



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DDTM du Gard

Actualisation du zonage de l'aléa incendie de forêt

Département du Gard

Rapport de synthèse

Juin 2022



AGENCE
MTDA
W I D A

47 av. des Ribas, 13 770 Venelles, France, +33 (0)4 42 20 12 57

74 av. Georges Bonnac. 33000 Bordeaux. France. + 33 (0)9 82 58 27 91



www.mtda.fr

mtda@mtda.fr



Sommaire

1	Contexte et objectifs de l'étude.....	4
2	Rappel des définitions.....	4
2.1	Composantes du risque.....	4
2.2	Deux types d'aléa.....	4
2.3	Composantes de l'aléa.....	5
3	Outils et modèles utilisés.....	5
3.1	Firetec.....	5
3.2	Le simulateur d'incendie Vesta.....	6
3.3	Principes du calcul de la composante « intensité » de l'aléa subi.....	6
4	Définition des conditions de référence.....	8
4.1	Vitesse et direction du vent.....	8
4.1.1	Données utilisées.....	8
4.1.2	Identification des conditions de référence par point.....	9
4.1.3	Délimitation des secteurs d'application de chaque condition de référence.....	12
4.2	Teneur en eau de la végétation.....	15
5	Cartographie de l'occupation du sol.....	16
5.1	Données utilisées.....	16
5.2	Etapas de traitements.....	17
5.2.1	Création du masque forêt.....	17
5.2.2	Cartographie des types de végétation.....	18
6	Modélisation du combustible.....	21
6.1	Rappel de la méthode de modélisation.....	21
6.2	Données utilisées.....	22
6.2.1	Données de l'IGN/IFN.....	22
6.2.2	Relevés de terrains d'études antérieures.....	23
6.3	Hypothèses sur le comportement vis-à-vis du feu des différents types de végétation.....	24
6.3.1	Participation de la strate arborée à la combustion.....	24
6.3.2	Cas particulier des peuplements de chêne vert.....	25
6.4	Description des types de combustible.....	32
6.5	Calcul de la biomasse.....	32
6.5.1	Cas général.....	32
6.5.2	Cas particulier des zones combustibles mitées par le bâti.....	32
6.6	Détermination de la vitesse de propagation.....	32
6.6.1	Prise en compte du relief.....	32



6.6.2	Vitesse et direction du vent.....	32
6.6.3	Équations paramétriques (modèle Firetec).....	33
7	Cartographie de l'aléa subi (intensité)	34
7.1	Classes d'intensité	34
7.2	Intensité de référence par type de végétation.....	35
7.3	Cartographie de l'intensité et lissage	35
7.4	Résultats : l'aléa subi	36
8	Annexes	37
8.1	Annexe 1: Teneur en eau des principales espèces	37
8.2	Annexe 1: Méthode de cartographie des types de végétation	38
8.2.1	Etape 1 : Classification des images Sentinel-2.....	38
8.2.2	Etape 2 : Cohérence entre BDF_V1 et BDF_V2	39
8.2.3	Etape 3 : Cohérence spatiale des peuplements	39
8.2.4	Etape 4 : Peuplements des cèdres.....	40
8.2.5	Etape 5 : Intégration des « zones spéciales »	40
8.2.6	Etape 6 : créer les typologies de peuplements	40
8.2.7	Etape 7 : Reclassement des mélanges inexistants.	41
8.2.8	Etape 8 : Reclassement des classes « Mixtes, feuillus et conifères ».....	41
8.2.9	Etape 9 : Reclassement des zones ripisylves	41
8.3	Annexe 3 : Description des types de végétation	42
8.4	Annexe 4 : Intensités de référence pour les différents types de végétation, par ordre décroissant d'intensité - Pour un vent de 10 m/s (sans effet de la pente).....	47
8.5	Annexe 5 : cartographie de l'aléa.....	50
8.5.1	Carte 3 : intensité par vent de nord	50
8.5.2	Carte 2 : intensité par vent de sud	51
8.5.3	Carte 3 : Aléa subi (Intensité maximale).....	52

1 Contexte et objectifs de l'étude

La carte de l'aléa incendie de forêt du département du Gard datant de 2011, il était nécessaire de procéder à sa révision. Pour ce faire, un cahier des charges a été établi conjointement avec par les DDTM de l'Hérault et du Gard, la révision de la carte de l'aléa incendie de forêt sur les deux départements.

Le travail d'actualisation a donc été mené simultanément sur les deux départements.

2 Rappel des définitions

2.1 Composantes du risque

L'analyse du risque repose sur l'analyse croisée de deux paramètres : l'aléa d'une part, et ses conséquences possibles sur les enjeux d'autre part.

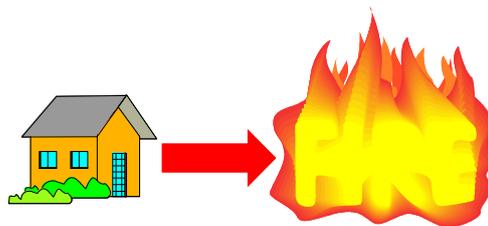


2.2 Deux types d'aléa

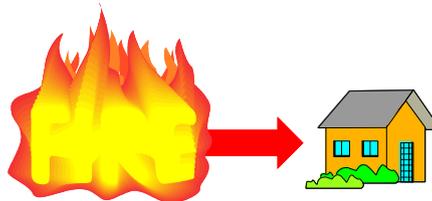
Deux utilisations différentes de l'aléa peuvent être définies, selon l'objectif visé :

- 🕒 un aléa induit par les activités humaines,
- 🕒 un aléa subi par ces mêmes activités humaines.

L'aléa induit est l'aléa généré par une activité humaine (actuelle ou future). Il est comparable à la composante d'un "risque technologique".



L'aléa subi est l'aléa auquel sont exposés les enjeux (actuels ou futurs). Il est comparable à la composante d'un "risque naturel".



2.3 Composantes de l'aléa

Dans le cas de l'aléa subi, l'aléa peut être appréhendé comme la combinaison entre deux paramètres : l'intensité du phénomène et l'occurrence (ou probabilité que le phénomène se produise).

La puissance du front de feu reflète l'intensité des phénomènes naturels auxquels sont potentiellement exposés les enjeux ; elle correspond à la quantité d'énergie dégagée par le feu par unité de temps.

Dans la présente étude, c'est l'intensité du phénomène, qui a été retenue comme caractérisation de l'aléa ; elle est appréhendée par la puissance du front de feu.

3 Outils et modèles utilisés

3.1 Firetec

La méthode de cartographie de l'aléa que nous proposons d'utiliser fait appel aux **derniers développements de la recherche dans le domaine de la modélisation des incendies de forêt**. Le modèle utilisé pour caractériser la puissance potentielle du feu (volet « intensité du phénomène » de l'aléa) est le modèle Firetec.

Firetec est un modèle physique de propagation du feu.

Firetec s'appuie sur le code de calcul HIGRAD qui résout des écoulements en 3D dans la couche limite atmosphérique, dans et autour de la zone de combustion (technique LES). Le calcul des écoulements intègre les interactions avec la végétation (traînée, turbulence générée par cisaillement, etc.) et avec la topographie.

La résolution des écoulements permet de simuler finement l'advection des gaz chauds sur le combustible imbrûlé pour calculer le transfert convectif entre phase gazeuse et végétation. Le transfert radiatif est calculé explicitement à partir de la méthode de Monte-Carlo.

Au sein de chaque maille, Firetec calcule la dégradation thermique de la végétation et de la combustion des produits de pyrolyse au moyen d'un taux de réaction global dépendant du temps

caractéristique des tourbillons de petite échelle et de la distribution de température au sein de la maille.

La résolution du modèle (taille de la maille) est typiquement de 2 m, ce qui permet de prendre en compte finement la structure spatiale du combustible. Les domaines de calcul font plusieurs centaines de mètres horizontalement et verticalement, ce qui permet de simuler la propagation du feu à l'échelle de petits paysages. Des simulations sur des domaines plus grands (plusieurs km) ont déjà été réalisées avec des mailles plus grandes (jusqu'à 10 m horizontalement).

Le code a été initialement développé au Los Alamos National Laboratory (LANL), Earth and Environment Division (EESD) (États-Unis), notamment par R. Linn (FIRETEC) et J. Reisner (HIGRAD). Depuis 2004, il est co-développé avec l'INRA d'Avignon.

En faisant un nombre de calculs suffisant, le modèle permet d'établir des lois liant l'intensité avec les différents paramètres de propagation (pente, vent, teneur en eau, ...).

3.2 Le simulateur d'incendie Vesta

Cet outil permet de simuler la propagation des incendies. Il a été utilisé pour calibrer les modèles de combustible servant à calculer la puissance potentielle du feu.

Le simulateur d'incendie à grande échelle utilisé est la **plateforme de calcul Vesta**, mis au point dans le cadre du projet Fire Paradox. Il est basé sur le modèle physique Firetec, utilisé pour établir des lois paramétriques.

Outre les fonctions de base habituelle d'un simulateur d'incendie, ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- il est capable de travailler sur différents formats de fichiers SIG vecteurs et rasters (importation et exportation),
- c'est une plateforme capable d'utiliser différents modèles de propagation,
- il peut être exécuté avec ou sans modèles de sautes de feu (à savoir le modèle probabiliste développé dans le cadre du projet Saltus),
- il inclut un simulateur de vent pour évaluer les variations locales de la direction et vitesse du vent sur le terrain,
- il permet la description des types de combustible avec la meilleure précision disponible,
- il permet à l'utilisateur de simuler de façon interactive une certaine intervention de l'homme comme les coupures de combustible, la lutte aérienne, ...
- il permet le lancement d'une série de simulations sur une superficie donnée pour calculer les cartes de risque,
- il permet à l'utilisateur de comparer incendie simulé avec incendie réel, afin de valider les résultats obtenus, ...

3.3 Principes du calcul de la composante « intensité » de l'aléa subi

Correspondant à la quantité d'énergie dégagée par le feu par unité de temps, l'intensité permet d'évaluer le comportement du feu. Étroitement liée à la végétation, elle est donc très variable dans le temps, en fonction du stade de développement du combustible, des événements passés et des parades mises en œuvre (travaux visant à diminuer la biomasse).

Pour la partie intensité de l'aléa, 4 étapes sont nécessaires :

- ☉ Identification des types d'occupation du sol.
- ☉ Transformation des types d'occupation du sol en type de combustible. Les peuplements pour lesquels la biomasse combustible est identique seront regroupés dans ce sens. La biomasse participant à la combustion est estimée selon une méthode d'estimation quantifiée appliquée sur le terrain, ainsi qu'à de la bibliographie en la matière et de la consultation des organismes experts en la matière (IRSTEA, INRA, ...).
- ☉ Utilisation de la formule de Byram. Elle présente l'avantage de fournir un résultat dimensionné (s'exprimant en kW/m).
- ☉ Regroupement des puissances calculées en classes pour permettre le croisement avec l'occurrence et produire les cartes. Pour ce faire, l'échelle d'intensité de l'INRAE est utilisée pour définir les seuils dangereux.

L'utilisation de la formule de Byram donne un résultat dimensionné qui permet de comparer différents territoires entre eux et donc de s'assurer de la pertinence relative des valeurs.

