liée au risque d'incendies lors de la période estivale en font partie.

Les dérogations sont accordées aux agriculteurs et aux sylviculteurs.

Le cadre général de l'emploi du feu est fixé dans la partie législative du Code forestier, en particulier dans le Livre III « Conservation et police des bois et forêts en général », Titre II « Défense et lutte contre les incendies », Chapitre II « Mesures de prévention et section pénales.

Le Code forestier précise, en quoi consiste un brûlage dirigé, qui peut le réaliser, qui définit le cahier des charges et la formation du personnel :

- L'incinération et le brûlage dirigé peuvent être réalisés en premier lieu par les propriétaires et ses ayants droit, mais aussi, avec l'accord écrit ou tacite des propriétaires : par l'État, les collectivités territoriales et leurs groupements, les associations syndicales autorisés. (Article L 131-9 du code forestier)
- Un brûlage dirigé correspond à « la destruction par le feu des herbes, broussailles, litières, rémanents de coupe, branchages, bois morts, sujets d'essence forestière ou autres lorsqu'ils présentent de façon durable un caractère dominé et dépérissant, et que leur maintien est de nature à favoriser la propagation des incendies. » (Article R 131-7 du code forestier)
- Les cahiers des charges sont arrêtés par le préfet après avis de la commission consultative départementale de sécurité et d'accessibilité. (Article R 131-9 : Respect du cahier des charges)
- Lors d'un brûlage dirigé réalisé par des personnes autres que le propriétaire ou l'ayant droit (qui sont mentionnés ci-dessus dans l'article L 131-9 du code forestier), leur représentant ou leur mandataire est responsable du bon déroulement de ces opérations. A cette fin, il s'assure que la personne chargée des travaux a participé à une formation au brûlage dirigé ou à l'incinération. (Article R 131-11 du code forestier)

L'autorisation d'usage du feu se décline en trois périodes : feu interdit, feu libre et feu réglementé.

- usage du feu interdit : il est interdit d'utiliser le feu et ce quelles que soient les conditions,

- usage libre du feu : le propriétaire ou l'ayant droit peut brûler sans déclaration en mairie avec tout de même l'obligation d'appeler le SDIS le jour du brûlage ;
- usage du feu réglementé : l'utilisation de feu peut se faire après avoir fait une déclaration auprès de la mairie.

Le code Forestier précise que la période d'usage du feu réglementé doit être de 4 mois minimum.

3.2. Le PDPFCI et les arrêtés préfectoraux

Les modifications du code forestier par la loi d'orientation sur la forêt du 9 juillet 2001 (n°2001-602) ont notifié qu'un plan de protection des forêts contre l'incendie (PDPFCI) doit être réalisé tous les 7 ans dans les 32 départements concernés par le risque incendie.

Les PDPFCI sont élaborés sous l'autorité du Préfet. En parallèle, des arrêtés préfectoraux sont pris pour encadrer l'usage du feu.

Le Plan Départemental de Protection des Forêts Contre l'Incendie (PDPFCI) est un document cadre qui a pour objectifs de diminuer les feux de forêts et de prévenir les risques d'incendies en protégeant ainsi les zones exposées aux conséquences liées au feu (impacts sur les personnes, les milieux naturels, les biens, les activités économiques et sociales).

Ainsi, les actions forestières entrant dans la protection de la forêt contre l'incendie doivent s'inscrire dans le cadre d'un plan de protection des forêts contre l'incendie (PPFCI).

Les arrêtés préfectoraux « emploi du feu » sont la déclinaison dans chaque département de la réglementation définie par le code forestier.

Ces arrêtés ne sont pas exactement les mêmes selon les départements car chacun possède des caractéristiques différentes (ex : par exemple, une abondance de la végétation forestière). Cela va jouer sur certains composants de ces documents, comme les périodes durant lesquels le brûlage est autorisé, réglementé ou interdit. La période d'interdiction correspond au printemps et à l'été car c'est durant ces saisons que les risques d'incendies sont les plus élevés. L'usage du feu dépend aussi de la zone d'utilisation, la réglementation de brûlage s'applique à l'intérieur et à moins de 200 m des zones exposées aux incendies de forêt (bois, forêts, plantations, reboisements, landes, garrigues et maquis). De plus, l'usage du feu est interdit si la vitesse du vent dépasse un certain seuil qui, encore une fois, dépend du département où l'arrêté s'inscrit.

Lors de la rédaction d'un arrêté préfectoral, l'avis des différents acteurs en lien avec le feu peut être sollicité afin de prendre en compte des éléments sensibles à la pratique du brûlage (par exemple, en Lozère, la période de brûlage n'est pas la même selon l'altitude car le Parc National des Cévennes a proposé de prendre en compte le fait que la végétation ne démarre pas au même moment selon à quelle hauteur elle est située).

Ces arrêtés préfectoraux sur l'emploi du feu sont à prendre en compte par tous les usagers du feu, que ce soit les agriculteurs qui décident de brûler en autonomie ou que ce soit les pompiers lors de chantiers de Défense des Forêts Contre les Incendies.

Tableau comparatif des arrêtés préfectoraux encadrant le brûlage dans les départements du Gard, de l'Hérault, de la Lozère et de l'Aveyron

	Gard	Hérault	Lozère	Aveyron
Périodes interdiction brûlage <u>végétation coupée</u>	Du 15 juin au 15 septembre	du 16 juin au 30 septembre	du 1 ^{er} juin au 30 septembre	du 16 juin au 30 septembre
Périodes autorisation brûlage <u>végétation coupée</u>	- réglementé du 1 ^{er} février au 14 juin inclus sur déclaration préalable à la mairie, - libre du 16 septembre au 31 janvier	- réglementé du 16 mars au 15 juin / du 1 ^{er} octobre au 15 octobre soumis à déclaration annuelle en mairie. - libre du 1 ^{er} janvier au 15 mars / 16 octobre au 31 décembre	-réglementé de 16 janvier au 15 avril -libre du 1 ^{er} octobre au 15 janvier / 16 avril au 31 mai	- réglementé du 16 mars au 15 juin / du 1 ^{er} octobre au 15 octobre sur déclaration préalable à la mairie
Périodes interdiction brûlage <u>végétation sur pied</u>	Du 15 juin au 15 septembre	du 16 juin au 30 septembre	du 1 ^{er} avril au 15 septembre, =>terrain situé en dessous de 1000 m d'altitude + hors et en zone cœur parc	du 15 juin au 30 septembre
			du 16 avril au 15 septembre, =>terrain situé au dessus de 1000 m d'altitude + hors et en zone cœur parc	
Périodes autorisation brûlage <u>végétation sur pied</u>	- réglementé du 16 septembre au 14 juin inclus sur déclaration préalable à la mairie.	- réglementé du 16 mars au 15 juin / du 1 ^{er} octobre au 15 octobre soumis à déclaration annuelle en mairie. - libre du 1 ^{er} janvier au 15 mars / 16 octobre au 31 décembre	- réglementé du 16 février au 31 mars, =>terrain situé en dessous de 1000 m d'altitude + hors et en zone cœur parc	-réglementé du 1 ^{er} janvier au 28 février / du 1 ^{er} mai au 14 juin / 1 ^{er} octobre au 31 décembre sur déclaration préalable à la mairie
			- réglementé du 16 février au 15 avril, =>terrain situé au dessus de 1000 m d'altitude + hors et en zone cœur parc -libre du 16 septembre au 15 février	-du 1 ^{er} mars au 30 avril soumises à autorisation de la mairie
Limite maximale autorisé du vent	20 km/h	40 km/h	25 km/h	40 km/h
Surface maximale autorisé à brûler en une seule fois	Non spécifié	Non spécifié	25 ha	5 ha

Ce tableau reprend les différentes périodes durant lesquelles le brûlage de végétation sur pied et le brûlage sur végétation coupée est : interdit, autorisé avec réglementation et autorisé de façon libre. Certaines périodes sont assez proches entre les départements (exemple : période d'interdiction de brûlage de végétation coupée dans les départements de l'Hérault et de l'Aveyron). Mais il en ressort plus une différence entre les arrêtés préfectoraux des quatre départements qu'une ressemblance. En effet, il y a beaucoup de périodes qui sont assez éloignées (exemple : périodes d'autorisation de brûlage de végétation sur pied et périodes interdiction brûlage végétation sur pied sur les départements du Gard, de l'Hérault, de l'Aveyron et de la Lozère).

Une autre différence qui est à mettre en avant est que les périodes de brûlage en Lozère dépendent aussi à quelle altitude la parcelle brûlée se situe.

On peut aussi noter que la limite maximale autorisée du vent n'est pas la même partout et qu'il y a de gros écarts entre certains départements. En effet, la limite de l'Aveyron et de l'Hérault est de 40 km/h alors que dans le Gars, elle est de 20 km/h et en Lozère, elle est de 25 km/h.

Enfin, la surface maximale autorisée à brûler en une seule fois à elle aussi des écarts entre les départements. Mais la comparaison est difficile car c'est une information qui n'est précisée que dans les arrêtés préfectoraux de l'Aveyron (5 ha) et de la Lozère (25 ha).

Cette différence dans les arrêtés des quatre départements rendrait difficile de les uniformiser, ce qui aurait facilité le suivi du brûlage sur l'ensemble du territoire.

3.4. Les déclarations et demandes d'assistance

- La déclaration de brûlage

En respectant les arrêtés préfectoraux mis en place, plusieurs choix s'offrent à un agriculteur voulant brûler une parcelle. S'il est familiarisé avec les techniques de brûlage et qu'il se sent capable de le faire, seul ou accompagné d'autres agriculteurs, il peut, lors des périodes concernées, faire une déclaration de brûlage auprès de la Mairie où le brûlage s'effectue. C'est un document à but informatif, il indique de façon générale le nom de la commune où le chantier se situe, l'identité du déclarant, le lieu-dit, le numéro de parcelle, la surface à brûler. Selon les départements, il peut être transmis à la DDT ou rester en Mairie mais dans tous les cas (en tout cas dans les départements du Gard, de la Lozère, de l'Aveyron et de l'Hérault) ce ne sont pas des données qui sont traitées. Ces documents ne sont pas consultés après avoir été reçus.

- La demande d'assistance au brûlage

Elle peut être faite par un agriculteur qui n'a pas assez d'expérience dans le brûlage, ou tout simplement parce qu'il « ne se sent pas » en capacité de le faire. Pour qu'un chantier soit validé, il faut qu'il y ait un enjeu DFCI sur la parcelle brûlée. La majorité du temps, il y a un enjeu pastoral qui y est intégré et l'agriculteur peut ainsi faire un chantier d'ouverture sur sa parcelle en étant soutenu par des professionnels du feu.

Cette demande prend la forme d'un document semblable à une déclaration ; elle est envoyée au SDIS du département concerné par le brûlage. Les informations à fournir sont plus complètes que dans une déclaration, la localisation se fait de façon plus précise (des coordonnées GPS sont fournies par la personne demandant d'être assistée ainsi qu'une carte montrant la parcelle à brûler). Certains SDIS, comme celui de l'Aveyron et l'Hérault, répertorient les brûlages qui sont faits à travers un travail de cartographie.

4. Un panorama d'acteurs liés au feu

Les personnes concernées par l'utilisation du feu dans la gestion des espaces sont les éleveurs sédentaires et transhumants (en cours d'installation ou installés et ayant ou non une expérience de l'usage du brûlage pastoral), les services départementaux d'incendie et de secours (SDIS), les techniciens intervenants dans les exploitations sur les questions de gestion des milieux pastoraux (Chambre d'Agriculture, ONF, PNC, PNGC).

- **Brûlage pastoral**

Celui-ci a pour but de contenir les ligneux et assurer le renouvellement de l'herbe. L'objectif final est de valoriser une végétation appétente qui pourra être pâturée par des troupeaux. Ce brûlage est traditionnellement mené par les agriculteurs. Aujourd'hui, d'autres acteurs y ont recours comme la Chambre d'Agriculture. Le SDIS peut aussi en faire partie lors de chantiers de brûlage DFCI, lorsque l'objectif pastoral est complémentaire à la protection des forêts face aux incendies. Pour qu'un agriculteur puisse réaliser un brûlage pastoral, il doit s'appuyer sur l'arrêté préfectoral sur l'usage du feu pour soit faire une déclaration en mairie, soit brûler librement (en respectant les

conditions fixés dans l'arrêté préfectoral). S'il ne se sent pas capable de pouvoir gérer le chantier sans l'aide de professionnels, il peut faire une demande d'assistance auprès du SDIS. Sa requête sera prise en compte s'il y a en plus un enjeu DFCI sur la parcelle à brûler.

La technique principalement utilisé est le brûlage dirigé. C'est la technique majoritairement utilisé par tous ceux qui manient le feu dans le but de rouvrir un milieu.

Lors d'un brûlage pastoral, il arrive encore que la technique du brûlage à la matte soit utilisée. Elle est pratique car facilement réalisable par un seul individu, les risques de débordement sont très faibles.

- **Brûlage DFCI (Défense des forêts contre les Incendies)**

Les brûlages DFCI sont faits par un panorama d'acteurs dans les départements qui composent le territoire des Causses et Cévennes :

- **La DDTM** (représentant de l'État) assure la cohérence des activités de la cellule par rapport à la politique départementale de lutte contre les incendies, la programmation financière tout en veillant au respect de la réglementation.
- **Le SDIS** fournit l'encadrement et des prestations en hommes et matériels pour la réalisation à proprement parler des chantiers pris en charge pour partie par le CFM (Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne)(25 % des dépenses engagées).
- **L'ONF** met à disposition des cadres et les Auxiliaires de Protection de la Forêt Méditerranéenne (APFM), pour préparer les chantiers, participer à leur réalisation, réaliser leur suivi cartographique, voire d'obtenir les autorisations des propriétaires.
- **La Chambre d'Agriculture**, assure l'expertise pastorale préalable et définit les préconisations de gestion en découlant. Elle peut aider les agriculteurs dans les démarches à suivre pour mettre en place un brûlage (administratif ou sur le terrain).
- **Les parcs** (Parc National des Cévennes ou Parc Naturel Régional des Grands Causses) assurent une expertise environnemental, ils donnent leur avis sur la faisabilité d'un brûlage selon des critères liés à la biodiversité (préservation de nidification par exemple).

Pour l'Aveyron, le Gard et l'Hérault, des Cellules de brûlage dirigé traitent les chantiers de brûlages se déroulant sur leur département et entrant dans un cadre de la défense des forêts contre les incendies.

Les Cellules de brûlage Dirigé sont constituées de :

- la DDTM (Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt),
- le SDIS (Service Départemental d'Incendie et de secours),
- le Parc (Parc National des Cévennes ou Parc Naturel des Grands Causses),
- l'ONF (agence départementale de l'Office National des Forêts),
- la Chambre d'Agriculture.

Selon le département, d'autres acteurs vont s'ajouter à la cellule :

- le Conseil Départemental dans le Gard, l'Hérault et l'Aveyron,
- l'ONCFS (Office national de la chasse et de la faune sauvage) dans le Gard, la Lozère et l'Aveyron,
- le CRPF (Centre national de la propriété forestière) dans le Gard et l'Aveyron.