La formule de Byram est la suivante :

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Puissance} & & & & & & \\ \text{du front de} & = & 18\,000 & \times & \text{Biomasse} & \times & \text{Vitesse de} \\ \text{feu} & & \text{(kJ/kg)} & & \text{combustible} & & \text{propagation} \\ \text{(kw/m)} & & & & \text{(kg/m}^2\text{)} & & \text{du feu} \\ & & & & & & \text{(m/s)} \end{array}$$

Énergie dégagée par seconde par chaque mètre de front

Pouvoir calorifique moyen du bois et des végétaux

Biomasse qui participe effectivement à la propagation (éléments fins)

Vitesse moyenne fonction des conditions de référence (vent, humidité)

Où :

- ☉ le pouvoir calorifique est fixé à 18 000 kJ/kg, valeur moyenne pour l'ensemble des composants végétaux,
- ☉ la biomasse combustible est la masse végétale anhydre participant effectivement à la combustion (parties des végétaux de faible dimension),
- ☉ la vitesse de propagation de l'incendie est calculée dans les « conditions de référence » données (vitesse et direction du vent, teneur en eau du combustible) et en tenant compte du vent et de la pente. La vitesse de propagation est calculée en appliquant les équations paramétriques établies dans le cadre du projet de recherches "Fire Paradox".

La Figure 1 schématise le principe de calcul de l'aléa subi caractérisé par la puissance du front de feu.

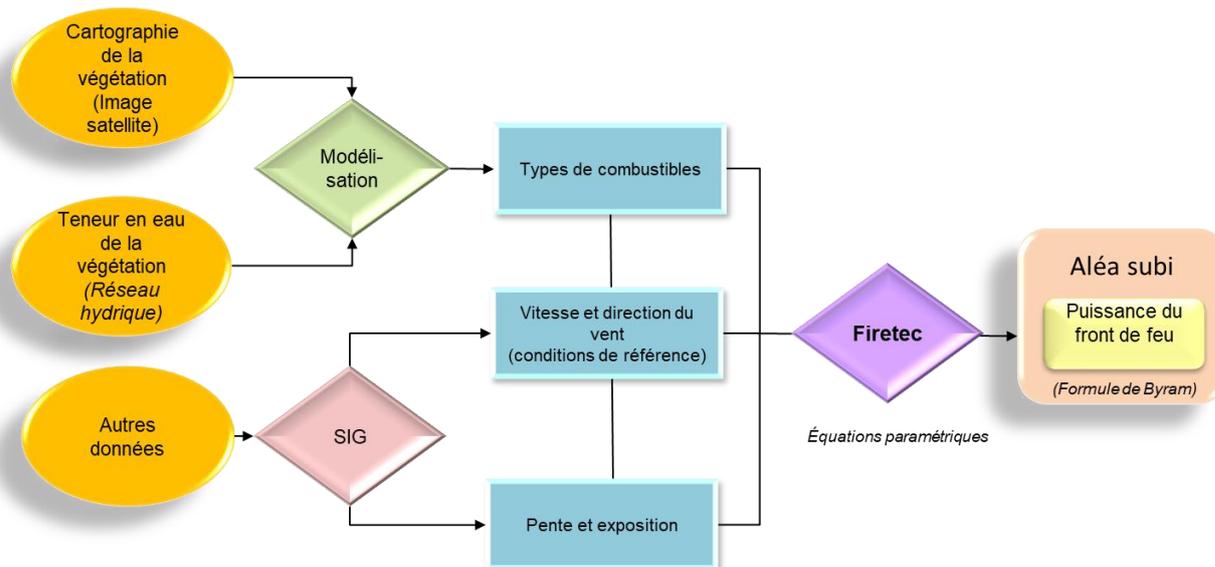


Figure 1 : Schéma de synthèse de la méthode de calcul de l'aléa subi

4 Définition des conditions de référence

4.1 Vitesse et direction du vent

La définition des conditions de référence est indispensable à tout calcul d'aléa, que ce soit pour un aléa feu de forêt ou un autre risque naturel. Ces conditions permettent d'établir le contexte dans lequel les modélisations et simulations seront réalisées.

Les conditions de référence météo de la carte départementale de l'aléa incendie de forêt 2021 ont été objectivées à partir de séries de données Météo-France et de prévisions du modèle Arôme de Météo-France.

4.1.1 Données utilisées

Afin d'objectiver le choix des conditions de référence, celles-ci ont été définies à partir d'une analyse des données météorologiques existantes et **modélisées** sur les périodes estivales passées.

L'analyse repose sur deux types de données :

- 🕒 les données des 14 stations météo feux de forêt du département qui enregistrent la vitesse et la direction du vent ; ces données sont donc des observations effectuées ;
- 🕒 25 points de la grille du modèle Arome, modèle de prévision numérique du temps à maille fine exploité en opérationnel à Météo-France. Ces points ont été choisis à dire d'expert (sur la maille à 2,5 km), pour couvrir la variabilité des conditions de vent du département, en complément des observations des stations. Les données des points de la grille Arome résultent de simulations.

Au total, ce sont donc **39** sources de données qui sont réparties sur le département (Figure 1).

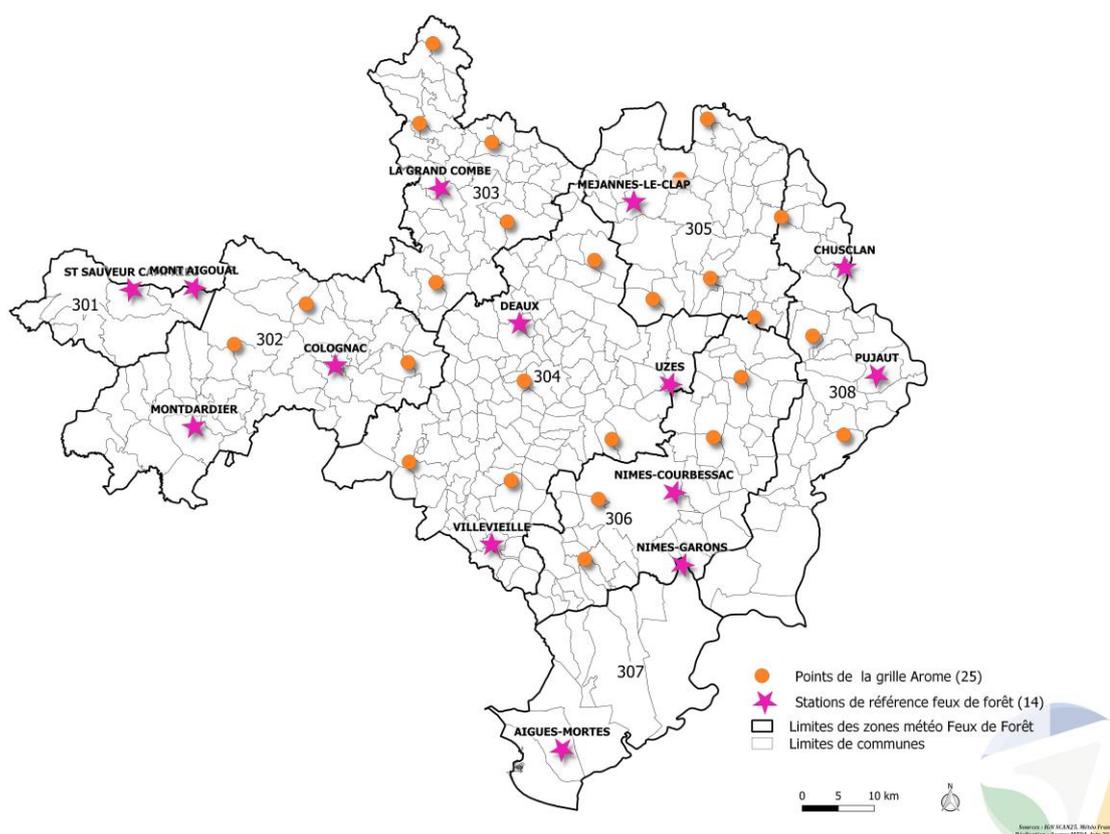


Figure 2 : Localisation des sources de données Météo France

Les conditions de vent parmi les plus défavorables, représentatives des conditions aggravantes en matière d'incendie de forêt, ont été retenues pour la période estivale.

Les données recueillies couvrent la période 2001-2018 pour les observations (stations météo feux de forêt) et la période 2000-2018 pour les simulations. Dans les deux cas, elles ont été centrées sur la période à risque feux de forêt :

- ☺ entre le 15 juin et le 30 septembre
- ☺ de 11h à 21h (9h-19h UTC)
- ☺ pour les cas humidité de l'air inférieure à 40 % (mesure à 2m) ; l'analyse des feux passés montre en effet que les situations critiques pour les incendies se rencontrent lorsque l'hydrométrie de l'air est inférieure à 40 %.

Les données utilisées sont :

- ☺ les roses des vents sèches, constituées du vent horaire mesure à 10 m du sol, moyenné sur 10 min
- ☺ les tableaux de contingence comportant des classes de vent au m/s près. Il s'agit de fréquences observées pour chaque couple vitesse-direction de vent.

4.1.2 Identification des conditions de référence par point

L'analyse des feux passés met en évidence que les plus grands feux se produisent dans deux grands types de situations de vent : vents de secteur nord (Tramontane et Mistral) et vent de secteur sud. Le comité de pilotage a donc validé la nécessité de retenir ces deux types de situation pour le calcul des cartes d'aléa.

Dans un premier temps, deux directions de vent sont déduites des roses des vents, en identifiant les vents les plus fréquents pour un secteur Nord (correspondant aux situations de Tramontane et Mistral – dénommée Dir1_Rose sur la Figure 3 ci-dessous) et pour un secteur Sud (Dir2_Rose sur la Figure 3).