L'animateur de la cellule est différent selon les départements :

- la Chambre Régionale d'agriculture dans le Gard,
- le SDIS en Aveyron et dans l'Hérault,

Le département de la Lozère se démarque des trois autres car il n'y a pas de cellule de brûlage au sens réglementaire. A la place la Lozère possède un Pôle DFCI, qui est une structure pilotée par la sous-préfecture. Tous les intervenants qui ont un rapport avec le feu en font partie :

- la DDT,
- le SDIS,
- le PNC,
- la Chambre d'Agriculture (COPAGE),
- l'ONF,
- l'Ecole forestière de Javol (qui fait des formations spécifiques à l'utilisation du feu),
- le CRPF,
- la gendarmerie,
- l'union des ASA DFCI. Association Syndicale Autorisée de Défense de la Forêt Contre l'Incendie

Ils se réunissent une fois par mois.

Le Pôle DFCI traite de tous les sujets concernant l'emploi du feu ayant un enjeu DFCI (pas seulement ce qui concerne la gestion des milieux). Cela comprend les plans de patrouillage en été ou encore les demandes de dérogation à l'usage du feu (ex : demande de dérogation d'une colonie de vacances pour pouvoir faire des feux de camp).

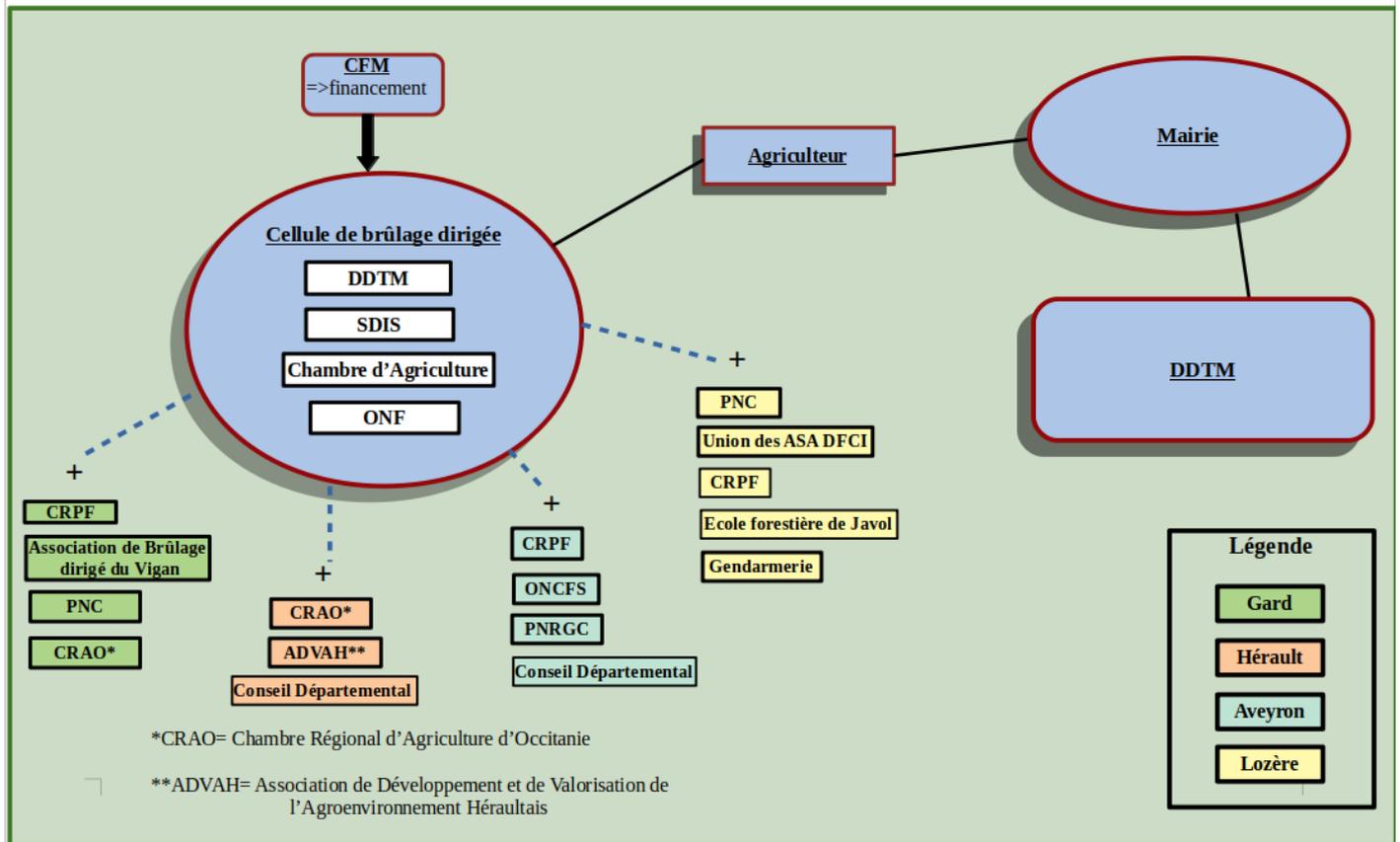
Les cellules et le Pôle DFCI sont financés par des crédits d'État (ligne de crédit du ministère de l'agriculture pour la prévention des incendies de forêt) attribués par le Conservatoire de la Forêt Méditerranéenne (CFM).

Un brûlage exclusivement agricole, d'entretien ou de réouverture, sans aucun intérêt DFCI n'est pas éligible pour les aides du CFM (le CFM n'intervient qu'en cas de protection avérée d'un massif contre les feux de forêt).

Mais comme souvent ces feux à objectif agricole sont contigus à un massif forestier, il peut y avoir subvention.

C'est en raison de ce financement que tous les chantiers sont tournés vers de la prévention feu de forêt.

Les Cellules de Brûlages dans les département du territoire des Causses et Cévennes



5. Une pratique en question

5.1. Des bonnes conditions de réalisation difficiles à réunir

Avant de commencer un brûlage, il est primordial de s'assurer que tous les points touchant à aux bonnes conditions d'un chantier soient respectés.

- État du sol :

Il faut que ce soit fait de manière à ce que le sol ne soit pas abîmé : un feu restant trop longtemps sur place génère trop de chaleur et détruit la litière, les micro-organismes, les nutriments...

- Dans l'idéal le sol doit être gelé, cela limite l'impact des flammes sur le sol.
- La végétation doit être sèche et inflammable, en repos végétatif (fin automne, hiver, début printemps selon le climat).

- Vent :

Les conditions de mise à feu dépendent en grande partie du vent :

- Son orientation définit quelle parcelle pourra être brûlée (chaque secteur a son environnement et le vent adapté à celui-ci valorisera sa préservation) (Dumez, 2010)

- Sa force détermine si le chantier peut être fait ou non car un vent trop fort rend dangereux l'utilisation du feu (la vitesse maximale autorisant un brûlage dépendra de l'arrêté préfectoral du département, il peut être de 20-25-40km/h dans ceux des Causses et des Cévennes).

- Périodes :

- Il est tout de même important à ne pas s'appuyer que sur les périodes durant lequel le brûlage sur végétation coupé ou sur pied est autorisé : les températures changent selon les années et certains hivers ne sont pas assez froids, laissant la végétation parfois trop sèche et donc trop combustible.
- Certains estiment qu'il faut brûler sur une même parcelle tous les ans, mais cela risque de trop endommager le sol et sa microfaune. Sur une zone n'étant pas entretenue entre deux brûlages par du pâturage, il faut brûler tous les 3 ans afin d'empêcher une fermeture du milieu. Si il y a pâturage, l'idéal serait de brûler tous les 5 ans (réglementairement, c'est tous les 3/ 5 ans) si cela est réalisé dans les bonnes conditions (sol gelé, zone humide). (Dumez, 2010)

- Encadrement d'un chantier :

Pour un bon encadrement d'un chantier de brûlage, il faut que le nombre de participants soit adapté aux conditions : taille de la parcelle brûlée, expérience des personnes présentes, sécheresse de la végétation, etc...

- Dans le cadre d'un brûlage pastoral, l'agriculteur peut brûler seul ou faire appel à des membres de sa famille et/ou voisins.
- Lors d'un brûlage de Défense des Forêts Contre les Incendies, les pompiers s'ajoutent aux acteurs.
- Leur nombre sur un chantier dépendra, en plus de la surface, de leur effectif qui ne sera pas la même selon le département. Par exemple, le SDIS du département de l'Aveyron possède 12 personnes ayant été formées au brûlage dirigé dont 6 sont chefs de chantier alors que le SDIS de la Lozère a 8 chefs de chantier et 25 autres personnes formées à la conduite du feu.

- Outils utilisés lors d'un brûlage :

Pour le pilotage du feu, les outils utilisés par les agriculteurs sont souvent les mêmes :

- Pour l'allumage, un briquet, un flambeau ou encore un chalumeau sont utilisés.
- Le contrôle et l'extinction du feu se fera à l'aide de rameaux de genêt, d'une pelle, d'un râteau ou encore d'une fourche qui permettent d'étouffer les petites flammes.
- Ce matériel s'accompagne de moyens porteurs d'eau tel que des seaux-pompe, de motopompe, voire même de petit véhicule contenant de l'eau du type Dangel.
- Enfin, pour qu'il y ait une bonne communication et coordination lors du chantier de brûlage, il est important que les participants possèdent des talkies-walkies.

Si un chantier est fait par les pompiers, ils auront du matériel plus complet tel qu'un habillement composé d'une veste technique, d'un masque, mais aussi des véhicules plus ou moins gros porteurs d'eau.

- Sécurité :

Il faut garder à l'esprit que le feu génère beaucoup de fumé et donc des substances nocives à inhaler comme le dioxyde de carbone (CO₂). Celui-ci est composé de substances chimiques comme le monoxyde de carbone (CO), des composés organiques volatils et semi-volatils (hydrocarbures, des organo-oxygénés, des organochlorés), les particules et oxydes d'azote (NO_x). (ANSES. (2012), p120) L'inhalation de fumée issue de végétation ligneuse rend déficient les mécanismes de défense immunitaires des poumons qui sont nécessaires à la résistance aux infections pulmonaires.(ANSES. (2012), p.6)

Du fait de l'importance de leur émission et des effets sur la santé, il faut s'assurer que toutes les personnes participant au brûlage possèdent de quoi s'en protéger (capuche, lunettes, foulard...).

Certains incendies peuvent résulter d'une perte de contrôle d'un brûlage en hiver. Avec la déprise agricole et l'embroussaillage des milieux, l'utilisation du feu se fait plus risquée. Il est donc nécessaire de réguler ces pratiques afin de minimiser ces risques. (REGO, F., RIGOLOTT, E., FERNANDES, P., MONTIEL, C., SANDE SILVA, J. (2010))

5.2. Des impacts potentiels sur l'environnement

L'impact d'un brûlage sur la végétation et le sol dépend de son intensité et de son temps de passage. Un feu rapide sur un sol humide ou gelé dégradera de façon minimale l'humus du sol qui servira ainsi d'isolant face au feu et protégera la microfaune qu'il abrite.

Un feu trop lent ou trop puissant surchauffera le sol et aura un impact très négatif sur la structure du sol, sa composition, la faune et la flore. Si une parcelle est brûlée trop fréquemment, le renouvellement des nutriments du sol et la formation de matière organique sont diminués (FIRE TORCH, (non daté), p.6). La flore prendra du temps avant de réapparaître, laissant le sol fragile au regard des phénomènes érosifs, et risque de ne pas être celle désirée dans le cadre d'un brûlage pastoral. Les plantes fourragères sont dans ce cas souvent remplacées par des espèces pionnières. On peut d'ailleurs considérer qu'un brûlage est raté lorsqu'une végétation pionnière est dominante (ex : rumex petit oseille) et qu'une ressource fourragère est absente durant plusieurs années.

Le feu peut conduire à une homogénéisation de la végétation et donc à une perte de la diversité floristique.

L'usage traditionnel du feu n'a pratiquement aucun effet de dégradation sur la composition floristique actuelle : les mêmes espèces sont présentes mais pas dans les mêmes proportions, les herbacées sont favorisées. (J.P.Métailié, J.Faerber, (2003), p.37-51)

Un chantier de brûlage doit être réalisé en prenant en compte la faune potentiellement présente pour la préserver le mieux possible. Par exemple, pour la perdrix grise qui fait son nid dans les milieux semi-fermé, il est nécessaire de prendre en compte ses périodes de nidification afin de ne pas détruire ses œufs. (C.Novoa, V.Parmain, et B.Lambert, (2010), p.31). Un autre exemple qui peut être cité est celui des sangliers qui aiment se réfugier dans les zones embroussaillées. Il est déjà arrivé que des sangliers se fassent débusquer lors d'un brûlage, les brûleurs ne s'étant pas rendu compte de leur présence.

L'impact d'un brûlage sur les arbres peut provoquer des blessures qui conduisent au fur et à mesure à la mort des arbres, laissant des paysages de tronc secs.

L'impact dépend aussi de l'espèce concernée et de l'âge des arbres.

Certaines espèces d'arbres sont connues pour leur sensibilité au feu comme le Chêne vert, l'Érable de Montpellier, le Châtaignier Arbousier, d'autres espèces sont plus résistantes tel le Chêne pubescent, le Chêne liège, le Pin maritime, le Pin pignon, le Pin d'Alep. (Fiche : brûlage pastoral (écobuage pastoral)). Dépendamment de l'espèce, un arbre plus âgé a une écorce plus épaisse et sera moins sensible au feu.

Enfin d'autres facteurs peuvent augmenter la sensibilité des arbres au feu, des feux récurrents et réalisés au mauvais moment (fin de l'hiver, à la montée de la sève), la présence de branches basses plus sensibles à la chaleur. Par exemple, des pins peuvent succomber au passage du feu dès lors qu'au moins 2/3 des branches du houppier jaunissent. C'est pour cela qu'il est conseillé de ratisser le dessous des arbres sensibles pour que les flammes n'y fassent pas de dégâts. Il est en plus préférable de mouiller le pied des arbres pour les isoler de la chaleur.

5.3. Un clivage autour de la pratique ?

- **Une mauvaise reconnaissance de cette pratique traditionnelle**

Le brûlage pastoral reste très méconnu des personnes n'étant pas originaires de la région (citadins, résidents secondaires, promeneurs...). Il y a une incompréhension de leur part et une vision péjorative de cette pratique car le feu garde une connotation négative, il est mis en lien avec les incendies, la destruction. Certains vont tout simplement y voir quelque chose de « sale » dans le paysage. Cela va poser des problèmes lors des chantiers de brûlages, certaines personnes vont contacter les pompiers et donner l'alerte après avoir aperçu des flammes ou de la fumée. Les gens de la région y sont quant à eux habitués.