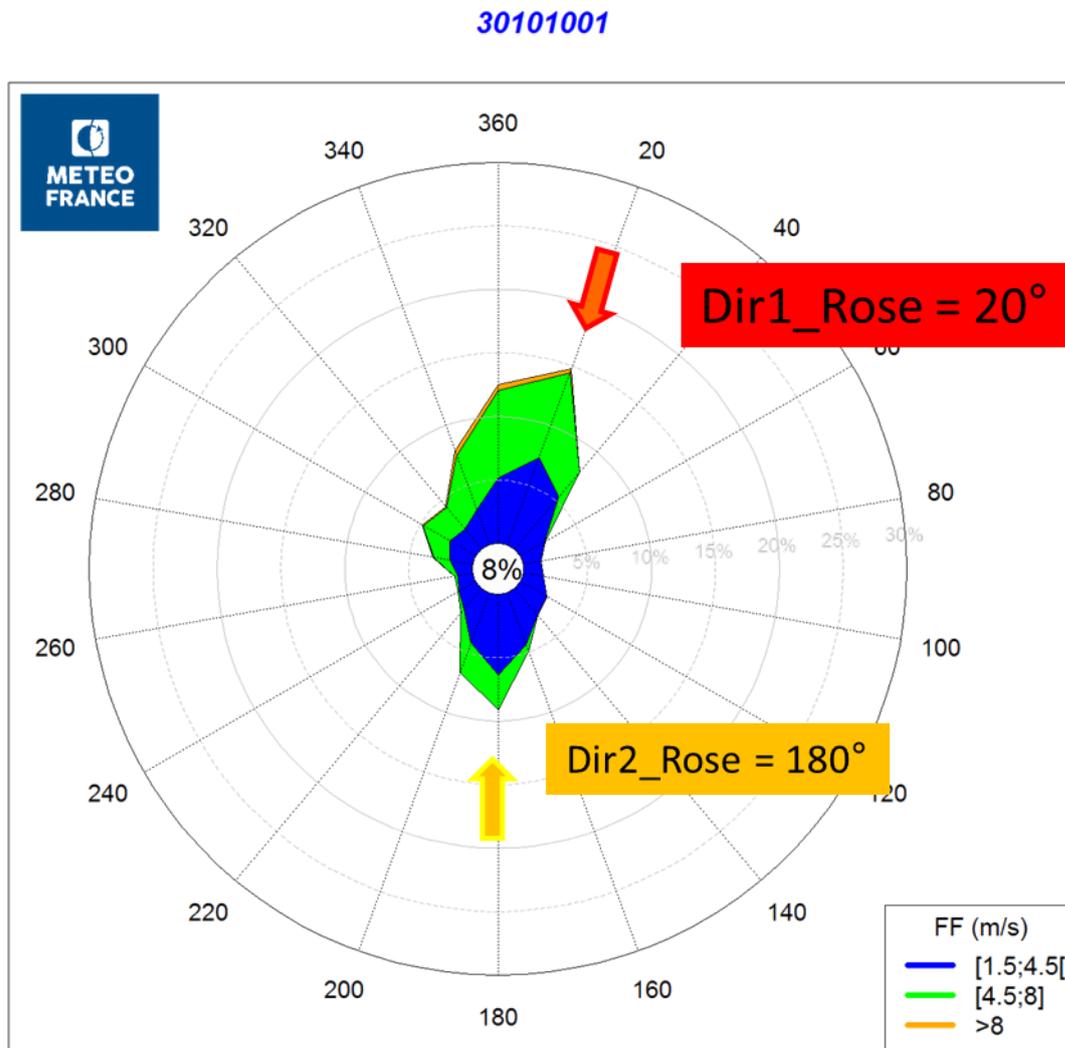


Figure 3 : Exemple d'identification de la direction du vent le plus fréquent à partir de la rose des vents (cas de la rose des vents de Deaux)

Dans un second temps, la vitesse correspondant à ces directions est recherchée dans le tableau de contingence du point correspondant. Toutefois, la direction est étendue au secteur encadrant les vitesses identifiées sur la rose des vents. Le secteur considéré a une amplitude de 90 ° et est centré sur la vitesse déduite de la rose des vents. Parmi les vitesses observées dans ce secteur, on retient comme vitesse de référence, non pas la plus fréquente, mais la vitesse maximale, en excluant uniquement les cas très peu représentés. La vitesse la plus fréquente est apparue en effet souvent trop faible et non représentative des conditions observées lors de feux. Les feux se produisent en effet le plus souvent dans des conditions plus sévères que la moyenne.

On ajuste ensuite la direction en retenant la direction qui correspond à cette vitesse (Figure 4).

Enfin, lorsque des données précises étaient disponibles sur le vent mesuré lors des incendies, ces mesures ont été comparées aux résultats obtenus par la méthode décrite ci-dessus, pour valider les valeurs retenues.

dd	Freq.[0.5;1.5	Freq.[1.5;2.5	Freq.[2.5;3.5	Freq.[3.5;4.5	Freq.[4.5;5.5	Freq.[5.5;6.5	Freq.[6.5;7.5	Freq.[7.5;8.5	Freq.[8.5;9.5	Freq.[9.5;10.	Freq.[10.5;11	Freq.[11.5;12
340	0,00167785	0,00523095	0,00394789	0,00493486	0,00532965	0,00809317	0,0070075	0,00404659	0,00138176	9,87E-05	0	0
350	0,00167785	0,00661271	0,00809317	0,00582313	0,00542835	0,01085669	0,01016581	0,00454007	0,00157916	0,00019739	9,87E-05	0
360	0,00207264	0,00651402	0,00829056	0,00986972	0,01135018	0,01144887	0,01115278	0,00276352	0,00088827	0,00059218	0	0
10	0,00217134	0,00888275	0,01174497	0,01322542	0,01519937	0,01006711	0,00651402	0,00394789	0,00108567	0,00019739	0	0
20	0,00197394	0,0072049	0,01312673	0,01855507	0,01796289	0,01332412	0,00592183	0,00227004	0,00108567	9,87E-05	0	0
30	0,00187525	0,0070075	0,01144887	0,01667983	0,01608764	0,00996842	0,00276352	0,00138176	9,87E-05	9,87E-05	0	0
40	0,00157916	0,00848796	0,00947493	0,01075799	0,00592183	0,00266482	0,00098697	0	0	0	0	0
50	0,00236873	0,00552704	0,00621792	0,0034544	0,00148046	0,00029609	0	0	0	0	0	0
60	0,00256613	0,00671141	0,00305961	0,00088827	9,87E-05	0	0	0	0	0	0	0

Dir1_Rose
(360°)

Vitesse : 11 m/s
Direction : 310

Figure 4 : Définition des vitesses et direction à l'aide du tableau de contingence

Ces étapes ont permis d'identifier, pour chacun des 39 points sources de données, la vitesse et la direction du vent retenu sur ce point. Les cartes résultantes, pour les situations de Tramontane-Mistral et de vent du Sud sont présentées dans les Figure 5 et Figure 6.

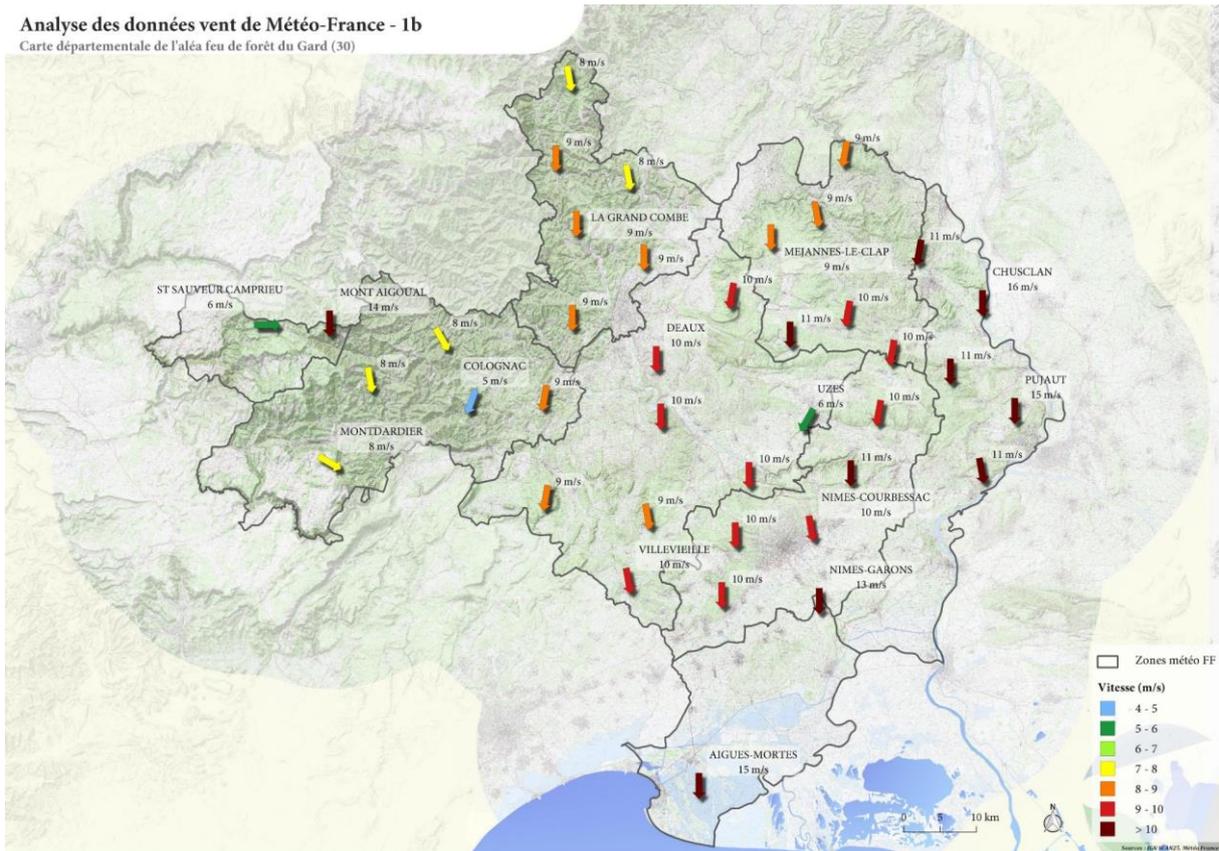


Figure 5 : Vitesse et direction du vent retenue sur les 39 points source de données – Situations de Tramontane et Mistral

Analyse des données vent de Météo-France - 2b
Carte départementale de l'aléa feu de forêt du Gard (30)

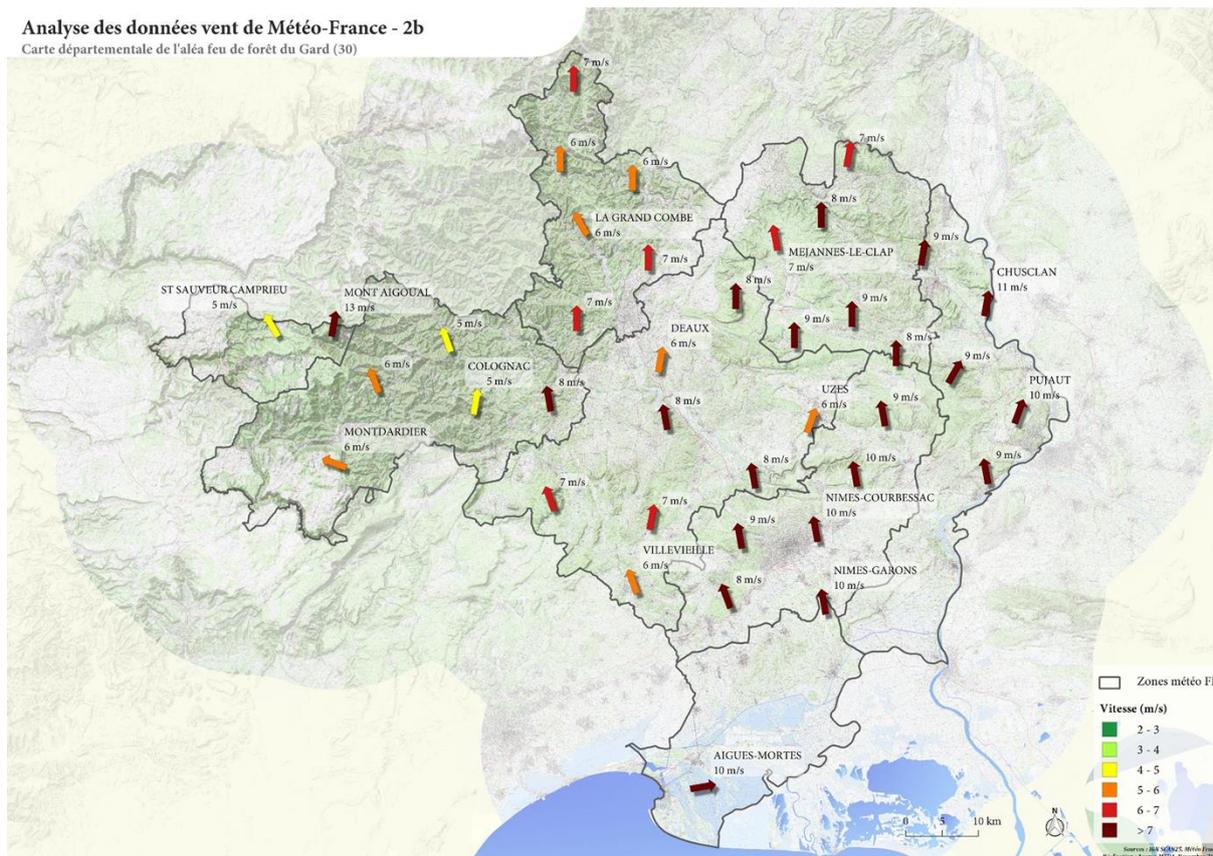


Figure 6 : Vitesse et direction du vent retenue sur les 39 points source de données – Situation de vent du Sud

4.1.3 Délimitation des secteurs d'application de chaque condition de référence

Les vitesses et directions définies sur les 39 points sont ensuite étendues à des secteurs considérés comme homogènes, sur la base de l'expertise des membres du comité technique, regroupant les principaux partenaires de la DFCI du département. Les limites des zones d'application du vent de référence ont été tracées sur SIG sur la base de la connaissance de terrain de ces acteurs. Cette expertise a permis d'ajuster à la marge la direction et la vitesse du vent, notamment sur la partie ouest du département

Les enveloppes résultantes sont présentées sur les figures ci-après.

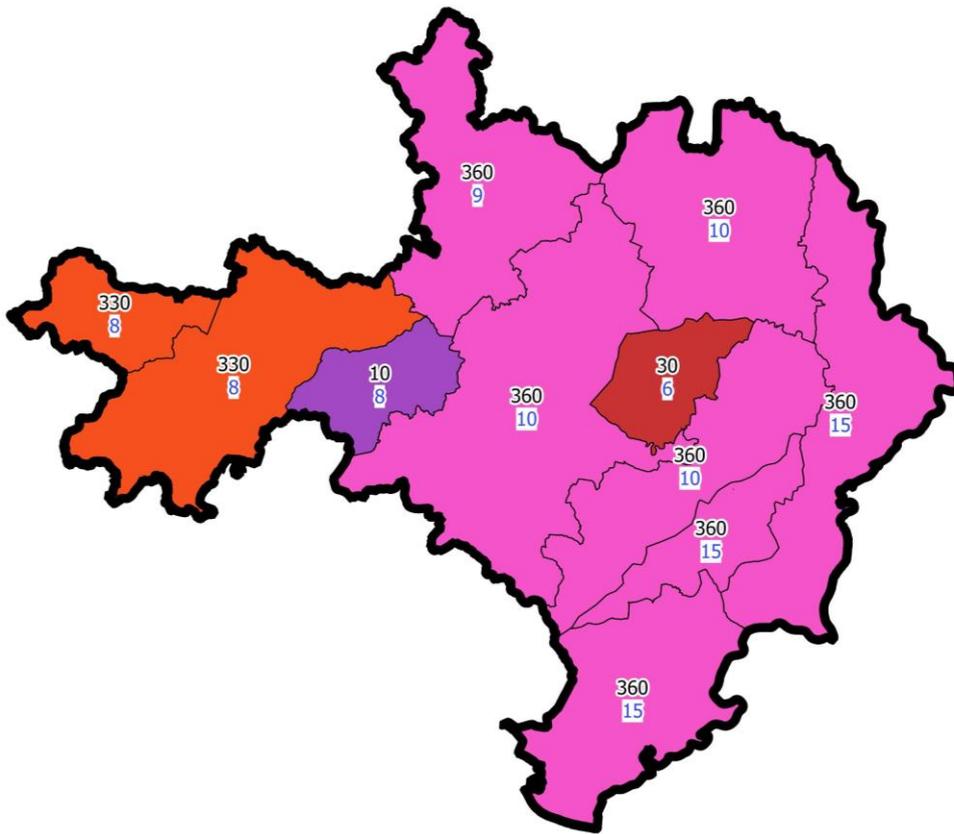


Figure 7 : Zones d'application des conditions de référence vent – Situations de Tramontane et Mistral

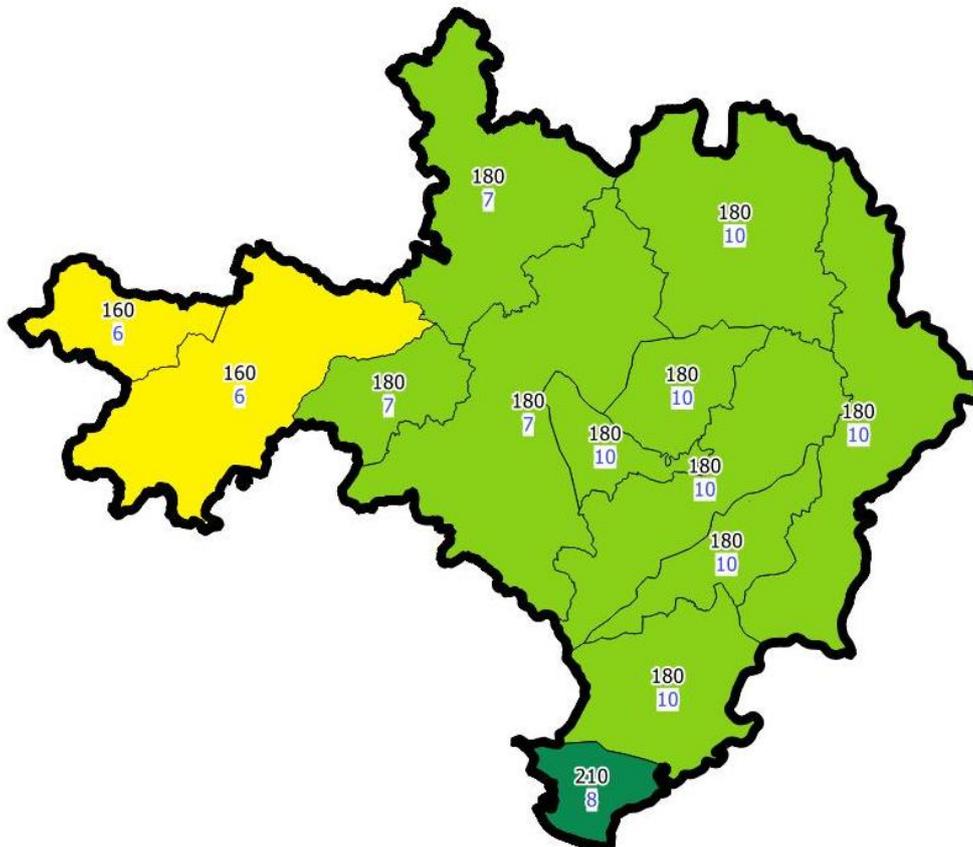


Figure 8 : Zones d'application des conditions de référence vent – Situation de vent du Sud

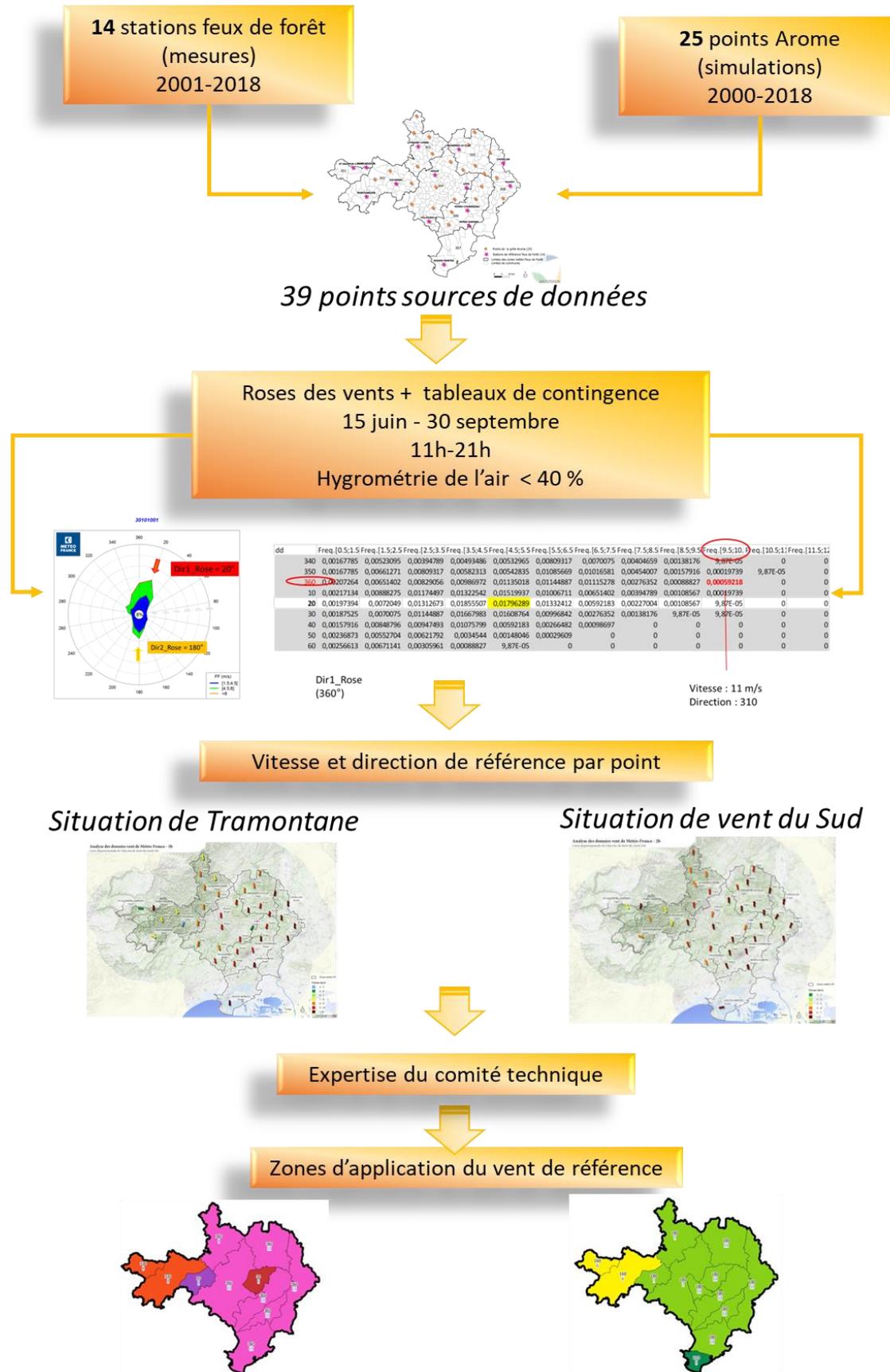


Figure 9 : Schéma de synthèse de la définition des conditions de référence

4.2 Teneur en eau de la végétation

Ce paramètre influe de manière significative sur la vitesse de propagation et sur l'intensité.

Dans le sud-est, des mesures de teneur en eau sont effectuées depuis plusieurs années dans le cadre du réseau hydrique (<http://www.reseau-hydrique.org/>). Le réseau hydrique est constitué d'un ensemble de points de prélèvements d'échantillons répartis dans les départements du sud-est avec pour objectif de suivre, au cours de la période estivale, la variation de la teneur en eau des espèces arbustives méditerranéennes les plus répandues.