Cette méconnaissance est due en grande partie au fait que cette pratique est très peu reconnue en France, que ce soit là où elle est absente ou là où son usage est traditionnel. Cela peut aussi s'appliquer chez certains pompiers qui n'ont pas la culture du feu pastoral et n'ayant pas été sensibilisés à l'utilisation du brûlage dans la gestion des milieux. Il arrive que des agriculteurs reçoivent des reproches de leur part alors qu'ils sont dans leur droit.

Certaines personnes connaissant cette pratique en ont une vision mitigée, notamment les naturalistes. Ils voient d'un mauvais œil les répercussions que peuvent avoir le feu sur la biodiversité, celui-ci peut se montrer nuisible lorsqu'il est utilisé de façon trop violente et répétitive. Cela abîme le sol, détruit la végétation qui ne devrait pas l'être ainsi que des habitats naturels. (Voir partie II/5.2. *Des impacts potentiels sur l'environnement*)

Les naturalistes sont tous d'accord pour dire que la pratique du brûlage ayant pour seul but d'ouvrir le milieu et/ou l'entretien du paysage n'a aucune logique, cela ne fait que détruire un espace naturel pour l'esthétique. (Dumez, 2010) Le brûlage seul ne suffit pas, il faut qu'il soit accompagné d'un entretien par le pâturage et cela de façon régulière. Cela permet de repousser au plus tard la fermeture du milieu et donc de la réutilisation du brûlage.

- **Une appréciation variable de la pratique au sein du monde pastoral**

L'utilisation du brûlage par les agriculteurs n'a pas toujours un but pastoral. Bien que l'élevage reste au premier plan de leurs priorités, la lutte contre l'embroussaillage reste un enjeu majeur. De plus en plus, nous pouvons observer un usage lié à la Politique Agricole Commune (PAC), qui est un soutien financier mis en place à la fin des années 50 par les membres de l'Union Européenne. En effet depuis 2015 les aides directes attribuées aux éleveurs (1^{er} pilier de la PAC) correspondent à des montants à l'hectare. Le nombre d'hectares admissibles aux aides pour une parcelle donnée est calculé par estimation d'un taux de prorata permettant d'exclure de la superficie les éléments non consommables ou non accessibles par les animaux. La mise en place de ces nouvelles règles d'admissibilité a favorisé un plus grand entretien des surfaces qui passe bien souvent par un renforcement de l'usage du feu ou du gyrobroyage (Gautier, 2017). Parallèlement, le second pilier de la PAC dédié au développement rural introduit des mesures agro-environnementales et climatiques (MAEC) encourageant la transition vers des pratiques agroécologiques. Concernant les systèmes d'élevage pastoraux les MAEC incitent généralement à un meilleur contrôle de la fermeture des milieux. Dans ce cadre, le brûlage pastoral peut faire partie des méthodes autorisées ou préconisées pour faire de l'entretien complémentaire au pâturage.

Dans certains cas, il arrive qu'un éleveur ouvre un milieu sans qu'il n'y ait derrière la volonté d'y faire pâturer ses bêtes, ceci afin d'optimiser la surface admissible aux aides ou bien par peur des contrôles. Étant donné que les reliefs montagnards ne permettent pas toujours l'usage de moyens tels que les débroussailluses ou le gyrobroyage, l'utilisation du feu représente un moyen simple et efficace pour lutter contre la fermeture des surfaces

L'utilisation traditionnelle du brûlage pastoral par les éleveurs se raréfie, le feu est majoritairement manié par des professionnels. Ce changement de main de cette pratique s'est accru depuis les années 80, lorsque le feu a été réapproprié par les autorités publiques et utilisé dans le cadre de l'entretien des espaces. Cela risque de continuer à l'avenir. La perte du savoir lié à l'utilisation du brûlage par les agriculteurs pourrait en faire une pratique exclusivement utilisée par les professionnels du feu. A la longue, si ce scénario se réalisait, les milieux pastoraux n'entrant pas dans la catégorie de Défense des Forêts contre les Incendies serait davantage soumis au risque d'abandon et de fermeture.

L'usage du feu par les agriculteurs semble aujourd'hui une pratique encore vivante et les moyens mis en place pour préserver son utilisation (formations, accompagnement par les Chambres d'Agriculture) contribuent probablement à son maintien sur le territoire des Causses et des Cévennes.

Pour pouvoir au mieux préserver l'utilisation du brûlage, il faut connaître la situation actuelle de cette pratique en faisant un état des lieux puis en faisant un suivi régulier. Pour cela, la mise en place d'un observatoire sur le territoire des Causses et des Cévennes est nécessaire.

III/ Vers un observatoire du brûlage pastoral sur le territoire des Causses et Cévennes

1. Contexte et proposition de mise en place

1.1. Suivi des pratiques de brûlage pastoral, objectifs et intérêts

Nous l'avons vu le brûlage pastoral a subi d'important changements avec d'une part l'exode rural entraînant une perte des savoir-faire et d'autres part l'avènement d'un contexte réglementaire plus restrictif.

Le suivi des brûlages pastoraux permet d'objectiver la dynamique d'évolution de la pratique et d'évaluer son état de conservation, tend-elle à disparaître ou se stabilise-t-elle de nos jours ?

Ce suivi sur une longue durée permettra de répondre à ces questions en se concentrant sur différents points caractérisant l'usage du feu :

- effectif des personnes pratiquant le brûlage (évolution de leur nombre),
- qui sont ces personnes au fil du temps (agriculteurs ou pompiers) ; l'utilisation du brûlage change-t-elle de mains.
- Évolution de la superficie des zones brûlées (diminution ou stabilité), qui pourra être mise en lien avec les problématiques liées à l'embroussaillage de la végétation et de l'avancée de la forêt sur le territoire.
- évolution des techniques utilisées lors des brûlages, les techniques traditionnelles sont-elles toujours présentes ou la pratique va-t-elle vers une unification de celles-ci, comme cela se fait avec le brûlage dirigé qui est la technique dominante. Cela permettrait de se rendre compte de l'étendue de la perte de ce savoir-faire.
- Évolution des motivations à l'utilisation du brûlage. À l'origine, le brûlage était utilisé dans un but agropastoral, mais au cours du temps les objectifs qu'il y a derrière ont changé. La recherche de ressources fourragères est parfois mise de côté pour se concentrer sur des objectifs autres tel que la préservation des forêts face aux incendies, une obtention plus importante d'aides financière ou encore juste pour un objectif paysager.

L'intérêt de ce suivi est aussi de se rendre compte de la situation actuelle de la pratique du brûlage sur les Causses et Cévennes, de voir ses faiblesses pour pouvoir agir face à sa détérioration. La préservation de cette pratique agropastorale entre dans celle du patrimoine du territoire car le brûlage est un attribut immatériel en lui-même du paysage culturel des Causses et des Cévennes. Enfin, ce suivi permettra d'augmenter nos connaissances sur le sujet, les données capitalisées pouvant être mobilisées par la suite dans d'autres études.

1.2. Proposition d'indicateurs

Ce suivi ne pourra être réellement significatif qu'en s'appuyant sur des variables donnant des informations précises sur la pratique du brûlage sur le territoire. Ces données peuvent être classées en cinq catégories qui sont composées de plusieurs variables :

- **Informations sur le brûleur** (variables : identifiant de l'exploitant / son âge) :
Cela permettra d'évaluer le nombre de personnes pratiquant le brûlage et de se rendre compte si il y a un vieillissement chez elles ou si au contraire il y a un renouvellement générationnel ;
- **Situation géographique du brûlage** (variables : localisation / région agricole / département / altitude où se situe la zone à brûler / distance par rapport aux zones exposées (forêts, landes, garrigues et habitations)) :
Ces variables vont permettre de dresser une carte des brûlages faits sur le territoire, d'identifier les régions agricoles les plus concernées, voire les spécificités organisationnelles et réglementaires de chaque départements, si l'altitude impact sur le brûlage (brûlage plus présent selon l'altitude ou des débordements plus fréquents) et enfin si il y a la présence de zone(s) à risque à proximité du brûlage.
- **Périodes de brûlage** (variables : date où le brûlage a été fait / date du brûlage antérieur / périodicité des brûlages sur la zone) :
Les données qui en ressortiront permettront de voir la répartition des brûlages dans le temps et d'évaluer la récurrence des brûlages sur la même parcelle.
- **Techniques employées pour le brûlage** (variables : surface brûlée / surface initialement prévue / si il y a eu un débordement / objectif(s) derrière le brûlage / technique mise en œuvre / si il y a eu un appui technique / quel est l'usage de la parcelle qui est brûlée) :
Ces variables permettent d'estimer la surface totale brûlée, le taux de réussite des brûlages et si les débordements sont fréquents, mais aussi de classifier les brûlages en fonction des objectifs recherchés. Elles vont mettre en avant si les techniques employées sont traditionnelles ou non, de déterminer la répartition entre les brûlages faisant l'objet d'un appui technique des autres et enfin de classifier les surfaces brûlées en fonction de leur usage.
- **Environnement et contexte du brûlage** (variables : si il y a un objectif pastoral / quelle végétation recherché et pour quel animaux / le type de milieux où se fait le brûlage / son sol / la météo le jour du brûlage / si il y a à proximité une zone Natura 2000 / si il y a à proximité une zone cœur parc) :
Ces informations vont permettre de comprendre l'objectif qu'il y a derrière chaque brûlage pastoral, de classifier les surfaces brûlées selon leur faciès de végétation, si les conditions le jour du brûlage sont favorables et enfin si le brûlage entre dans un contexte environnemental (préservation de la faune et/ou de la flore présent sur le chantier).

Toute ses données ne sont pas accessibles via des documents tel que les déclarations de brûlage car certaines sont très précises et techniques. Il faudrait alors avoir recourt à un travail d'enquête auprès des personnes maniant le feu. Cela concerne les données suivantes : l'âge de la personne pratiquant le brûlage, les brûlages antérieurs de la parcelle, la périodicité des brûlages sur celle-ci, s'il y a eu un débordement lors du chantier, l'objectif du brûlage, la technique utilisée, s'il

y a eu un appui technique (de la part des pompiers), quel usage est fait de la parcelle brûlée, la végétation présente, l'état du sol.

Les seules informations qui pourront être récoltées sans élaborer une enquête sont tout ce qui touche à la situation géographique, à l'identité de la personne qui met en place le chantier de brûlage, la date et la superficie. Elles sont accessibles grâce aux déclarations de brûlages mais aussi grâce à la télédétection.

1.3. Les gisements de données

- **Les déclarations d'écobuage et demandes d'assistance**

Il en est ressorti de manière générale que les déclarations ne fournissent pas assez de données permettant un suivi efficace sur ces activités pastorales. De plus, si une demande est faite, l'écobuage est réalisé mais il reste tout de même difficile de le confirmer. L'analyse des déclarations permettra tout de même de donner de bons indicateurs sur la régularité du brûlage sur les parcelles ou sur les régions les plus brûlées. Celle-ci pourrait s'accompagner d'enquêtes téléphonique pour affiner l'analyse de celles-ci.

Ces déclarations se font à l'année ou encore au mois, elles désignent où se font les brûlages (commune, numéro de parcelle cadastrales) et une surface approximative. Mais le fait que ces documents soient nominatifs (on y trouve le nom, le prénom et parfois le numéro de téléphone de la personne déclarant) rend difficile le partage de ces informations pour une question d'anonymat.

	Informations communes aux quatre départements	Autres informations
Gard	Nom, prénom, commune, numéro de parcelle, lieu dit, superficie de ce qui est brûlé.	si le déclarant est le propriétaire ou un ayant droit, si le brûlage se fait sur végétation sur pied ou coupé, la période du brûlage
Aveyron		adresse personnel, numéro de téléphone, superficie total de la parcelle, numéro de section, nature de la végétation, nature des espaces combustibles proches, période de brûlage (maximal une semaine)
Lozère		adresse personnel, numéro de téléphone, si le déclarant est le propriétaire ou un ayant droit, numéro d'îlot(s) PAC, si la zone est situé en zone cœur du parc, l'altitude ou se situe la parcelle.
Hérault		adresse personnel, numéro de téléphone, si le déclarant est le propriétaire ou un ayant droit, si le brûlage se fait sur végétation sur pied ou coupé + joindre un plan de situation (1/25000ème).

Tableau comparatif du contenu des déclarations de brûlage des départements du Gard, de l'Aveyron, de la Lozère et de l'Hérault

- **Le suivi des chantiers de brûlages dirigés réalisés par les cellules départementales**

Chaque cellule de brûlage des départements du territoire n'a pas le même fonctionnement et le même mode de récolte de données :

- **Gard** : Le SDIS échange avec la Chambre d'agriculture les données concernant les brûlages entrant dans le cadre DFCI. Ainsi, la Chambre d'Agriculture répertorie ces zones brûlées avec des cartes prévisionnelles de ce qui devrait être fait et de ce qui a été fait. La bonne communication au sein de cette cellule de brûlage, animée par la Chambre d'Agriculture, permet un bon échange des données et donc une bonne connaissance de toutes les activités liées au feu sur le département.
- **Aveyron** : L'utilisation du feu lors de chantiers DFCI était assurée par le Parc Naturel des Grands Causses jusqu'en 2009. Ces brûlages ont pris fin à cette période suite à un grand incendie suite à un débordement lors d'un chantier. Par la suite, plus aucun brûlage n'a été fait par les personnes du parc. En 2015, le SDIS de l'Aveyron a décidé de prendre le relais en créant une cellule de brûlage. Celle-ci, animé par le SDIS, est encore trop récente, les données sur les brûlages DFCI sont faibles. Il faut encore du temps à cette cellule de brûlage pour se développer.
- **Hérault** : Cette cellule mise en place depuis 2018 est animée par le SDIS. Les données sur les brûlages fait sur le département sont pour l'instant très faibles car la cellule existe depuis peu, mais un système d'échange est en train de se mettre en place. En effet, le SDIS et la Chambre d'Agriculture sont en train de travailler sur un moyen de récolter les données liées aux brûlages pastoraux faits sur le département. Cela consisterait à ce que le SDIS communique les données fournis lors des appels téléphoniques passés par les agriculteurs les jours de brûlage. Effectivement, il ne faut pas oublier qu'il est obligatoire pour un agriculteur faisant un brûlage pastoral d'appeler les pompiers le jour même du chantier et de donner quelques informations sur la localisation du chantier. Cette méthode est encore expérimentale, elle rencontre des quelques difficultés. Mais en l'améliorant, elle pourrait bien permettre de faire un suivi complet des brûlages sur le département.
- **Lozère** : Le Pôle DFCI, qui fait office de cellule de brûlage, est animé par la DDT. Il y a peu de données sur les brûlages fait sur ce département. Cela est en partie due au peu d'échange de données entre les différents acteurs composant ce Pôle. Les données les plus complètes sont celles concernant le brûlage fait sur le Mont-Lozère, ce qui représente une petite partie du département. Cela n'est pas représentatif de tous ce qui se fait en Lozère qui est le département où il y a le plus de brûlages sur le Territoire des Causses et des Cévennes.