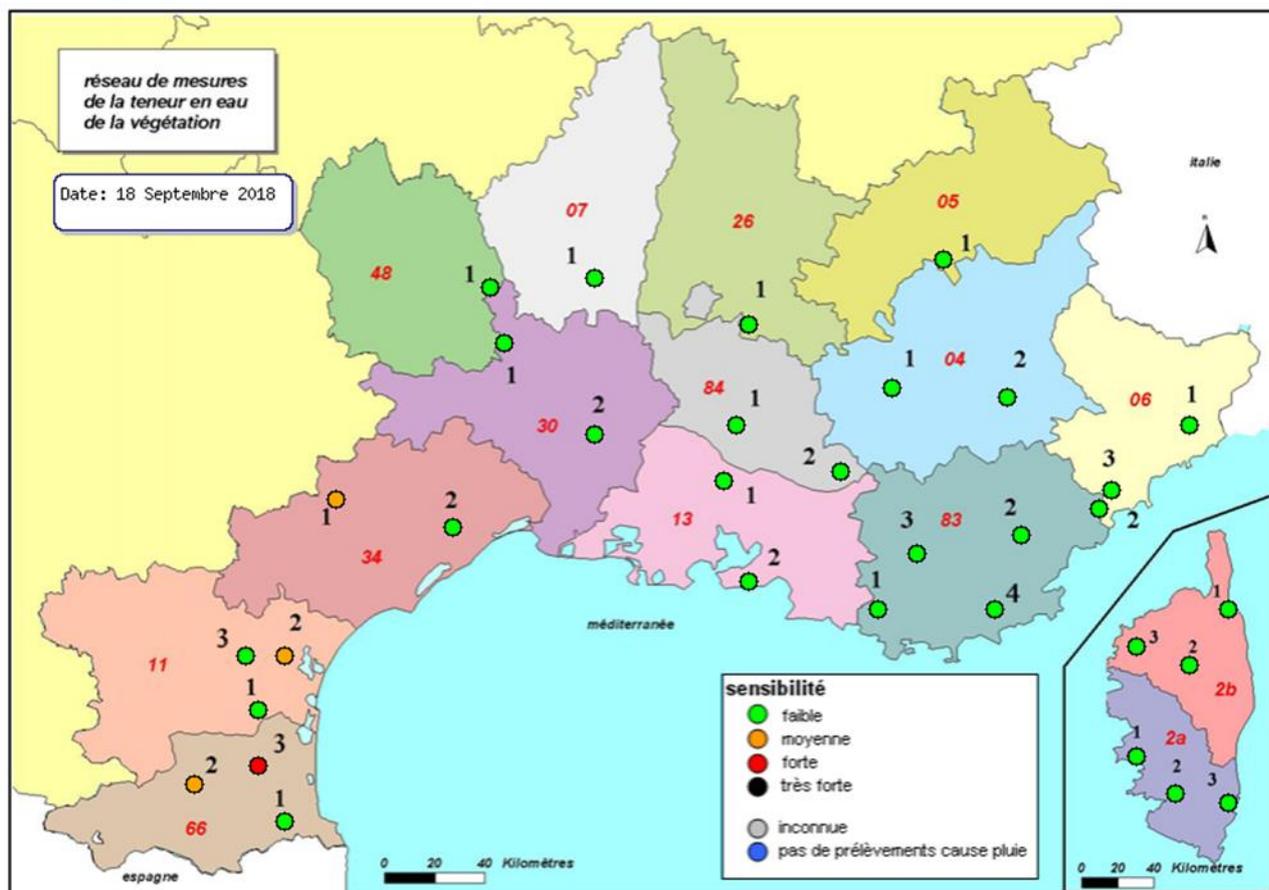


Figure 10 : Carte du réseau de mesures de la teneur en eau de la végétation

Pour les espèces faisant l'objet de relevés dans le cadre du réseau hydrique, les données de la période 1996-2019 ont été synthétisées, en excluant les valeurs extrêmes correspondant à moins de 10 % des cas.

Il est à noter qu'une analyse comparative entre les deux dernières décennies n'a pas permis de mettre en évidence de modifications significatives des valeurs de teneur en eau issue de ces mesures. Une synthèse des valeurs depuis 1996 apparaît donc comme pertinente.

Pour les espèces non disponibles dans les mesures du réseau hydrique, on utilise les valeurs disponibles dans la bibliographie et des estimations à dire d'expert. La validité des valeurs utilisées est également vérifiée en analysant les résultats des modèles de propagation qui utilisent en entrée la teneur en eau de la végétation.

- 🕒 Analyse de données bibliographiques et dire d'expert :
 - recherche de mesures de teneurs en eau effectuées dans le cadre programmes de recherches,
 - estimations à dire d'expert, avec les experts reconnus sur les lieux (INRAE, Inra, Pompiers, etc.)
- 🕒 Calibrage des modèles de propagation : nous utilisons la teneur en eau comme paramètre des modèles de combustible Firetec. Ces modèles fournissent :
 - une vitesse de propagation. Elle peut être comparée aux vitesses observées lors des feux passés (information issue des retours d'expérience). La teneur en eau peut être ajustée pour que le modèle fournisse une vitesse de propagation réaliste
 - une simulation de la propagation de l'incendie : les contours de feux et les surfaces parcourues peuvent aussi être calibrées pour refléter les contours réellement observés. Ainsi, un feu passé peut être « rejoué » virtuellement, et les paramètres du modèle ajustés pour que le contour simulé corresponde le plus possible au contour réel. Il faut toutefois tenir compte que les feux simulés sont en propagation libre ; les actions de lutte menées dans la réalité ne sont donc pas prises en compte.

Les valeurs de la teneur en eau utilisées sont présentées dans le tableau en annexe 1.

La teneur en eau est exprimée en pourcentage du poids sec, qui est la donnée d'entrée nécessaire aux outils de modélisation du combustible mis en œuvre.

5 Cartographie de l'occupation du sol

Les principes de la cartographie de l'occupation du sol sont rappelés ici. Le détail des traitements est décrit dans l'annexe 2.

Cette couche cartographique est construite à partir de plusieurs sources de données (images satellite, BD Forêt V1 & V2, etc.), d'outils de classification et de règles définies pour améliorer la cohérence des résultats avec les différentes couches.

L'annexe 2 décrit notamment l'ensemble des post-traitements (corrections « manuelles ») qui ont dû être réalisés sur les résultats la classification automatique, pour obtenir des types de végétation cohérents avec la réalité du terrain.

5.1 Données utilisées

La cartographie de la végétation a été réalisée par traitements d'images satellite Sentinel 2 datant de 2019. La taille du pixel de ces images est de 10 m.

Sept tuiles ont été nécessaires (Figure 11).

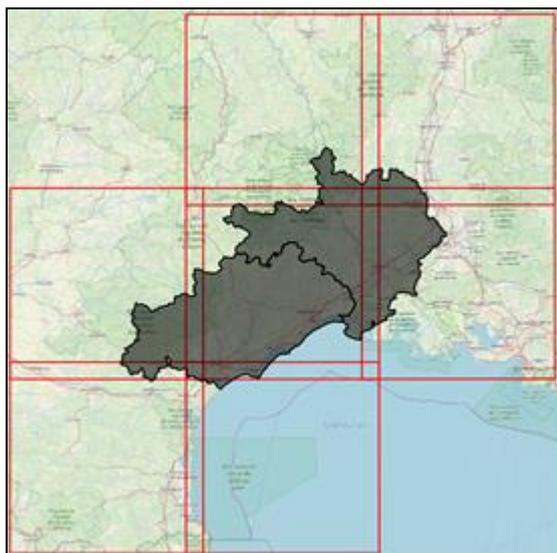


Figure 11 : Couverture des 7 tuiles d'images Sentinel 2

5.2 Etapes de traitements

Les traitements se divisent en deux grandes étapes :

1. La création d'un masque « forêt » / « non forêt », pour distinguer les zones forestières et assimilées des autres types d'occupation du sol.
2. Dans un second temps, à l'intérieur du masque « forêt », les types de végétation sont distingués. La typologie est établie en fonction du comportement du feu et des possibilités de distinction sur les images satellite, et basée sur celle de la BD forêt de l'IFN/IGN.

5.2.1 Création du masque forêt

5.2.1.1 Principes généraux

L'objectif était de cartographier l'aléa feu de forêt sur les zones forestières et assimilées (landes), couramment dénommées « zones exposées » en matière de réglementation DFCI. Il s'agit des zones combustibles ligneuses (minimum de couvert ligneux arbustif ou arboré) évoluant peu d'une année sur l'autre. Les friches récentes n'ont pas été prises en compte.

L'analyse des images satellites a permis d'intégrer des landes et nouveaux secteurs combustibles par comparaison avec la BD forêt V2 de l'IGN pour laquelle les polygones ont été délimités à partir de l'analyse de photos aériennes datant de 2012.

Les friches agricoles récentes n'ont pas été intégrées dans la carte de l'aléa incendie de forêt pour deux raisons principales.

- 🕒 Elles sont très évolutives, généralement en l'absence d'entretien pendant 3 à 5 ans, on passe d'une friche à une lande (avec des arbustes dits ligneux). Cela rend une mise à jour régulière très difficile et coûteuse.
- 🕒 Elles ne sont pas dans le champ d'application réglementaire du code forestier. Par conséquent, la réglementation sur les OLD, l'emploi du feu et les travaux ne s'y appliquent pas.

5.2.1.2 Cas particulier des secteurs d'urbanisation lâche en forêt

Les secteurs d'urbanisation lâche en forêt ont été intégrés dans la couche du masque forêt. Ces informations ont été récupérées auprès de l'IGN (couche NEVB). Sont ainsi pris en compte les lotissements abritant de grandes parcelles construites avec présence de végétation naturelle et les zones d'habitat diffus au sein desquelles des incendies de forêt pourraient se développer.

5.2.1.3 Seuils de surface retenus

Une fois identifiés les pixels correspondant aux critères du masque forêt, un filtre est appliqué en fonction de la surface des entités ainsi définie, afin d'exclure les zones de très petite taille. La taille minimale retenue est de 0,3 ha.

- ☺ Tous les polygones de moins de 0,3 ha sont exclus.
- ☺ Tous les polygones de plus de 1 ha sont retenus.
- ☺ Les polygones compris entre 0.3 et 1 ha sont (Figure 12) :
 - Exclus s'il n'existe pas d'autre polygone à moins de 30 m
 - Inclus s'ils sont distants de moins de 30m d'un autre polygone et si la somme des surfaces est supérieure à 1 ha, exclus dans le cas où la somme de ces surfaces est inférieure à 1ha.