- **Les images satellites**

Les images satellites sont des photographies de la terre prises par l'intermédiaire d'un capteur installé sur un satellite en orbite autour de la terre. Parmi les grandes missions d'observation de la terre par satellite actuelles nous pouvons citer le programme pionnier Landsat initié au début

des années 70 par les États-Unis, le programme français SPOT lancé au milieu des années 80 et le programme Européen Copernicus opérationnel depuis 2014.

Le programme Copernicus s'appuie sur une constellation de satellites appelée Sentinel. Dans la lignée du programme Landsat, la mission Copernicus se veut être un service d'intérêt général, à ce titre la réutilisation des images est largement facilitée par une licence ouverte, la mise en place d'infrastructure web de diffusion et d'accès aux images, et la mise à disposition d'outils logiciels de traitements avancés. Les données Sentinel sont aujourd'hui une référence scientifique incontournable pour l'observation de l'environnement.

L'intérêt majeur des observations par satellite réside dans la répétitivité des acquisitions permettant la constitution de série temporelles sur des pas de temps courts. Par exemple les deux satellites optiques de la mission Copernicus permettent d'atteindre une répétitivité de 5 jours pour un même site soit 5 à 6 acquisitions par mois. A titre de comparaison la constitution des référentiels d'orthophotographie sur le territoire Français réalisés par avion s'appuie sur un cycle de production de 3 ans. La haute répétitivité des images satellites est particulièrement adaptée à l'observation fine de l'évolution de la végétation et leur disponibilité quasi instantanée pour l'utilisateur final permet l'observation d'évènements récents dans des délais très courts.

Autre avantage, les capteurs embarqués sur les satellites sont le plus souvent dimensionnés et adaptés pour le suivi de la végétation en permettant des mesures dans l'infrarouge. Cette caractéristique ouvre de nombreuses possibilités et applications pour l'observation des changements environnement. En particulier, la capacité de détection des zones brûlées sur la base d'images satellites est largement démontrée et documentée dans littérature scientifique (Chuviéco et al., 2019).

Ces caractéristiques font des données satellites une source d'information complémentaire et crédible pour le suivi des brûlages pastoraux. Néanmoins la mise en place d'une méthode fiable et robuste nécessite l'acquisition de compétences dans le traitement de ce type de données et un travail de recherche méthodologique non négligeable.

2. Approche méthodologique

2.1 Démarchage et conventionnement auprès des acteurs

Lors d'entretiens avec différents acteurs institutionnels en relation avec l'utilisation du feu, (SDIS et DDT(M) des 4 départements concernés et Sous-Préfecture de la Lozère), nous avons sollicité la mise en place de convention pour l'échange de données concernant les brûlages pastoraux. En effet, ils sont responsables de la gestion des données (si il y en a) liées aux brûlages DFCI et pastoral. La gestion de ces données ainsi que sa quantité et sa qualité ne sera pas la même selon le département. En Lozère, c'est la Sous-Préfecture qui s'occupe de toutes les données (déclarations et demande d'assistance auprès du SDIS) étant donné qu'elle gère les déclarations et qu'elle pilote le pôle DFCI. Dans l'Hérault, le SDIS gère les données liées au brûlage DFCI qui sont cartographiées avec l'aide de l'ONF, ils ne sont recensés que depuis récemment ce qui fait

qu'ils ne seront disponibles que dans un futur proche. Dans l'Aveyron, c'est aussi le SDIS qui s'occupe des demandes d'assistance de brûlage depuis l'année 2015. Dans le Gard, c'est la Chambre Régionale d'Agriculture qui gère les données concernant le brûlage DFCI car c'est elle qui anime la Cellule de Brûlage.

Les données touchant aux déclarations dans l'Hérault et dans le Gard ne pourront pas être mis à disposition de l'Entente car la DDT de l'Hérault considère que l'anonymat des déclarants doit être respecté et les déclarations du Gard sont envoyées aux mairies mais n'en sortent pas et elles ne sont pas traitées (il faudrait aller contacter chaque mairies concernés par ce document pour se le procurer).

Afin de pouvoir mobiliser ces informations dans le but de compléter l'état des lieux des pratiques traditionnelles liées au feu, nous avons rédigé une convention relative à l'échange de données concernant le brûlage pastoral sur le territoire des Causses et des Cévennes (annexe). Le but est de pouvoir garantir un suivi régulier de ces pratiques et cela sur un laps de temps indéterminé.

Grâce à cet outil, un échange d'informations a pu s'établir avec les différents acteurs ayant la responsabilité des informations recherchées. Cela concerne les SDIS 34 et 12 ainsi que la Chambre Régionale d'Agriculture d'Occitanie qui fourniront des données concernant le Brûlages DFCI se déroulant sur les départements de l'Hérault, de l'Aveyron et du Gard. D'autre part, une convention a aussi été signée avec la Sous-Préfecture de la Lozère pour ainsi pouvoir nous fournir les déclarations de brûlage fait en Lozère ainsi que les demandes d'assistance du SDIS.

Tableau récapitulatifs des données qui ont/seront récoltées et des conventions qui sont/seront signées.		
	Déclarations	Données DFCI
Hérault (34)	La DDTL n'a que des déclarations brute, sans traitement. Elle souhaite pas fournir ces données pour une raison d'anonymat.	Proposition de signer une convention avec le SDIS pour un échange de données futur. La base de données est toujours en cours d'élaboration
Lozère (48)	Convention signée avec la sous-préfecture	Convention signée avec la sous-préfecture pour fournir les demandes d'assistance du SDIS
Aveyron (12)	La DDT reçoit les déclarations mais n'en fait rien. Une convention avec l'Entente est possible pour consulter les déclarations sur place est constituer un tableau anonyme	Données géographiques pouvant être fournies par le SDIS, après signature de la convention
Gard (30)	Les déclarations sont envoyées en mairie et y restent, il faudrait contacter chaque mairie concernée par ce document.	Données géographiques fournies par la cellule du Gard avec convention

Ces démarches pour la récolte de données doivent se poursuivre. La récolte est pour le moment insuffisante car encore récente, mais les démarches ont tout de même permis d'ouvrir le dialogue avec les acteurs contactés. L'amélioration des suivis des brûlages sur les départements permettra par la suite d'avoir une récolte plus massive. Cela fera progresser l'étude des activités liées au feu sur le territoire.

Les difficultés de récolte des données sur les brûlages pastoraux dues à la présence d'informations personnelles dans les déclarations pourraient être résolues en anonymisant en amont les données concernant les déclarants. Si cette situation était débloqué, le dépouillement des déclarations papier resterait malgré tout long et fastidieux. De plus, les informations données sur ces documents sont parfois incomplètes ou pas assez précises. Si ce travail s'avérait ne pas être la solution, il serait peut-être plus efficace de faire directement un travail d'enquête auprès des agriculteurs pour récolter les données recherchées.

2.2. Télédétection des brûlages pastoraux : une première expérimentation

Dans le cadre de ce stage nous nous sommes fixé pour objectif de réaliser une première expérimentation afin d'évaluer concrètement l'efficacité de la télédétection appliquée à l'observation des brûlages pastoraux, les difficultés qui lui sont associées et les perspectives possibles.

a) Principes de la télédétection appliquée aux zones brûlées

La télédétection correspond aux techniques d'observation d'un objet terrestre à distance par mesure des rayonnements électromagnétiques émis ou réfléchis dans certains domaines de fréquences. On utilise pour cela des instruments optiques, laser ou encore radar embarqués dans un avion ou un satellite.

Les instruments optiques fonctionnent dans des longueurs d'onde situées entre l'ultraviolet et l'infrarouge et mesure l'énergie solaire réfléchi par la surface terrestre. Ces mesures sont ensuite converties en un pourcentage de réflectance qui correspond au ratio entre l'intensité lumineuse reçue et l'intensité lumineuse réfléchi. La réflectance étant indépendante du niveau d'irradiation solaire c'est une grandeur qui autorise la comparaison directe d'acquisitions prises à des saisons et des horaires différents.

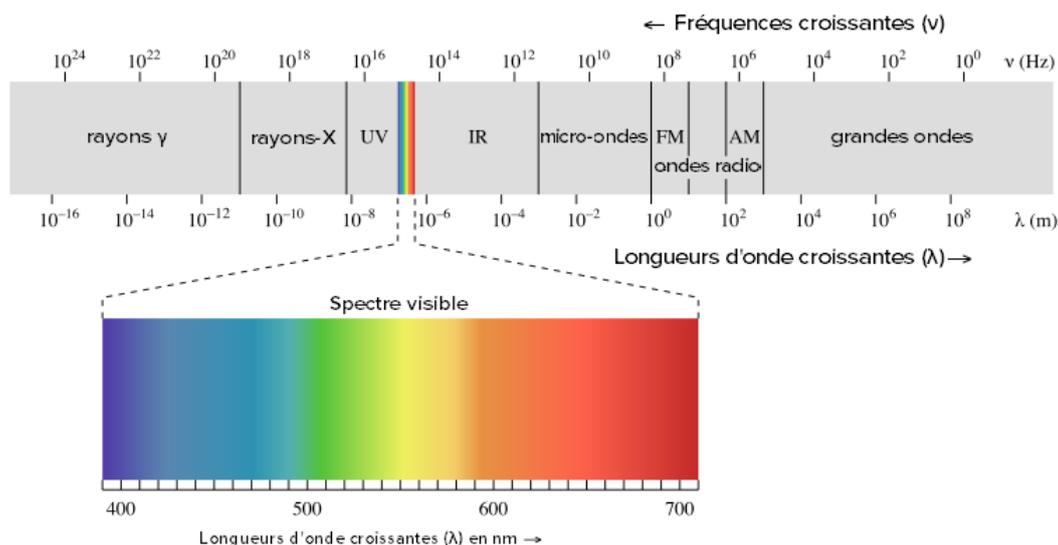


Figure 1: Représentation du spectre électromagnétique (source Wikipedia)

L'observation multispectrale est une des caractéristiques les plus intéressantes des images satellitaires comparativement aux photos aériennes traditionnelles. En effet, les capteurs optiques installés sur les satellites sont conçus pour mesurer l'intensité lumineuse dans différents domaines du spectre électromagnétique et pas uniquement dans le visible. L'intérêt des observations multispectrales et de pouvoir caractériser la surface terrestre en fonction de son comportement spectral, c'est à dire de sa capacité à adsorber ou refléter plus ou moins de lumière dans différentes longueur d'onde.

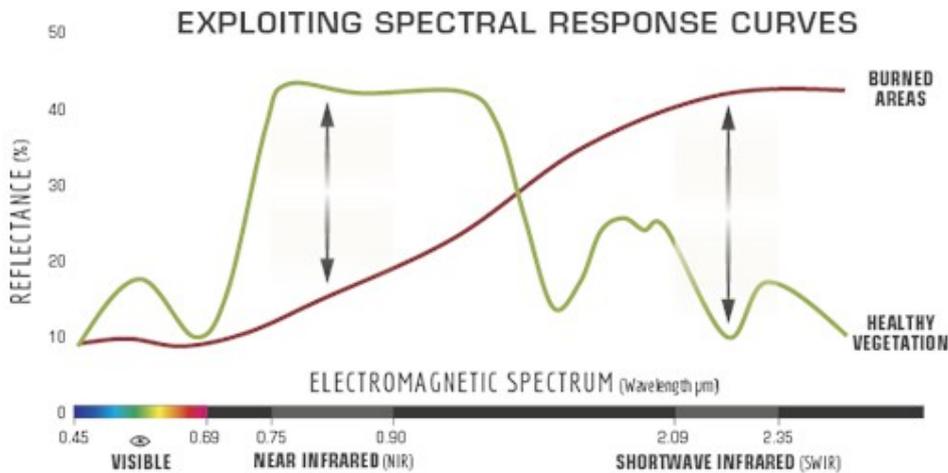


Figure 2: Comparaison du comportement spectral des zones de végétation saine et des zones brûlées (Source US Forest Service)

Le graphique ci-dessus présente une comparaison du comportement spectral caractéristique de la végétation avec celui d'une zone brûlée. La signature spectrale de la végétation se traduit par une réflectance relativement faible dans le visible avec néanmoins un pic dans le vert, puis une réflectance élevée dans le proche infrarouge et moindre dans le moyen infrarouge. Connaissant le comportement spectral d'un phénomène à observer il est possible de définir des indicateurs permettant d'en caractériser l'intensité. Concernant la végétation, l'indicateur le plus couramment utilisé est le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Zammit, 2008), il correspond à la différence normalisée entre la réflectance dans le proche infrarouge (PIR) et la réflectance dans le rouge (R).

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R}$$

Ainsi le NDVI s'appuie sur le comportement spectral caractéristique de la végétation (forte réflectance dans le PIR et forte absorption dans le rouge) pour quantifier l'intensité de l'activité

chlorophyllienne. Le NDVI est compris entre -1 et 1, une valeur élevée traduit la présence d'une végétation dense et active. Le NDVI peut être mobilisé dans le cadre de la détection des zones brûlées au travers d'une approche multi-temporelle, c'est à dire en comparant des images avant et après brûlage (Zammit, 2008 ; Fornacca, Ren, Xiao, 2018). Le calcul de la différence entre les NDVI de chaque image permet d'identifier les changements brusques ayant impacté la végétation, néanmoins le NDVI ne permet pas de présager de l'origine de ce changement (coupe rase, brûlage ou autre).

Le comportement spectral des zones brûlées révèle quant à lui une signature opposée à celle de la végétation. En effet les zones brûlées ont une réflectance plus élevée dans le Moyen infrarouge (MIR) et plus faible dans le PIR. L'indicateur le plus souvent utilisé pour la détection des zones brûlées est le NBR (Normalized Burn Ratio) (Chuvieco et al., 2019) dont la construction est analogue au NDVI : il s'agit de la différence normalisée entre le MIR et le PIR.

$$NBR = \frac{MIR - PIR}{MIR + PIR}$$

Le NBR peut être mobilisé pour la détection des zones brûlées par une approche uni-temporelle, c'est à dire sur la base d'une seule image après brûlage (Carlà et al. 2011). Le NBR se lit de façon similaire au NDVI : une valeur proche de 1 indique la présence d'une végétation saine et dense, une valeur proche ou inférieure à zéro traduit l'absence de végétation et un comportement spectral similaire à celui d'une zone brûlée laissant présager de l'origine de cette absence de végétation (US Forest Service, 2006).

Néanmoins l'indicateur est réputé pour être sensible à d'autres types de surface en particulier les zones artificialisées, les zones en eau, les sols nus ou encore les surfaces enneigées (Hammarström, 2018 ; Chuvieco et al., 2019). L'approche multi-temporelle appliquée à l'indicateur NBR permet le plus souvent d'améliorer l'efficacité de la détection des zones brûlées (Chuvieco et al., 2019 ; McKenna et al., 2018 ; Bluecham, 2013). En effet la différence entre le NBR avant et après brûlage (ΔNBR) permet de qualifier un changement soudain dans la couverture végétale et de filtrer les surfaces dont le NBR est faible mais ne varie pas au cours du temps telles que les surfaces artificialisées. Les valeurs de l'indicateur ΔNBR varient entre -2 et 2 et peuvent se lire comme un indice de sévérité. A ce titre, le service forêt du Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA), propose la classification suivante mise au point dans le cadre du projet FIREMON (Fire Effects Monitoring and Inventory System) (US Forest Service, 2006):

<= 0,1	non brûlé
0,1 à 0,27	faible sévérité
0,27 à 0,44	sévérité modérée 1
0,44 à 0,66	sévérité modérée 2
> 0,66	forte sévérité

En revanche, le Δ NBR peut causer d'autres types de confusions, en particulier la présence de neige ou de nuages sur l'image après brûlage entraîne un pic de réflectance dans le MIR et donc un Δ NBR élevé (US Forest Service, 2006). De même, comme l'indicateur NBR est sensible au sol nu, le calcul du Δ NBR peut entraîner d'importantes confusions au niveau des zones cultivées causées par des différences dans l'état de labourage des terres (Hammarström, 2018 ; Chuvieco et al., 2019). Un labour présent sur l'image après brûlage et non présent sur l'image avant brûlage pourra en effet être interprété comme une zone brûlée.

b) Choix des sources d'images

Le choix des sources d'images les plus adaptées est un préalable important est dépend de plusieurs facteurs :

- la résolution spatiale : elle correspond à la taille en mètres d'un pixel de l'image. Plus la résolution spatiale est faible et plus il sera possible de caractériser des phénomènes de faible superficie (Bluecham, 2013). Néanmoins en matière d'observation de l'environnement des résolutions très faibles ne sont pas toujours souhaitables d'une part car cela accroît considérablement le volume des données et les capacités informatiques nécessaires à leur traitement et d'autre part le niveau de détail élevé complexifie l'interprétation visuelle des résultats (GSARS, 2017). Par exemple, dans le cas de la détection de zones brûlées, si l'on souhaite observer les brûlages d'au moins 0,5 ha avec une image ayant une résolution de 20 mètres, la détection sera effective pour un minimum de 12 pixels contiguës ce qui est significatif et suffisant pour délimiter précisément ces zones. La relation entre la résolution spatiale, l'échelle de précision et la taille des objets reconnus sans ambiguïté permet d'opérer une première sélection de capteurs (Bluecham, 2013).
- la résolution spectrale : elle correspond au nombre de bandes spectrales observées par le capteur. Pour la détection des zones brûlées par l'intermédiaire de l'indice NBR, il est nécessaire de disposer de mesures dans le proche et dans le moyen infrarouge.
- la répétitivité : il s'agit de la fréquence des observations pour un même secteur, elle conditionne la constitution de séries temporelles adaptées au phénomène observé. Pour la détection des brûlages pastoraux il est nécessaire de pouvoir mobiliser des images en période hivernale (moment de réalisation des chantiers) ou bien au début du printemps, les images suivantes étant moins significatives compte-tenu de la reprise de la végétation post-brûlage qui potentiellement peut être très rapide. Le choix de la période d'observation est un paramètre critique pour la détection de zones brûlées (Chuvieco et al., 2019 ; US Forest Service, 2006).
- le niveau de traitement : les images satellites sont le plus souvent livrées géoréférencées, orthorectifiées et en valeurs de réflectance. De manière conventionnelle ce niveau de traitement est désigné par la référence 1C. Les valeurs délivrées par les images de niveau 1C correspondent à la réflectance mesurée au-dessus de l'atmosphère. Or, cette mesure subit l'influence de l'atmosphère dont la composition varie et impacte la transmission des flux lumineux. Ce phénomène limite donc les possibilités de comparaison directe entre images prises dans des conditions atmosphériques différentes. Pour contourner cette limite, il est

nécessaire d'appliquer des modèles atmosphériques permettant de calculer la réflectance au niveau du sol, ce niveau de traitement est désigné par la référence 2A. Enfin il est possible de profiter de la répétitivité des observations pour réaliser des moyennes mensuelles. Ce traitement, désigné par la référence 3A, permet de compenser les aléas d'observation (nuages, neige, ombres...) en lissant les valeurs ; on obtient ainsi une image de meilleure qualité générale. Dans le cas de la détection des brûlages pastoraux, ce dernier niveau de traitement est intéressant pour des observations après la saison de brûlage mais sera peu adapté pour mettre en évidence un brûlage intervenu au cours de l'intervalle d'observation ayant fait l'objet d'une moyenne statistique. D'une manière générale, l'approche multi-temporelle implique de travailler à minima avec des images de niveau 2A.

- la fauchée : il s'agit de la superficie couverte par une seule image. La fauchée idéale est celle qui permet de couvrir l'ensemble de la zone à étudier en une seule prise de vue. En effet, il est difficile d'obtenir une image cohérente par assemblage de plusieurs images compte-tenu des variations atmosphériques et d'angle de visée. La fauchée est généralement corrélée à la résolution spatiale : les instruments proposant les plus grandes fauchées sont aussi les plus grossiers.
- coût et accessibilité : de plus en plus les programmes gouvernementaux d'observation de la terre appliquent une politique de diffusion ouverte des données produites (Landsat, Copernicus, ASTER) garantissant ainsi un accès libre, gratuit et entier aux images (GSARS, 2017). Les prestataires commerciaux s'orientent quant à eux sur la très haute résolution spatiale (<4m) (GSARS, 2017).

Considérant l'ensemble de ces critères nous avons fait le choix de nous orienter vers les images produites dans le cadre de la mission européenne Copernicus par le couple de satellites optiques Sentinel-2. En effet leurs caractéristiques sont en adéquation avec les besoins identifiés pour la détection des brûlages pastoraux :

- observation multispectrale incluant des bandes dans le PIR et le MIR
- résolution spatiale de 10 à 20m pour les bandes spectrales nous intéressant
- répétitivité de 5 jours
- fauchée de 290km
- licence ouverte et infrastructures web de mise à disposition
- niveau de traitement 1C, 2A et 3A
- tuilage suivant une grille prédéfinie (110x110km) facilitant le référencement des images (index spatial)
- opérationnel depuis 2014

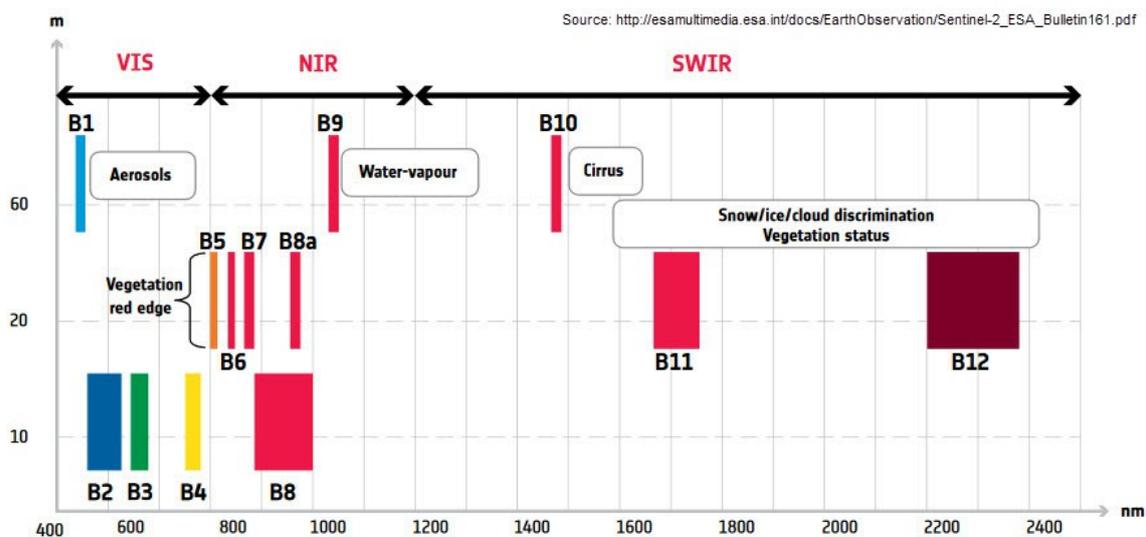


Figure 3: Représentation des fenêtres spectrales mesurées par le capteur installé sur les satellites de la mission Sentinel-2 (Source ESA)

Le calcul de l'indicateur NBR peut être réalisé en mobilisant la bande 8 pour le PIR et la bande 12 pour le MIR (Filipponi, 2018). Une autre alternative est d'utiliser pour le MIR la bande 11 de plus courte longueur d'onde, l'indice obtenu est alors dénommé NDII (Normalized Difference of Infrared Index) (Carlà et al. 2011 ; Fornacca, Ren, Xiao, 2018) et produit des résultats similaires (Chuvieco et al., 2019).

Les données Sentinel-2 sont accessibles directement depuis l'infrastructure web de la Commission Européenne développée par l'Agence spatiale Européenne (ESA). Parallèlement le Centre National d'Étude Spatiales (CNES) a développé sa propre Plateforme d'Exploitation des Produits Sentinel (PEPS) afin de faciliter la réutilisation des données au niveau national. Enfin, il faut souligner les efforts du pôle Theia qui contribue également à la diffusion des produits Sentinel. Theia est une structure nationale scientifique et technique regroupant 9 institutions publiques françaises¹ impliquées dans l'observation de la terre et les sciences de l'environnement. Le pôle de données et de services Theia a pour vocation de faciliter l'usage des images issues de l'observation des surfaces continentales depuis l'espace. À cette fin il met à disposition de la communauté scientifique une importante bibliothèque d'images satellitaires (SPOT, Landsat, Sentinel) ainsi que des méthodes et services de traitement. En particulier Theia est à l'origine de la chaîne de traitement MUSCATE (MUlti Satellite, multi-CApteurs, multi-TEmporelles) qui permet de proposer gratuitement des données corrigées au niveau 2A et 3A. Theia est actuellement le seul fournisseur distribuant des images Sentinel-2 au niveau 3A, c'est la raison pour laquelle nous avons privilégié l'acquisition des images depuis cette plateforme.

¹ CEA, CEREMA, CIRAD, CNES, IGN, INRA, CNRS, IRD, IRSTEA, Météo France

c) Approche méthodologique

Objectifs

Les objectifs poursuivis par cette expérimentation visaient à obtenir une première estimation de l'efficacité des techniques de télédétection appliquées à l'observation des brûlages pastoraux, et d'apporter des premiers éléments méthodologiques.

L'évaluation de la qualité de la détection peut se faire par l'intermédiaire d'une matrice de confusion (IRSTEA, 2015), ce type de tableau permet de confronter les résultats de la détection à la réalité terrain

Matrice de confusion		Référence		Erreur de commission
		Brûlé	Non brûlé	
Détection	Brûlé	Vrai positif	Faux positif	%
	Non brûlé	Faux négatif	Vrai négatif	%
Erreur d'omission		%	%	Précision globale

La matrice de confusion permet de quantifier l'erreur d'omission c'est à dire le pourcentage de brûlages réels non détectés et l'erreur de commission qui correspond au pourcentage de brûlages détectés qui n'en sont pas.

Afin de pouvoir construire cette matrice nous avons décidé de nous appuyer sur les données de référence fournies par la cellule départementale de brûlage dirigée du Gard. Ces données nous permettent de connaître les contours exacts des chantiers de brûlage dirigés menés sur l'hiver 2018-2019 et donc d'estimer l'erreur d'omission. Parallèlement pour calculer l'erreur de commission des contrôles sur le terrain seront réalisés.

Zone d'étude

Pour mener cette expérimentation nous avons défini une zone d'étude réduite en considérant les critères suivants :

- les limites des zones inscrites et tampon du territoire Causses & Cévennes
- la disponibilité des données de suivi des chantiers de brûlage dirigés sur le département du Gard
- le tuilage utilisé pour le référencement des images Sentinel-2
- les unités paysagères du territoire
- la localisation des zones d'estive collectives

Nous avons décidé de nous concentrer sur la partie gardoise du territoire en nous limitant uniquement à la zone inscrite. Nous avons pris le parti d'exclure pour le moment les zones caussenardes compte-tenu des risques de confusion avec les zones cultivées. Comme le territoire Causses & Cévennes est à cheval sur deux tuiles du découpage utilisé pour la diffusion des images

Sentinel-2 nous nous sommes limités à la tuile couvrant la partie sud du territoire. Enfin nous avons décidé d'élargir la zone au nord afin d'inclure la partie Lozérienne du Mont-Aigoual et les estives associées, et au sud afin d'inclure le bassin urbain du Vigan et constituer un zonage plus homogène. La zone d'étude obtenue se concentre donc sur les vallées cévenoles les plus méridionales et le massif du Mont Aigoual. Elle permet d'inclure l'essentiel des chantiers de brûlage identifiés dans le fichier de la cellule du Gard.

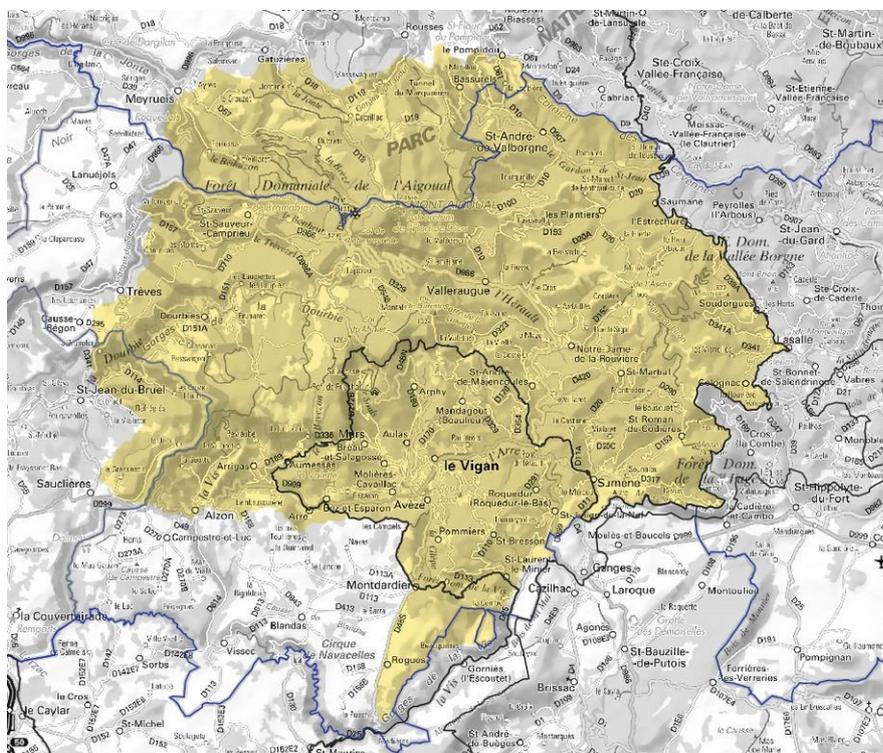


Figure 4: Délimitation de la zone d'étude

Données et logiciels

Nous avons procédé à l'acquisition d'images depuis la plateforme MUSCATE du pôle Theia suivant le schéma suivant en vue de pouvoir évaluer le meilleur scénario d'observation

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.
2018	2A	2A	2A	3A	3A	/	3A	/	3A
2019	2A	2A	2A	3A	3A	/	3A	/	3A

Les jeux de données obtenus sont composés d'un ensemble d'images au format TIFF correspondant à chaque bande d'observation spectrale du capteur. Chaque image constitue une matrice de pixel dans laquelle les pixels portent une valeur de réflectance mesurée dans la fenêtre spectrale correspondante. Les valeurs de réflectance sont multipliées par un facteur de 10000 afin de pouvoir être représentées par un nombre entier plutôt qu'un nombre décimal, cette technique permet de réduire le volume de stockage informatique.