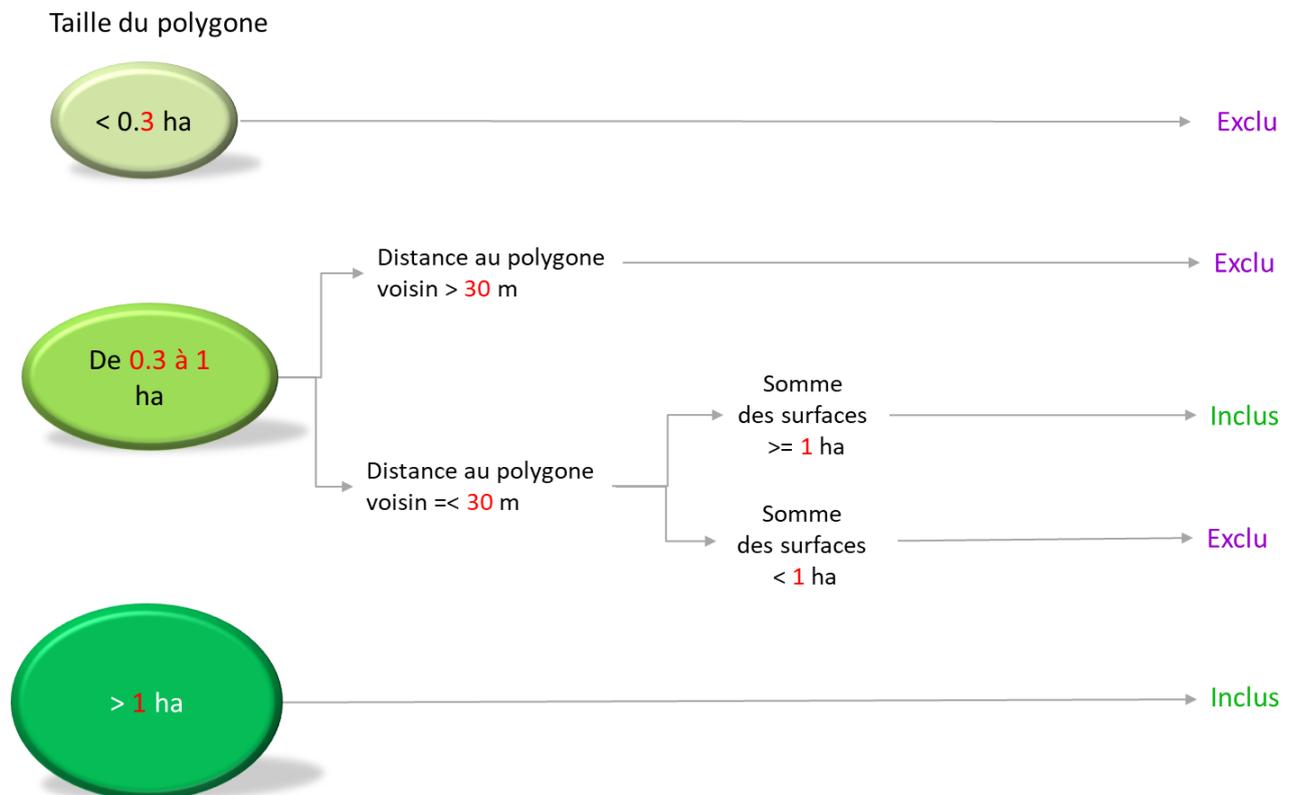


Figure 12 : Seuils de surface retenus pour la cartographie de l'aléa

5.2.2 Cartographie des types de végétation

5.2.2.1 Identification des « essences »

Le classement des images satellite a permis d'affecter à chaque pixel une « essence », selon 11 classes :

- 📍 Pin maritime
- 📍 Pin noir, Pin laricio
- 📍 Pin d'Alep
- 📍 Chêne vert
- 📍 Châtaignier
- 📍 Chêne décidu
- 📍 Hêtre
- 📍 Douglas, sapin
- 📍 Garrigue non boisée
- 📍 Formations herbacées
- 📍 Roches

5.2.2.2 Traitement des zones spéciales

Certaines zones ont dû faire l'objet de traitements particuliers.

- 📍 Un type « ripisylve » est créé pour tenir compte du fait que ces peuplements présentent une teneur en eau plus élevée et par conséquent un comportement vis-à-vis du feu différent des peuplements feuillus hors ripisylves. Les ripisylves ont été obtenues en appliquant un tampon sur les cours d'eau du département sélectionnés en accord avec les membres du comité technique. La taille du tampon varie en fonction des rivières entre 20 mètres (10 m de part et d'autre du ruisseau - en violet sur Figure 13 ci-dessous), 50 mètres (rouge) et 100 mètres (vert). Ce traitement ne concerne que les principaux cours d'eau. Pour les cours d'eau plus petits, on considère en effet que la teneur en eau des végétaux lors de la période estivale n'est pas significativement augmentée par rapport aux peuplements hors bordure de rivière.
- 📍 Les zones brûlées sont prises en compte si elles couvrent plus de 1 ha. Pour les identifier, la couche utilisée est la couche SIG des contours de feux depuis 2009. Elles sont cartographiées en leur affectant le type de végétation qui figure dans la BD forêt avant le feu.
- 📍 Les coupes forestières sont identifiées à l'aide d'une couche SIG réalisée par l'IRSTEA. Dans la cartographie de la végétation, ces zones sont cartographiées avec le type de végétation présent avant la coupe (d'après la BD Forêt V2), excepté pour les zones ayant fait l'objet d'une autorisation de défrichement. La DDTM du Gard a fourni une couche des zones ayant fait l'objet d'une autorisation de défrichement. Ces zones sont cartographiées dans leur état actuel identifié par la classification des images satellite. Ainsi, si la zone est déjà défrichée, elle apparaîtra comme défrichée.

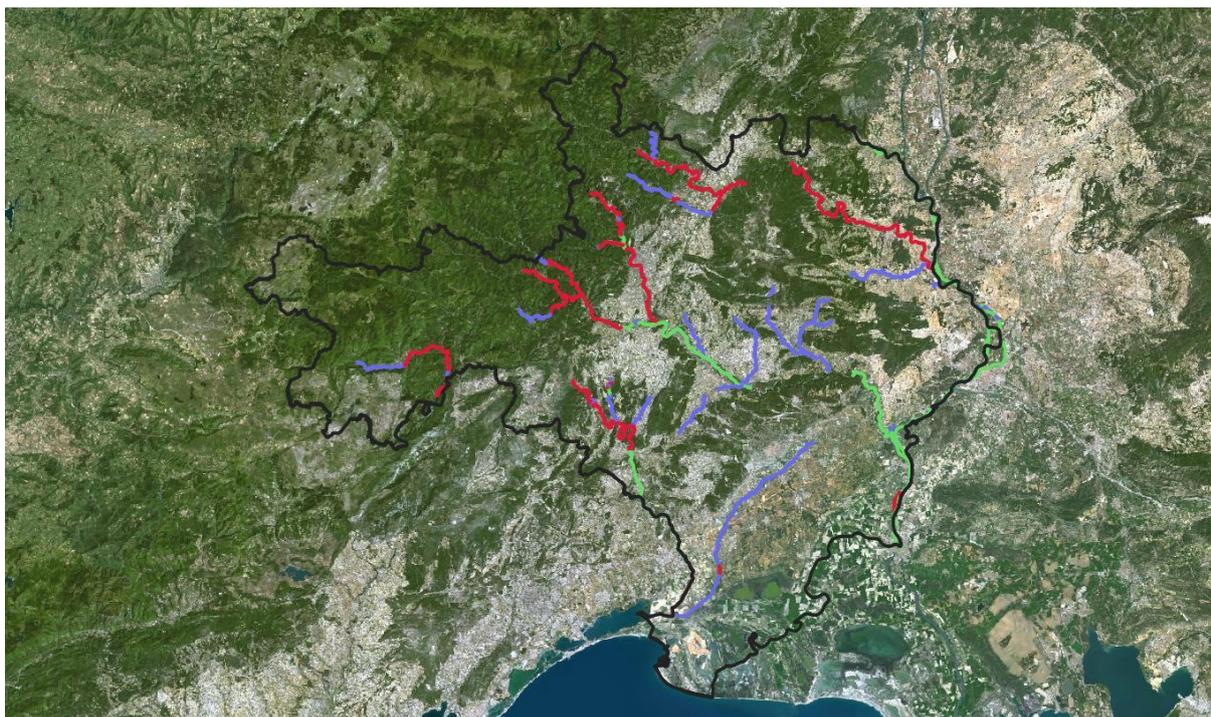


Figure 13 : Ripisylves prises en compte

5.2.2.3 Typologie de la végétation

La typologie de la végétation vise à transformer les essences pures identifiés sur les pixels en types de végétation, en fonction du mélange de pixels que l'observe dans une grille de 30 m x 30 m.

Les types de végétation sont définis sur deux critères :

- 🕒 Le pourcentage d'arbres (des forêts denses avec plus 70 % d'arbres aux zones de végétation herbacées et de garrigues non boisées ou landes où les arbres représentent moins de 10 % du couvert).
- 🕒 La proportion des différentes essences rencontrées : on parlera d'un peuplement d'une essence si cette essence représente plus de 80 % du couvert des arbres, et de peuplement mélangé dans le cas contraire.

La Figure 14 détaille les principes de la typologie de végétation.

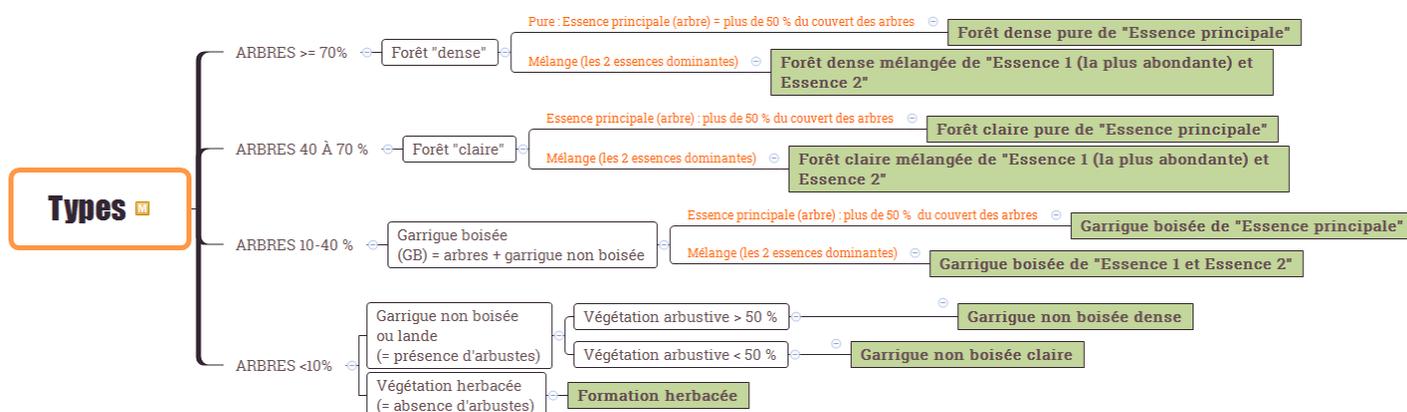


Figure 14 : Principe de définition des types de végétation

Concrètement pour les traitements cartographiques, une couche raster s'apparente à une grille formée de plusieurs pixels. L'objectif est de sélectionner une fenêtre glissante de 9 pixels (3 x 3 pixels, donc une fenêtre de 30 mètres x 30 mètres) et de compter le nombre de pixels pour chacune des 11 classes. Les règles décrites ci-dessus sont ensuite appliquées et la typologie est alors attribuée à la fenêtre étudiée.

6 Modélisation du combustible

6.1 Rappel de la méthode de modélisation

Le modèle utilisé pour caractériser l'intensité du phénomène (ou puissance potentielle du feu) est le modèle Firetec, développé dans le cadre d'un projet de recherche Européen, en collaboration notamment avec l'INRA d'Avignon.

Pour modéliser le combustible, il faut décrire avec minutie la composition floristique des formations végétales. Cette étape consiste à transformer les types de végétation en types de combustible.

La typologie de l'occupation du sol doit donc être détaillée pour y adjoindre la composition floristique moyenne, afin d'y calculer la biomasse combustible nécessaire notamment à l'évaluation de l'intensité.

La biomasse participant à la combustion (éléments fins de diamètre inférieur à 2mm) est estimée selon une méthode d'estimation quantifiée appliquée sur le terrain, ainsi qu'à l'aide de la bibliographie en la matière et de la consultation des organismes experts en la matière (IRSTEA, INRA, ...).