Le traitement des images a été réalisé pour l'essentiel à l'aide du logiciel SIG open source QGIS qui offre par défaut les fonctionnalités de base pour la manipulation de données raster. D'autres boîtes à outil plus spécialisées peuvent être mobilisées de façon complémentaire notamment le logiciel OTB (Orfeo Tool Box) développée par le CNES et l'outil SNAP (Sentinel Application Platform) développé par l'ESA spécifiquement pour le traitement des données Sentinel. Ces deux outils sont sous licence opensource.

Période d'observation

Pour le calcul de l'indicateur ΔNBR , nous avons opté pour une approche interannuelle en comparant deux images prises sur la même période à une année d'intervalle. Cette approche permet de pouvoir qualifier l'ensemble de la saison de brûlage et d'avoir un état végétatif comparable entre les deux images.

Le choix de la période d'observation est déterminant pour optimiser le processus de détection des brûlages (Veraverbeke et al., 2010, Robertson, 2011). En effet, les brûlages sont réalisés en période hivernale (le plus souvent entre décembre et mars), ainsi pour obtenir une vision globale de la saison de brûlage la solution la plus simple serait de s'appuyer sur une image prise au mois d'avril or la capacité de reprise de la végétation peut être très rapide ce qui pourrait limiter l'efficacité de cette option. Afin de mieux appréhender ce phénomène nous avons tracé les courbes l'évolution de l'indice NBR pour différents chantiers de brûlage dirigé réalisés par la cellule du Gard.

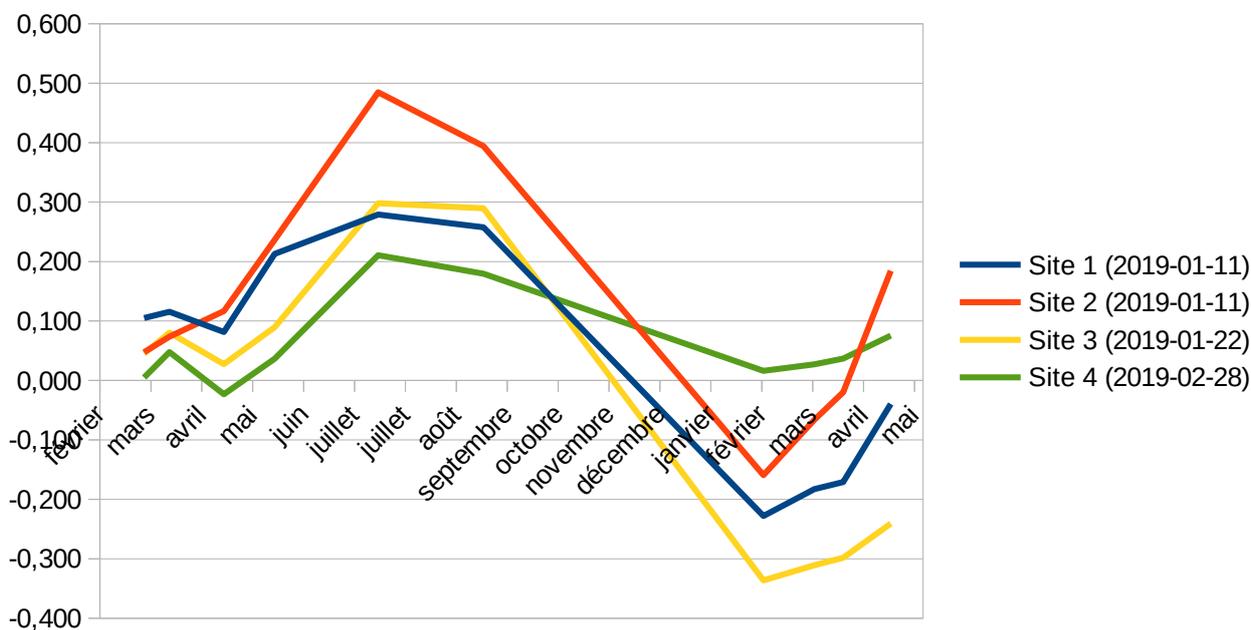


Figure 5: Evolution mensuelle du NBR pour 4 sites brûlés sur l'hiver 2018 - 2019

Pour rappel une valeur de NBR proche de zéro reflète l'absence de végétation active. Pour trois des sites observés nous pouvons constater une chute du NBR consécutive au chantier de brûlage, seule le site 4 n'est pas détecté. Le graphique permet de confirmer la rapidité de la croissance post-brûlage: en avril seuls les sites 1 et 3 sont encore bien détectables avec un ΔNBR respectivement de

0,25 et 0,33. Il est intéressant de constater qu'en période de sénescence, hors brûlage, les valeurs de NBR peuvent être déjà très faibles ce qui rend l'indice Δ NBR moins efficace sur les mois d'hiver. Par ailleurs l'utilisation d'images prises en période hivernale ne permet pas de qualifier l'ensemble de la saison de brûlage, seule la combinaison de plusieurs images prises tout au long de la période hivernale pourra permettre de reconstituer la vision globale. De fait l'utilisation des images de niveau 3A (moyenne mensuelle) est exclue sur les périodes où des brûlages ont encore lieu, ce qui ne permet pas de profiter de l'amélioration qualitative apportée par ce traitement. Enfin les images capturées en période hivernale sont davantage soumises à l'aléa neige ce qui est particulièrement contraignant en zone de montagne. Au regard de ces contraintes il nous a semblé plus simple de concentrer dans un premier temps nos efforts sur l'exploitation d'images prises à partir d'avril.

Analyse des confusions

Les premiers résultats ont permis d'identifier visuellement des confusions avec d'autres types de surfaces.

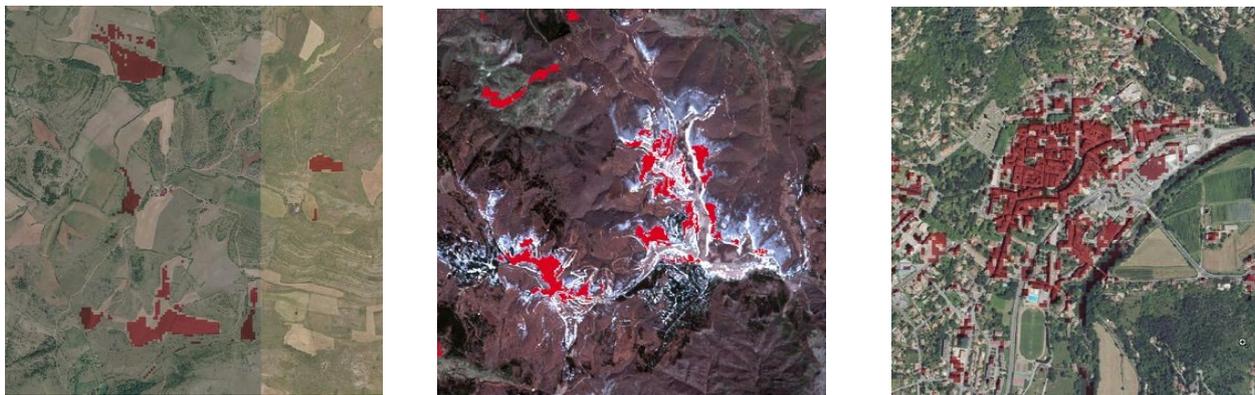


Figure 6: Illustration de faux positifs, de gauche à droite : surfaces cultivées, sommet enneigé, zone urbaine

La figure ci-dessous illustre schématiquement l'histogramme de fréquence des valeurs de l'indice Δ NBR pour une zone brûlée et une zone non brûlée. Plus les deux courbes se chevauchent et plus le risque de confusion sera important.

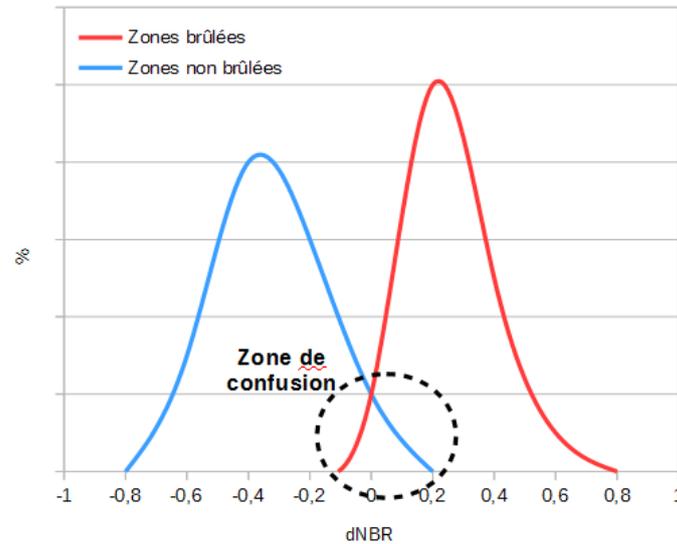


Figure 7: Histogramme représentant la distribution type de l'indice de sévérité ΔNBR pour des zones brûlées et non brûlées

L'indice de séparabilité est un indicateur permettant de quantifier la capacité de discrimination entre deux distributions spectrales. Cet indicateur est largement utilisé dans la littérature scientifique concernant la télédétection des zones brûlées (Zammit, 2008 ; Filipponi, 2018 ; Fornacca, Ren, Xiao, 2018).

$$IS = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

Un indice de séparabilité supérieur à 1 reflète une bonne séparation entre les deux distributions, à l'inverse un indice inférieur à 1 est signe de confusion.

Afin de mieux qualifier l'origine des confusions observées nous avons calculé l'indice de séparabilité entre une zone brûlées de référence et différents types d'occupation du sol fréquemment rencontrés sur le territoire inscrit. L'indice a été calculé sur plusieurs mois, sur la base des valeurs du NBR puis, dans la dernière colonne, pour le ΔNBR entre avril 2018 et avril 2019. Nous avons ensuite calculé un score pour chaque type d'occupation du sol et chaque mois qui correspond au pourcentage des observations ayant un indice de séparabilité supérieur à 1.

Typo	Avril 2018	Mai 2018	Juillet 2018	Septembre 2018	Avril 2019	Diff avril 2018-2019	Score
Cultures terrasses	1,349	1,000	0,181	0,321	0,952	1,537	0,500
Forêt conifère	2,766	0,652	1,862	2,139	2,518	1,848	0,833
Forêt feuillus	1,735	1,700	1,846	1,845	1,011	1,236	1,000
Pastoral ligneux bas denses Causses	1,992	0,183	1,216	1,150	1,646	1,873	0,833
Pastoral ligneux bas denses Cévennes	1,405	1,427	0,770	0,623	1,047	1,589	0,667
Pastoral ligneux bas éparses Causses	1,709	0,011	0,099	0,304	1,560	2,074	0,500
Pastoral ligneux bas éparses Cévennes	1,368	1,103	0,045	0,071	1,384	1,796	0,667
Pastoral pelouse Causses nu	0,858	0,274	0,716	1,432	0,802	1,631	0,333
Pastoral pelouse estive Mont Aigoual	1,219	0,227	0,096	0,317	1,291	1,915	0,500
Pastoral sous-bois	1,611	1,310	1,536	1,743	0,921	1,202	0,833
Prairie fauche Cévennes	5,200	2,483	0,312	0,561	4,622	2,199	0,667
Prairie temporaire Causses	1,895	0,952	0,270	1,343	0,825	0,786	0,333
Sol nu carrière	0,711	0,156	2,057	1,840	0,754	1,862	0,500
Surface en eau	1,530	0,997	1,534	0,475	0,836	1,041	0,500
Urbain dense	0,796	0,755	0,860	0,670	0,576	1,320	0,167
Village Causses	1,451	1,382	0,150	0,495	1,312	1,647	0,667
Village Cévennes	1,473	0,232	0,414	0,357	0,883	2,626	0,333
Zone brûlée février 2018 (forte sévérité)	0,000	0,000	0,000	0,000	1,128	2,240	
Zone brûlée février 2019 (forte sévérité)	2,223	1,604	1,044	0,900	0,000	0,000	
Score	0,789	0,421	0,368	0,368	0,526	0,895	

Figure 8: Indice de séparabilité entre zones brûlées et non brûlées par mois et par type de milieu

Les confusions les plus fréquentes portent sur les zones urbaines, les zones cultivées, les zones pastorales type pelouses ou landes, sol nu et surfaces en eau. Nous constatons que le score se dégrade au fil des mois ce qui confirme l'impact de la reprise de la végétation sur la capacité de détection : le mois d'avril est donc le plus efficace pour qualifier la saison de brûlage. Il est intéressant de constater que le score pour avril 2018 est meilleur que pour avril 2019, les changements concernent en particulier les terres labourables et prairies de fauche. Les bilans climatiques diffusés par Météo France² confirment que l'hiver 2018-2019 a été plus doux que l'hiver 2017-2018 impactant la précocité du printemps et le calendrier de labourage. Enfin le calcul de l'indice de sévérité Δ NBR entre avril 2018 et avril 2019 permet d'éliminer une grande partie des confusions concernant les invariants (surfaces dont le NBR n'évolue pas entre les deux années) mais ne permet pas de solutionner les confusions avec les terres cultivables quand l'état de labourage des parcelles diffère entre les deux images.

Discrétisation

La discrétisation est une étape importante du traitement, elle vise à discriminer clairement les zones brûlées des zones non brûlées en passant d'une données continue (valeurs de l'indice Δ NBR) à une donnée discrète (brûlée / non brûlée). La discrétisation implique de fixer un seuil permettant de séparer les deux types de zones. Or compte-tenu du chevauchement des histogrammes entre zones brûlées et zones non brûlées, il est impossible de complètement séparer ces deux catégories par seuillage simple (Carlà et al. 2011). De fait, le choix d'un seuil implique des concessions : trop faible il augmente le nombre de faux positifs, trop élevé il augmente le nombre de faux négatifs.

La classification de la sévérité (Δ NBR) des chantiers de brûlage réalisés sur l'hiver 2018-2019 permet d'estimer la capacité de séparabilité selon l'intensité du feu. Le tableau obtenu confirme la difficulté de correctement détecter les brûlages de faible intensité.

² <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques>

Typo	Faible	Modérée	Forte
Cultures terrasses	0,487	1,023	1,506
Forêt conifère	0,906	1,340	1,813
Forêt feuillus	0,136	0,732	1,210
Pastoral ligneux bas denses Causses	0,932	1,363	1,837
Pastoral ligneux bas denses Cévennes	0,555	1,075	1,557
Pastoral ligneux bas éparses Causses	1,014	1,491	2,031
Pastoral ligneux bas éparses Cévennes	0,965	1,339	1,765
Pastoral pelouse Causses nu	0,679	1,143	1,600
Pastoral pelouse estive Mont Aigoual	0,911	1,375	1,877
Pastoral sous-bois	0,161	0,721	1,177
Prairie fauche Cévennes	1,276	1,652	2,155
Prairie temporaire Causses	0,000	0,428	0,771
Sol nu carrière	0,849	1,325	1,825
Surface en eau	0,014	0,568	1,019
Urbain dense	0,327	0,847	1,294
Village Causses	0,631	1,133	1,614
Village Cévennes	2,373	2,394	2,603

Figure 9: Indice de séparabilité par niveau de sévérité et type d'occupation du sol

Un approche possible pour fixer le seuil de discrétisation consiste à estimer un degré de certitude en comparant l'écart de la valeur par rapport à la moyenne avec l'écart-type de la distribution (IRSTEA, 2015).

ΔNBR	Degré de certitude
$\geq m + \sigma$	faible
$\geq m + 2 * \sigma$	moyen
$\geq m + 3 * \sigma$	fort

De manière empirique, sur notre essai de différence entre avril 2018 et avril 2019, il nous a semblé que le meilleur compromis était atteint pour un seuil correspondant à une valeur distante de la moyenne d'au moins 3 écarts-types, soit ici une valeur de 0,34.

Le processus de discrétisation peut s'achever par les 3 étapes suivantes :

- **la classification** : cette opération permet d'affecter chaque pixel à un nouveau groupe, dans notre cas les zones brûlées et les zones non brûlées. La classification peut se résoudre par une expression conditionnelle : si le ΔNBR est inférieur au seuil de détection fixé alors attribuer la valeur 0 sinon attribuer la valeur 1. On obtient ainsi un raster binaire.

- **le tamisage** : cette opération permet de réduire l'effet « poivre et sel » de l'image obtenue après classification en supprimant les pixels isolés et en renforçant la cohérence des agglomérats de pixels. Il s'agit d'un filtre majoritaire : pour chaque pixel on analyse les valeurs voisines et on affecte la valeur ayant la plus forte occurrence. On peut ici fixer un critère de taille minimum.

- **la vectorisation** : le processus de discrétisation autorise le passage du mode raster au mode vecteur. Les polygones obtenus peuvent ensuite être associés à des données attributaires ce qui facilite l'analyse qualitative postérieure.

Masques

Pour améliorer l'efficacité de la détection il faut pouvoir réduire le seuil de discrétisation en limitant l'augmentation des faux positifs. Le meilleur levier pour atteindre cet objectif et de filtrer davantage les zones géographiques d'intérêt en appliquant des masques thématiques.

Les masques d'exclusion identifient les types d'occupation ou d'usage du sol non concernés par l'activité pastorale et pouvant générer des confusions. Nous avons identifié les thématiques et les sources de données potentiellement mobilisables pour la constitution des masques :

- **Terres cultivées** : l'activité de labourage des terres cultivées est à l'origine de fréquentes confusions après calcul du ΔNBR , particulièrement sur les Causses qui concentrent l'essentiel des zones cultivées du territoire. Il est donc indispensable de pouvoir exclure ces surfaces. Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) est certainement la source d'information la plus fiable pour cette opération. Le RPG représente la délimitation de toutes les parcelles ayant fait l'objet d'une demande de subvention au titre de la Politique Agricole Commune (PAC). Les parcelles déclarées sont associées à un code culture permettant d'identifier son usage agricole. Sur la base de la nomenclature des codes cultures utilisés il est facile de constituer un masque des zones cultivées en regroupant les catégories *prairie permanente*, *fourrage*, *légumineuse fourragère* et *céréale*. Sans être exhaustif le RPG s'avère particulièrement efficace pour cet exercice. A terme il pourrait être avantageux de coupler le RPG avec la base de données d'occupation du sol à grande échelle de l'IGN qui sera disponible sur l'ensemble du territoire Causses et Cévennes d'ici septembre 2019.
- **Zone en eau** : pour exclure les rivières ou lac nous pouvons nous appuyer sur la BD Carthage qui constitue le référentiel Français du réseau hydrographique.
- **Zones urbaines** : bien qu'au final elles génèrent peu de confusion après calcul du ΔNBR , intégrer un masque des zones urbaines dans le processus de traitement permettra de renforcer la robustesse de la détection. La BD Topo de l'IGN constitue la donnée la plus détaillée et la plus exhaustive concernant le bâti. Les données d'occupation du sol plus généraliste type Corine Land Cover sont trop grossières dans notre cas.
- **Aléas d'observations** : les aléas liés à la couverture nuageuse, l'enneigement ou les effets d'ombrage sont identifiés au cours de la chaîne de traitement MUSCATE, ainsi les données diffusées par le pôle Theia sont livrées avec des masques qu'il convient de prendre en compte. Concernant l'enneigement nous avons constaté que le masque fourni manque de précision, en effet la couverture neigeuse se visualise facilement sur les images en couleurs naturelles ce qui permet d'estimer la qualité du masque. Il s'avère que Theia diffuse également un produit spécifique pour le suivi du manteau neigeux à partir des données

Sentinel-2. L'algorithme de détection ici employé³ donne des résultats plus proches de la réalité. L'exploitation d'images prises en période hivernale devra donc systématiquement être couplée au produit neige diffusé par Theia.

- **Falaises** : les zones de fort relief peuvent générer d'importants effets d'ombrage, en particulier si la pente est orientée nord. Il peut être pertinent d'identifier et exclure systématiquement ces secteurs. Le calcul des pentes et de leur orientation à partir d'un modèle numérique de terrain est le moyen le plus simple et efficace pour identifier ces zones.

A l'inverse un masque d'inclusion permet de filtrer la zone d'étude en identifiant les secteurs où le phénomène à observer est susceptible d'apparaître. Dans notre cas, il s'agirait donc d'identifier les zones à usage pastoral. Le RPG est la seule donnée existante permettant d'identifier les parcelles dont l'usage pastoral est avéré. Néanmoins nous savons d'expérience que le RPG est loin d'être une information exhaustive en ce qui concerne cette catégorie de surface. Par ailleurs les opérations de brûlages visent bien souvent la réouverture des milieux et donc impactent des parcelles non déclarées mais qui le seront probablement l'année suivante. L'analyse de la localisation des chantiers de brûlage menés par la cellule gardoise sur le territoire inscrit pendant l'hiver 2018-2019, révèle que seule 60 % d'entre eux sont situés dans une parcelle déclarée alors qu'il nous a été confirmé que 100 % sont des brûlages à vocation pastorale.

Évaluation

Les vérifications sur le terrain ont pour objectif d'une part de déterminer la véracité des brûlages détectés et d'autre part de mieux comprendre les raisons pouvant expliquer la non détection de certains chantiers.

Sur la zone d'étude (832 km² dont 23 % de surfaces pastorales déclarée), 32 sites de brûlage ont pu être détectés pour un total de 313 ha.

3 <http://www.cesbio.ups-tlse.fr/multitemp/?p=6578>

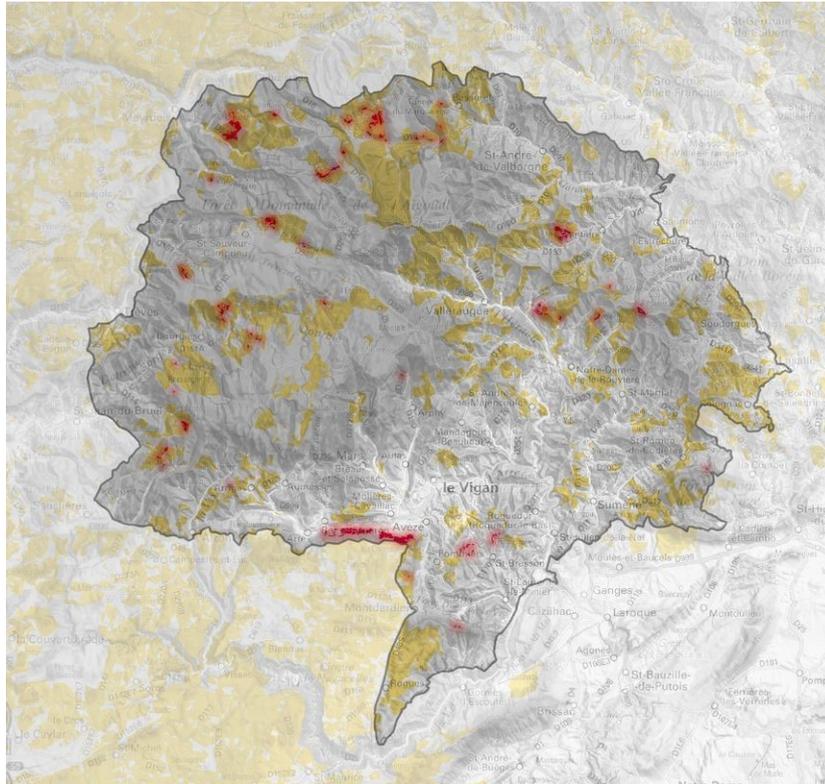


Figure 10: En rouge, les brûlages détectés sur la zone d'étude. En jaune, les surfaces pastorales.

Les visites sur le terrain ont concerné 10 de ces sites dont la moitié était des chantiers DFCI. Parmi les détections hors DFCI, nous avons pu confirmer la réalité des brûlages pour 4 sites, le seul faux positif était lié à la présence de neige sur l'image de 2019.

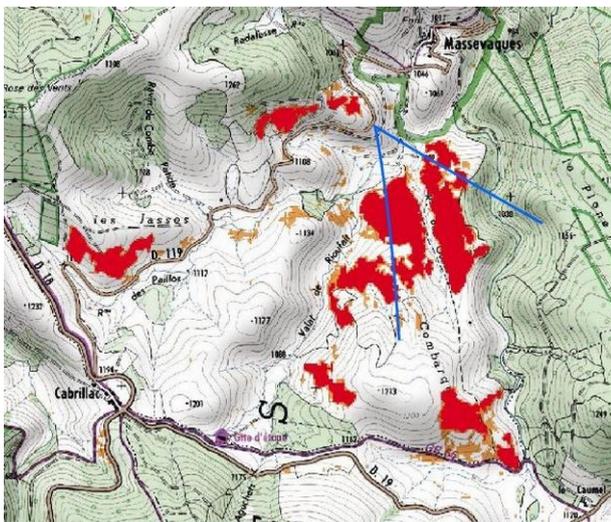


Figure 11: Exemple de détection effective sur l'estive de Massevaques (prise de vue juin 2019)

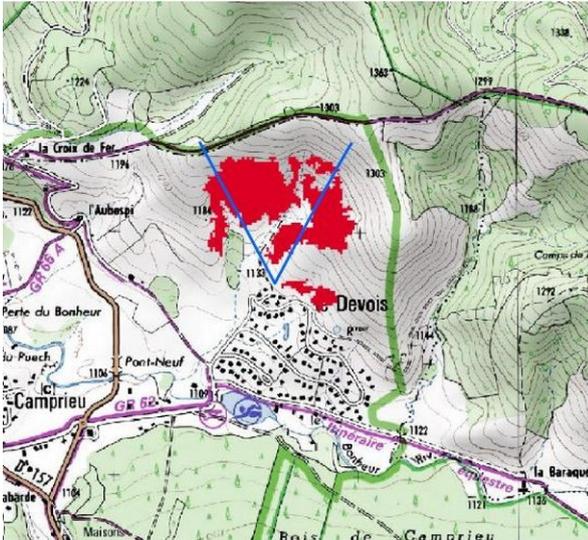


Figure 12: Exemple de détection effective autour de Camprieu (prise de vue juin 2019)

Sur les 23 chantiers de brûlages DFCI organisés sur la zone d'étude seuls 5 sont détectés (dont 3 confirmés sur le terrain) soit une erreur d'omission de 79 %. Il faut préciser ici que le seuil de détection choisi (ΔNBR) est relativement élevé (0,4). En l'abaissant à 0,3 nous pouvons détecter 4 sites supplémentaires soit une précision de 39 % (61 % d'erreur omission).

Parmi les sites non détectés deux ont pu faire l'objet d'une visite terrain. Le premier était recouvert en grande partie de fougères dont les traces de brûlage étaient encore bien visibles de façon éparse. Ce site peut être détecté avec un seuil de 0,3. Le second présentait une végétation herbacée rase et saine, les traces de brûlage sur le terrain étaient particulièrement peu visibles.



Figure 13: Site 1, présence de fougères et traces de brûlage effectives (prise de vue juillet 2019)



Figure 14: Site 2, végétation à dominante herbacée et traces de brûlage invisibles (prise de vue juillet 2019)

Les vérifications sur le terrain n'étant pas encore terminées il n'est pas possible de dresser la matrice de confusion, néanmoins ces premiers résultats traduisent une forte tendance à la sous-évaluation. En revanche la détection effective de plusieurs zones importantes est plutôt encourageante.

Ces retours terrain confirment que les facteurs influant sur la capacité de détection sont fortement corrélés à la nature et la densité de la végétation impactée, la sévérité du brûlage et le délais d'observation (Chuvieco et al., 2019). Des investigations complémentaires permettront d'affiner ces hypothèses et d'alimenter la recherche de solutions pour améliorer la détection.

Perspectives

Cette première expérimentation a permis de confirmer la crédibilité de la télédétection appliquée à l'observation des brûlages pastoraux. Néanmoins la méthodologie n'est pas encore opérationnelle, des efforts restent à faire pour mieux comprendre les erreurs d'omission et consolider la chaîne de traitement. Plusieurs perspectives de travail sont à envisager :

- Les vérifications terrain sur la zone d'étude doivent se poursuivre afin de finaliser l'évaluation de la méthode (matrice de confusion) et d'affiner les hypothèses expliquant les non détections. Bien que la télédétection des brûlages ne puisse être une méthode exhaustive, cet essai a démontré la capacité à détecter les principaux brûlages. Les chiffres énoncés doivent nécessairement être accompagnés de leurs taux d'erreur et de précision pour pouvoir s'intégrer dans un tableau de bord de suivi de l'état de conservation du brûlage pastoral en tant qu'attribut culturel. Il conviendra également de mettre en perspective les résultats obtenus avec les déclarations d'intention d'écobuage déposées auprès de l'administration.

- Dans le cadre de cet essai nous nous sommes concentrés sur l'indicateur NBR. Bien que largement utilisé, sa sensibilité aux sols nus n'en fait pas le meilleur choix pour les milieux méditerranéens.

D'autres indicateurs sont décrits dans la littérature scientifique notamment afin de résoudre les difficultés de détection lorsque la végétation est éparse⁴, ou bien afin d'exploiter les capacités d'observation dans le red-edge du capteur Sentinel-2⁵. Il conviendrait de réaliser une analyse comparative des ces indicateurs afin de déterminer le plus performant pour le territoire des Causses et des Cévennes.