Le modèle Firetec utilise les données description du combustible suivantes :

1 – Des données issues de la description du type de végétation

- 🕒 le pourcentage de couvert par espèce, en distinguant la strate herbacée, la strate arbustive, et la strate arborée
- 🕒 la hauteur moyenne par espèce, en distinguant les 3 strates comme ci-dessus ;
- 🕒 l'épaisseur du houppier (différence entre hauteur totale et hauteur de la première branche) pour chaque espèce de la strate arborée

2- Des données caractéristiques de chaque espèce

- 🕒 la densité d'encombrement (ou masse volumique), qui permet de transformer le phytovolume en phytomasse, en tenant compte du pourcentage de biomasse combustible qui participe activement à la propagation (éléments fins)
- 🕒 la teneur en eau de chaque espèce ; elle peut être modulée en fonction du type de végétation pour, par exemple, tenir compte de l'ambiance plus humide des ripisylves, ou de différences pour une même espèce située en altitude ou en zone méditerranéenne. Les valeurs utilisées pour la teneur en eau sont décrites au paragraphe 4.2 (page 15) et en annexe 1.

Les données par espèce (point n°2) sont tirées de la bibliographie et du travail effectué par l'INRA pour l'élaboration des modèles Firetec.

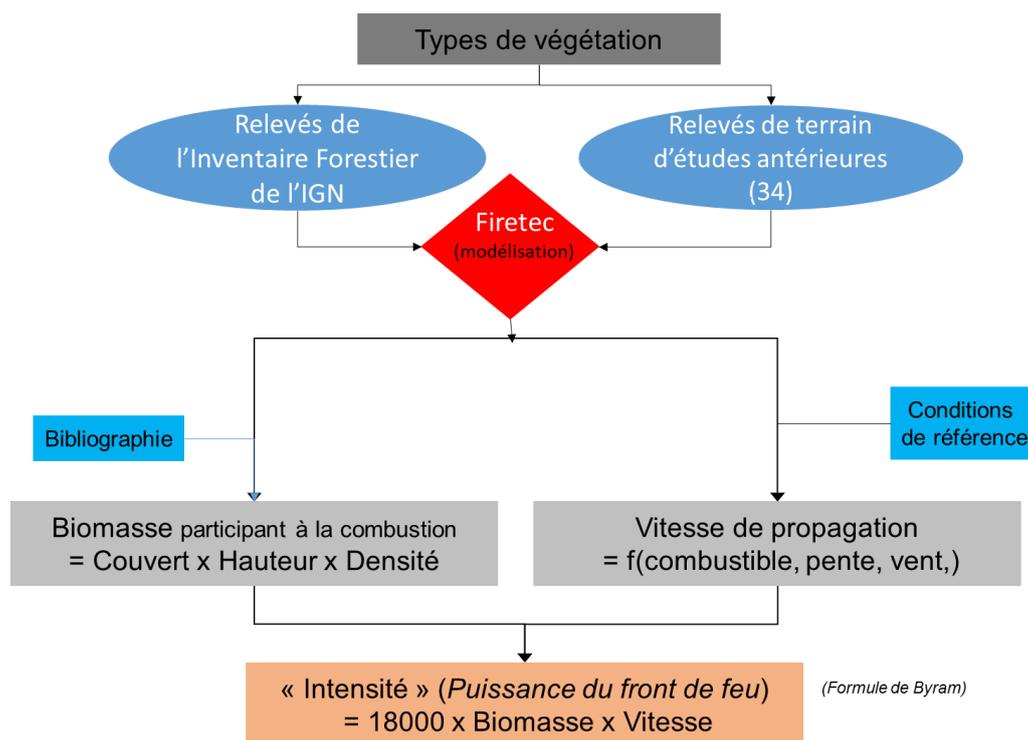


Figure 15 : Principe du calcul de la composante intensité de l'aléa

6.2 Données utilisées

La description fine des types de combustible a été réalisée à l'aide des relevés de terrain existants, provenant soit des relevés de l'IFN/IFN, soit de relevés réalisés par l'Agence MTDa dans l'Hérault dans le cadre d'autres études (notamment les cartes d'aléa des PPRIF).

L'utilisation des relevés de l'IFN/IGN permet de couvrir la variabilité des types de végétation des deux départements.

6.2.1 Données de l'IGN/IFN

L'IGN/IFN procède régulièrement à deux types de relevés de terrain, sur les mêmes placettes :

- 🕒 des relevés de couvert, où les arbres sont mesurés (hauteur, diamètre, pourcentage de couvert)
- 🕒 des relevés de flore, où l'ensemble de la végétation arbustive et herbacée est relevé, en termes d'espèces et d'« abondance ».

Ces relevés donnent la composition précise de la végétation sur le point donné. A chaque relevé a été affecté un type de végétation selon la typologie de l'occupation du sol définie ci-dessus.

Toutes les informations nécessaires à la modélisation n'étant pas disponibles dans les relevés, certaines données ont dû être extrapolées ou estimées. En effet, les espèces autres que les arbres ne sont présentes que dans les relevés de flore, avec deux limites :

- 🕒 la hauteur n'est pas relevée, elle a donc été fixée de manière arbitraire selon l'espèce (0,5 m en général pour les arbustes)
- 🕒 le couvert est estimé en classe d'abondance.

La hauteur à utiliser pour la strate arbustive a été définie en accord avec les DDTM du Gard et de l'Hérault, en distinguant les forêts denses d'une part et les forêts claires et les garrigues d'autre part.

- ☉ Dans les **forêts denses**, la hauteur de **0.5 m** est utilisée, pour toutes les espèces arbustives, excepté le thym dont la hauteur est fixée à 0.2 m.
- ☉ Dans les **forêts claires et les garrigues** non boisées ou garrigues boisées, les hauteurs suivantes sont retenues :

Espèce	Hauteur dans les types garrigues boisées et forêts claires (en mètres)
Genêt d'Espagne	2
Genévrier cade	2
Bruyère à balais	1,5
Bruyère arborescente	1,5
Chêne kermès	1
Autres bruyères	0,8
Buis	0,8
Genêt à balai	0,8
Genêt purgatif	0,8
Callune	0,6
Thym	0,2

Le **pourcentage de couvert utilisé** pour la modélisation est déduit des classes d'abondance des relevés de flore, en utilisant dans la plupart des cas la valeur médiane de la classe, conduisant aux valeurs suivantes :

Tableau 1 : classes de couvert des relevés « flore » de l'IGN/IFN

Valeur d'abondance – dominance (relevé)	Classe de % de couvert correspondante	% de couvert médian de la classe pour la modélisation
1	0 à 5 % (présence faible)	2
2	5 à 25 % (présence nette)	15
3	25 à 50 %	40
4	50 à 75 %	60
5	75 à 100 %	90

Dans certains cas, lorsque de nombreuses espèces sont présentes, l'utilisation de la valeur médiane de la classe de couvert conduit à un couvert global excessif (200% et plus), qui ne semble pas réaliste selon les espèces présentes. Dans ce cas, c'est le couvert correspondant à la borne inférieure de la classe qui a été utilisé.

6.2.2 Relevés de terrains d'études antérieures

En complément des relevés de l'IGN/IFN, des relevés réalisés par l'agence MTD A dans le cadre d'études antérieures ont aussi été utilisés. Ils contiennent des informations précises sur les couverts mais aussi les hauteurs. En revanche, ils sont peu nombreux et constituent uniquement des compléments.

6.3 Hypothèses sur le comportement vis-à-vis du feu des différents types de végétation

6.3.1 Participation de la strate arborée à la combustion

En accord avec les DDTM du Gard et de l'Hérault, les décisions suivantes ([Tableau 2](#)) ont été prises en ce qui concerne **la participation de la strate arborée à la combustion** car les conditions de référence prise en compte sont favorables à des feux rapides et mobilisant une grande quantité de combustible (vent établi, humidité basse, forte sécheresse).

Le [Tableau 2](#) intègre également les décisions prise concernant les peuplements de chêne vert. Ces derniers ont fait l'objet d'une analyse spécifique décrite au paragraphe 6.3.2.

Tableau 2 : Hypothèses sur la participation de la strate arborée à la combustion selon les types de végétation

Type de végétation	Participation de la strate arborée à la combustion	Remarque
Tous les peuplements purs de pin d'Alep (quelle que soit la hauteur des arbres)	Oui	Dans le cas des zones débroussaillées, les arbres ne participent pas à la combustion il n'y a pas continuité entre la strate arbustive, maintenue basse, et la strate arborée. Toutefois, ces types ne pourront pas être identifiés avec la classification d'image satellite. Ils pourront éventuellement être identifiés si des données existent sur leur localisation.
Tous les peuplements contenant du pin d'Alep, en mélange	Partiellement (66 %)	Applicable aux mélanges de pin d'Alep avec du chêne vert, en forêt claire ou forêt dense (types 27 et 30) ou avec du chêne pubescent (type 24)
Tous les peuplements de pin maritime	Oui	En conditions sévères, la strate arborée peut brûler
Peuplements de pin noir, en forêt dense ou forêt claire (Types 20 et 29)	Oui	Des feux dans l'Hérault et dans le Gard (2017) ont brûlé les pins noirs. Le feu de Montpeyroux du 28 juillet 1984 a détruit la totalité des pinèdes de pin de Salzmann parcourues par le feu
Peuplements de châtaignier	Non	Applicable aux forêts denses, forêt claires et boisements lâches de châtaignier.
Forêts denses et forêts claires de Chêne pubescent	Non	Applicable aux forêts denses et aux forêts claires de chêne pubescent, ainsi qu'aux mélanges chêne vert / chêne pubescent (type 13)
Garrigues boisées de chêne pubescent (type 8)	Oui	Ce type apparaît en classe 5, ce qui est cohérent avec l'expertise du COPIL
Peuplements de hêtre	Non	Le classement des peuplements de hêtre en classe 2 est cohérent. Les hêtraies calcicoles, un peu plus combustibles, sont marginales et ne seront pas distinguées.
Forêts denses de chêne vert (type 51) - peuplements situés à <u>plus</u> de 300 m d'altitude	Partiellement (10 %) et modification de la teneur en eau	Cette hypothèse conduit à une intensité de classe 3

Type de végétation	Participation de la strate arborée à la combustion	Remarque
Forêts denses de chêne vert (type 441) - peuplements situés à <u>moins</u> de 300 m d'altitude	Partiellement (30 %)	Cette hypothèse conduit à une intensité de classe 4
Forêts claires de chêne vert (type 17)	Partiellement	Dans cette hypothèse le peuplement apparaît en classe d'intensité 4.

6.3.2 Cas particulier des peuplements de chêne vert

Des réponses doivent être apportées aux questions sur le fait que les chênes verts participent ou non à la combustion, sur la base d'éléments les plus objectifs possibles.

Une analyse particulière a donc été menée pour ces peuplement, grâce à l'historique des feux et aux retours d'expérience des services incendie et des services forestiers.

6.3.2.1 Historique des feux du Gard et de l'Hérault dans le chêne vert

6.3.2.1.1 Expertise des services incendie et des services forestiers

On ne dispose pas de connaissance sur le comportement des feux dans les peuplements de chêne vert du Gard et de l'Hérault et de références sur des feux de taille supérieure à 10 ha. Les grands massifs de chêne vert gardois et héraultais sont peu concernés par les incendies de forêt que ce soit en termes de fréquence mais aussi de surface incendiée.