- nous l'avons vu, le choix de la période d'observation est déterminant dans l'efficacité de la détection, néanmoins il est difficile de réunir des conditions optimales : d'un côté les observations hivernales sont souvent défavorables à cause de la neige, de l'autre la reprise rapide de la végétation après la saison de brûlage impacte fortement les capacités de détection. Nous avons expérimenté une comparaison interannuelle avec des images prises en avril, il serait intéressant d'essayer de mobiliser les images hivernales avec une comparaison inter-mensuelle cette fois afin de sélectionner le ΔNBR le plus élevé (observation la plus proche de la date du brûlage).

- l'utilisation de masques thématiques est un levier indispensable pour réduire le nombre de faux positifs, l'élaboration de ces masques doit donc être affinée et leur utilisation renforcée afin d'améliorer la fiabilité du traitement.

- les images satellites anciennes constituent à présent des séries temporelles conséquentes (Landsat depuis les années 70, SPOT depuis les années 80) et font l'objet de programmes de revalorisation comme en témoigne le projet SPOT World Heritage porté par le pôle Theai. Il pourrait être intéressant de mobiliser ce patrimoine de données afin d'inscrire le suivi des brûlages pastoraux sur un plus long terme.

3. Vers d'autres perspectives

3.1. Déclarations en ligne - l'exemple des Pyrénées Orientales

Dans le massif des Pyrénées, un système de suivi SIG et TIC (Technologies de l'information et de la communication) des activités liées au brûlage a été élaboré. Il comprend des observatoires associant analyses statistiques et cartographiques et des outils web avec interface cartographique.

Le système est aussi utilisé dans d'autres domaines tels que des plans de chasse ou encore des travaux de rivière. Mais c'est l'utilisation dans le domaine des déclarations de brûlage qui nous intéresse ici.

L'objectif de cet outil est de simplifier la démarche des déclarations et de pouvoir dématérialiser les documents administratifs associés. Il est disponible en ligne sans avoir à installer quoi que soit et permet aux personnes gérant ces déclarations d'y avoir facilement accès. De plus, il s'adapte aux procédures légales du département dans lequel il est utilisé.

Selon les départements, les déclarants peuvent réaliser eux-mêmes une demande ou se rendre au secrétariat de leur mairie pour la réaliser.

En plus de son rôle facilitateur, l'objectif premier de cet outil est d'informer les services d'incendies. En effet, le SDIS et la DDT peuvent accéder aux données ce qui leur permet de centraliser les demandes.

4 Relative delta Normalized Burn Ratio [Miller, Thode, 2007], Relativized Burn Ratio [Parks, Dillon, Miller, 2014],

5 Burned Area Index for Sentinel-2 [Filipponi, 2018 ; Filipponi 2019]

Cette méthode facilite grandement le recensement des brûlages sur le territoire.

Elle pourrait être prise en exemple pour le territoire des Causses et des Cévennes pour pallier aux difficultés rencontrées :

- Elle permettrait de donner des informations plus précises que les déclarations papier comme la localisation exacte des chantiers de brûlage qui est par la suite rentrée dans la base de données cartographique.
- De plus, grâce à cette méthode, les déclarations erronées seraient directement écartées (si les données obligatoires sont absentes ou incomplète, la déclaration serait bloquée). Les mairies et le SDIS ne recevraient ainsi que les déclarations qui ont été correctement renseignées.

Il y aurait tout de même quelques contraintes avec à cette méthode. Pour que cela fonctionne, il faut que les déclarants aient accès à internet et qu'ils aient un minimum de connaissance en informatique. Pour pallier ce problème, il faudrait qu'il soit possible de faire sa déclaration sur papier ou directement en mairie où quelqu'un manipulerait l'outil informatique à la place du déclarant.

3.2. Une harmonisation des méthodes sur les quatre départements

Les difficultés rencontrées sont principalement dues à la divergence qu'il y a entre les arrêtés préfectoraux des quatre départements.

L'harmonisation des arrêtés serait difficile à réaliser du fait de la différence des milieux qui composent le territoire ; par exemple sur les périodes de brûlage différentes selon les départements.

Différents moyens pour faciliter le recensement des brûlages peuvent être envisagés :

- Harmoniser les déclarations de brûlage : elles n'ont pas exactement le même format sur les quatre départements alors que les informations demandées sont globalement les mêmes (identité du déclarant, surface approximative, numéro de parcelle).
- Compléter les déclarations de brûlage : il serait intéressant de préciser dans ces déclarations la raison qui amène à ce brûlage (pastoral ou autre) afin de pouvoir faire ressortir celles qui sont intéressantes à analyser. De plus, pour faciliter le travail, le format des demandes d'assistances auprès du SDIS pourraient être pris en exemple. Ceux-ci demandent une situation géographique précise avec les coordonnées GPS et une carte retraçant la parcelle qui a besoin d'être brûlé.
- Améliorer les échanges entre les différents acteurs concernés par les données touchant au brûlage (pastoral ou DFCI). C'est nécessaire au bon déroulement du recensement. Mettre en place une convention entre les personnes (DDT, SDIS, Chambre d'Agriculture, Sous-Préfecture) permettrait de faciliter la récupération de tout ce qui est cartes et déclarations et cela de façon régulière sur une longue période. Enfin, il a été remarqué que ces déclarations n'étaient pas traitées, elles finissent généralement par être mises de côté à la DDT, à la Sous-Préfecture ou dans les mairies. Un bon échange entre ces structures et l'Entente faciliterait la récupération de ces données.
- Dans le département de l'Hérault, une méthode d'échange d'information entre le SDIS et la Chambre d'Agriculture a été élaborée et mise en place en 2019 ; elle est pour le moment expérimentale.

Elle consiste à ce que le SDIS transmette tous les appels liés à un brûlage. En effet, il ne faut pas oublier qu'il est obligatoire pour les agriculteurs faisant un brûlage pastoral d'appeler les pompiers le jour même du brûlage et de donner quelques informations sur la localisation du chantier.

Si cette méthode était adoptée, elle permettrait de régler les problèmes liés à la récupération des déclarations et à leur contenu insuffisant.

Pour l'instant, cette méthode rencontre le problème de la diversité des appels qui ne sont pas tous liés à un brûlage pastoral et qui ne sont pas forcément différenciés les uns des autres. En effet, le but premier de ces appels est de renseigner les pompiers d'une activité de brûlage afin qu'ils ne s'alarment pas si de la fumée est localisée.

Conclusion

Le feu est un moyen efficace pour pallier les problèmes de fermeture des milieux. Pour maintenir la pratique du brûlage, un travail sur la transmission des bonnes pratiques du brûlage doit être maintenu auprès des agriculteurs et cela à une échelle la plus large possible. En effet, ce n'est pas tant la perte du savoir lié à l'utilisation du feu qui pose problème que la diminution des utilisateurs du feu pastoral.

Une meilleure compréhension des activités de brûlage sur les Causses et Cévennes aiderait à maintenir cette pratique ; pour cela, un travail reste à faire sur l'échange d'informations entre les départements du Gard, de l'Hérault, de la Lozère et de l'Aveyron. Les solutions proposées par la Chambre d'Agriculture du Gard et de l'Hérault (échange d'informations avec le SDIS) et l'Entente Interdépartementale des Causses et des Cévennes en Lozère (télé-détection des brûlages) devraient aider à la résolution des difficultés rencontrées lors du suivi de la pratique.

La télé-détection semble être un moyen efficace pour suivre les activités liées au brûlage sur le territoire, cette méthode reste pour l'instant expérimentale et doit encore être améliorée.

Pour compléter les connaissances de l'utilisation du brûlage sur le territoire, il serait intéressant de poursuivre le travail engagé en faisant une étude auprès des éleveurs utilisant le feu pastoral et cela sur un échantillon assez large. Ceci permettrait de mieux comprendre les objectifs derrière l'utilisation du feu, comment la transmission de la pratique évolue et quelles sont les techniques utilisées. Une enquête plus approfondie mettrait en avant des facettes de cette pratique qui n'ont pas encore été prises en compte.

Le feu est un outil jouant un rôle important dans le maintien des zones pastorales et dans la Défense des Forêts Contre les incendies. Si les brûlages DFCI semblent se maintenir, doit-on s'inquiéter de la disparition de l'utilisation traditionnelle du brûlage pastoral ?

Bibliographie

- ANSES. (2012), *Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre : État des connaissances relatif aux incendies de végétation, aux brûlages agricoles, et aux brûlages des déchets verts de jardin*, Avis de l'ANSES rapport d'expertise collective, saisine n° 2010-SA-0183
- [Bluecham, 2013] Bluecham SAS, Observatoire de l'environnement de Nouvelle Calédonie, Étude de faisabilité pour la mise en place d'un suivi de l'impact environnemental des feux, 2013
- BUFFIERE, (1998), Brûlage dirigé. *Pastum*, numéro spécial, Brûlage dirigé: 1-110
- [Carlà et al. 2011] Carlà, Santurri, Bonora, Conese, Multitemporal burnt area detection methods based on a couple of images acquired after the fire event, 5th International Wildland Fire Conference Sun City, South Africa May 2011
- [Chuvieco et al., 2019] Chuvieco et al., Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation, in *Remote Sensing of Environment* 225 45-64, 2019
- [CCT, 2007] Centre Canadien de télédétection, Notions fondamentales de télédétection, 2007
[Faivre, 2018] Faivre Robin (CNES), Introduction à la réalisation de spatio-cartes, support de cours Université de Strasbourg, 2018
- DUMEZ, R. (2010), *Le feu, savoir et pratiques en Cévennes*, Nancy : Editions Quæ
- [Filipponi, 2018] Filipponi Federico, BAIS2: Burned Area Index for Sentinel-2, in *MDPI Proceedings* vol. 2 art. 364, 2018
- [Filipponi, 2019] Filipponi Federico, Exploitation of Sentinel-2 Time Series to Map Burned Areas at the National Level: A Case Study on the 2017 Italy Wildfires, in *MDPI Remote Sensing* vol. 11 art. 622, 2019
- FIRE TORCH, non daté. Le brûlage dirigé, un outil pour la gestion méditerranéenne. Une approche de gestion. Contrat n°ENV4-CT98-0715. TASK 5 – DELIVRABLE E1 : Etat de l'Art sur les effets des brûlages dirigés dans les écosystèmes méditerranéens. Commission Européenne, Direction Générale XII.
- [Fornacca, Ren, Xiao, 2018] Fornacca D., Ren G., Xiao W., Evaluating the Best Spectral Indices for the Detection of Burn Scars at Several Post-Fire Dates in a Mountainous Region of Northwest Yunnan, China in *MDPI Remote Sensing* vol. 10 art. 1096, 2018

- GAUTIER Grégoire. (2017). *Influence de la Politique agricole commune sur les pratiques pastorales des Causses et des Cévennes* (Mémoire de thèse professionnelle pour le Mastère spécialisé PAPDD)
- [GSARS 2017] Stratégie mondiale pour l'amélioration des statistiques agricoles et rurales (GSARS), Manuel sur l'application de la télédétection aux statistiques agricoles, 2017
- [Hammarström, 2018] Hammarström Lisa, Detecting crop residues burning using Sentinel-2 imagery: conservation agriculture promotion in Central Malawi, Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de Bioingénieur : sciences et technologies de l'environnement, Université catholique de Louvain, 2018, pp 16-22
- ICOMOS-IFLA. (2017). *Principes concernant les paysages ruraux comme patrimoine* (doctrinal text)
- [IRSTEA, 2015] IRSTEA, UMR TETIS, Ose K. Deshayes M., Détection et cartographie des coupes rases par télédétection satellitaire. Guide méthodologique, 2015
- [Kergomard, 2004] Kergomard Claude, Introduction à la télédétection aérospatiale, support de cours, École Normale Supérieure Paris, 2004
- [Lacombe, Sheeren, 2007] Lacombe Jean-Paul, Sheeren David, La télédétection principes et applications, support de cours, École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, 2007
- [McKenna et al. 2018] McKenna P., Phinn S., Erskine P., Fire Severity and Vegetation Recovery on Mine Site Rehabilitation Using WorldView-3 Imagery, in MDPI Fire vol. 1 art. 22, 2018
- METAILIE, J.P. et FAERBER, J. *Quinze années de gestion des feux pastoraux dans les Pyrénées : du blocage à la concertation*. In: Sud-Ouest européen, tome 16, 2003. Pastoralisme et environnement (Coordonné par Jean-Paul Métaillé) pp. 37-51
- METAILIE Jean-Paul. (1978). *Les incendies pastoraux dans les Pyrénées centrales*, pp.517-526
- MARTIN Anne-Marie. (2005). *Entre deux feux*, [Documentaire].
- [Miller, Thode, 2007] Miller Jay, Thode Andrea, Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR), in Remote Sensing of Environment 109 66-80, 2007
- NOVOA, C. PARMAN, V. et LAMBERT, B. (2010), Brûlages dirigés et conservation de l'habitat de la perdrix grise des Pyrénées : un compromis difficile mais possible. *Faune Sauvage*, n°287 : p.30-36.

- [Parks, Dillon, Miller, 2014] Parks Sean, Dillon Gregogy, Miller Carol, A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio, in MDPI Remote Sensing vol. 6 pp 1827-1844, 2014
- [Polidori, 2004] Polidori Laurent, Introduction à la télédétection spatiale, support de cours, École Supérieure des Géomètres Topographe du Mans, 2004
- REGO, F., RIGOLOTT, E., FERNANDES, P., MONTIEL, C., SANDE SILVA, J. (2010), Le Cahier sur les Politiques de l'EFI 4 . *Vers une gestion intégrée du feu*, European Forest Institute : 1-16
- RIBET Nadine. (2008). *Les maîtres du feu*, [Documentaire].
- RIBET, N. (2011), Enjeux de connaissance et de reconnaissance des compétences techniques du brûlage à feu courant. *Forêt Méditerranéenne*, t.XXXII, n°3 : 277-289
- RIGOLOTT Eric. *Le Réseau National des Équipes de Brûlage Dirigé*, INRA : Unité de Recherches Forestières Méditerranéenne.
- [Robertson, 2011] Robertson K, Timing Constraints on Remote Sensing of Wildland Fire Burned Area in the Southeastern US, in MDPI Remote Sensing vol. 3 pp 1680-1690, 2011
- [Simonneaux, 2015] Simonneaux Vincent (CESBIO), Bases physiques de la télédétection, support de cours, Université de Carthage, 2015
- UNESCO. (1972), *Convention concernant la protection du patrimoine mondial culturel et naturel*
- [US Forest Service, 2006] USDA Forest Service, Key Carl, Benson Nathan, Landscape Assessment of burns - Sampling and Analysis Method, 2006
- [Veraverbeke et al., 2010] Veraverbeke S., Lhermitte S., Verstraeten W.W., Goossens R., The temporal dimension of differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) fire/burn severity studies: The case of the large 2007 Peloponnese wildfires in Greece, in Remote Sensing of Environment 114 2548-2563, 2010
- [Zammit, 2008] Zammit Olivier, *Détection de zones brûlées après un feu de forêt à partir d'une seule image satellitaire SPOT 5 par techniques SVM*, thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en Sciences, Université de Nice-Sophia Antipolis, 2008, pp 4-15 et annexe 1