La vitesse de propagation des feux dans les peuplements denses et clairs de chêne vert est peu élevée.

Après consultation de forestiers et de pompiers expérimentés des services incendie de l'Hérault, les éléments suivants ressortent :

- 🕒 Il n'y a pas eu de feux importants dans le Chêne vert et le Chêne blanc. Les seuls feux virulents et rapides ayant parcouru plus de 10 ha dans le grand quart Nord-Est de l'Hérault, où le chêne vert est omniprésent, se sont produits dans des formations arbustives et de garrigues mais pas de chêne vert et de chêne blanc. Le feu de Viols le Fort a parcouru dans les années 2000 une quinzaine d'hectares dans des peuplements ouverts de Chêne Vert et de Chêne blanc.
- 🕒 Dans les peuplements denses de Chêne vert (plus de 40% de couvert), le feu a du mal à progresser en raison de strates herbacée et arbustive peu développées. L'inflammabilité est limitée et les incendies viennent buter et s'arrêter sur ces peuplements qui sont toutefois très combustibles (les lisières brûlent sur quelques dizaines de mètres). La densité et le recouvrement en chêne vert est le principal paramètre qui influe sur le développement du feu. **Les informations du SDIS du Var confirment ce constat, situant également la limite des peuplements plus inflammable autour de 40 % de couvert.**
- 🕒 Quelques rares feux se sont développés sur une quinzaine d'hectares au cours des 20 dernières années en versant Sud pentu dans les vallées de l'Orb et de la Mare mais la pente était forte et les peuplements autour de 30 à 50% de recouvrement au sol.
- 🕒 Pour le Chêne blanc, même constat, avec une inflammabilité encore plus limitée que le Chêne vert. Dans ces peuplements aussi, ce sont la densité et le recouvrement en chêne blanc qui influent sur le développement du feu. Plus le peuplement est dense, plus il aura du mal à brûler

car le feu aura des difficultés à se propager en raison d'une inflammabilité moindre (peu de combustible fin présent dans les strates herbacée et arbustive).

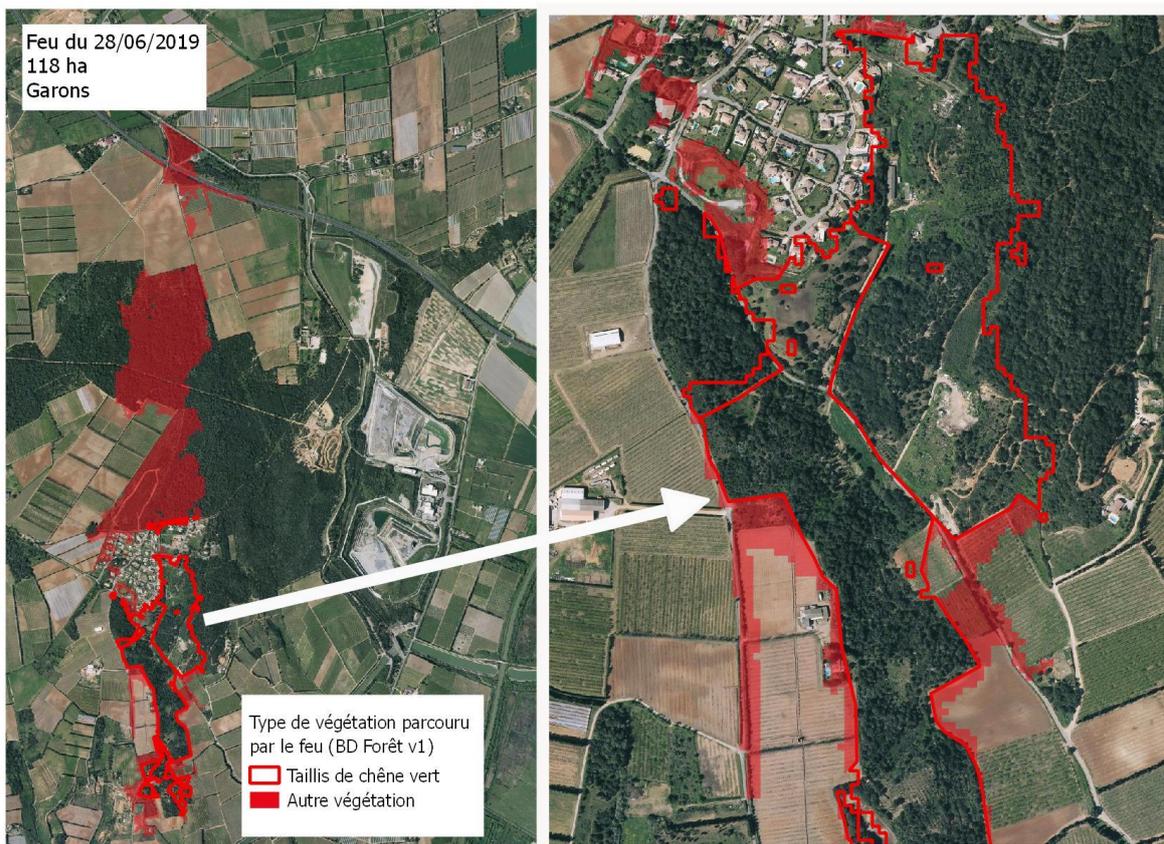
6.3.2.1.2 Analyse des contours de feux ayant concerné du chêne vert

Le croisement des contours de feux et de la cartographie de la végétation de l'IGN/IFN permet une approche de la participation des peuplements de chêne vert aux incendies :

- 🕒 dans le Gard, entre 2012 et 2019, 96 ha de taillis de chêne vert ont été parcourus par le feu (soit 3 % des surfaces brûlées) et 168 ha de garrigue boisée de chêne vert (soit 6 % des surfaces brûlées) – ces types de végétation représentant respectivement 19 et 9 % des surfaces combustibles de la BD forêt v1 dans le département.
- 🕒 les données de l'Hérault entre 2004 et 2019 confirment la faible participation des taillis de chêne vert aux feux : 1,54 % des surfaces parcourues (3% pour les garrigues boisées de chêne vert) – ces types de végétation représentant respectivement 18 et 10 % des surfaces combustibles de la BD forêt v1 dans le département.

Feu de Garons (30)

Une partie du contour feu a concerné de la végétation qualifiée de « Taillis de chêne vert » par la BD forêt v2.



Laudun l'Ardoise (30)

Le contour feu concerne essentiellement de la végétation qualifiée de « Taillis de chêne vert » par la BD forêt v2.



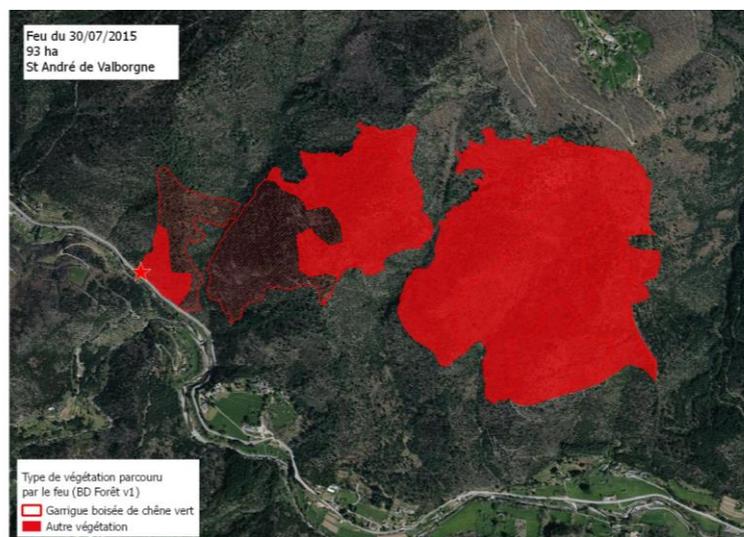
Pujaut (2019)

Le feu a parcouru des « garrigues boisées de chêne vert »



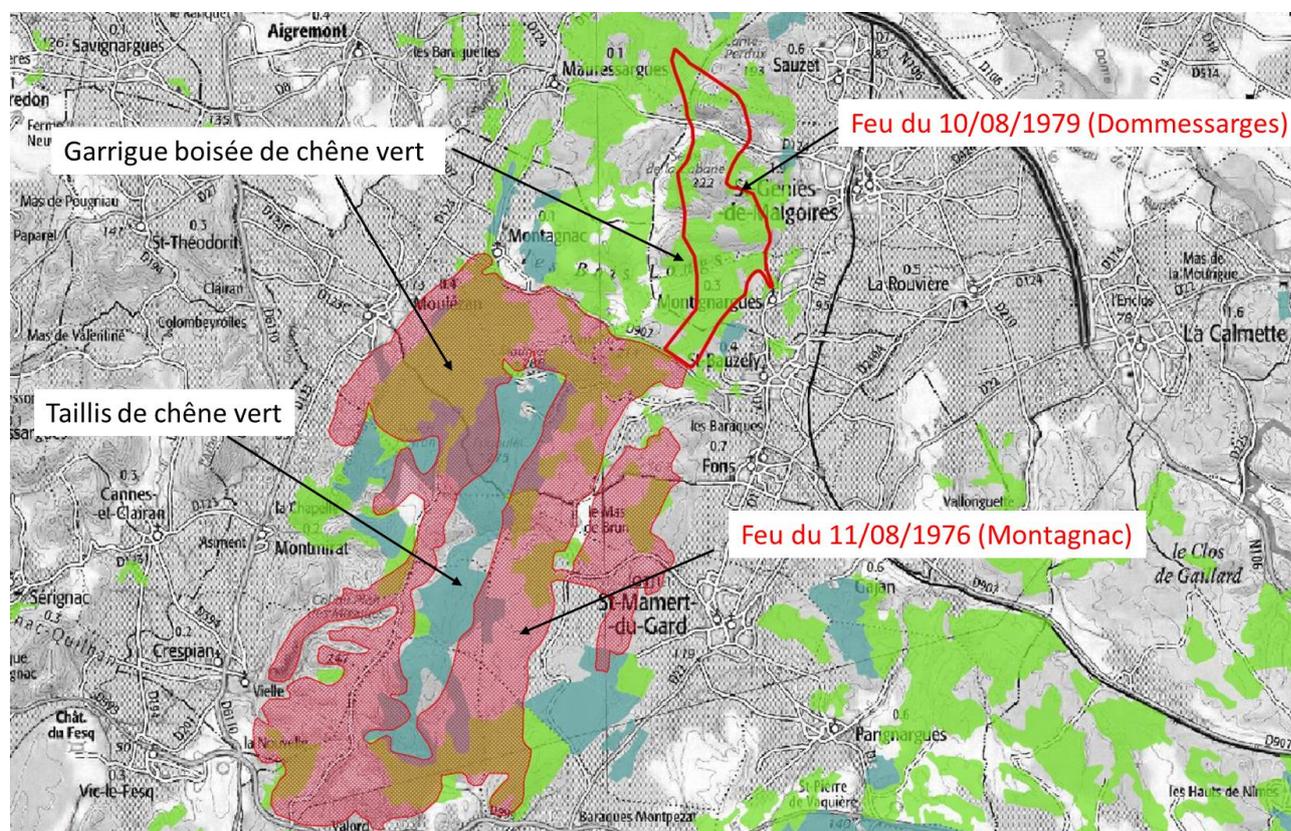
St André de Valborgne (2015)

Le feu a parcouru des « garrigues boisées de chêne vert »



Feux du Bois des Lens (30)

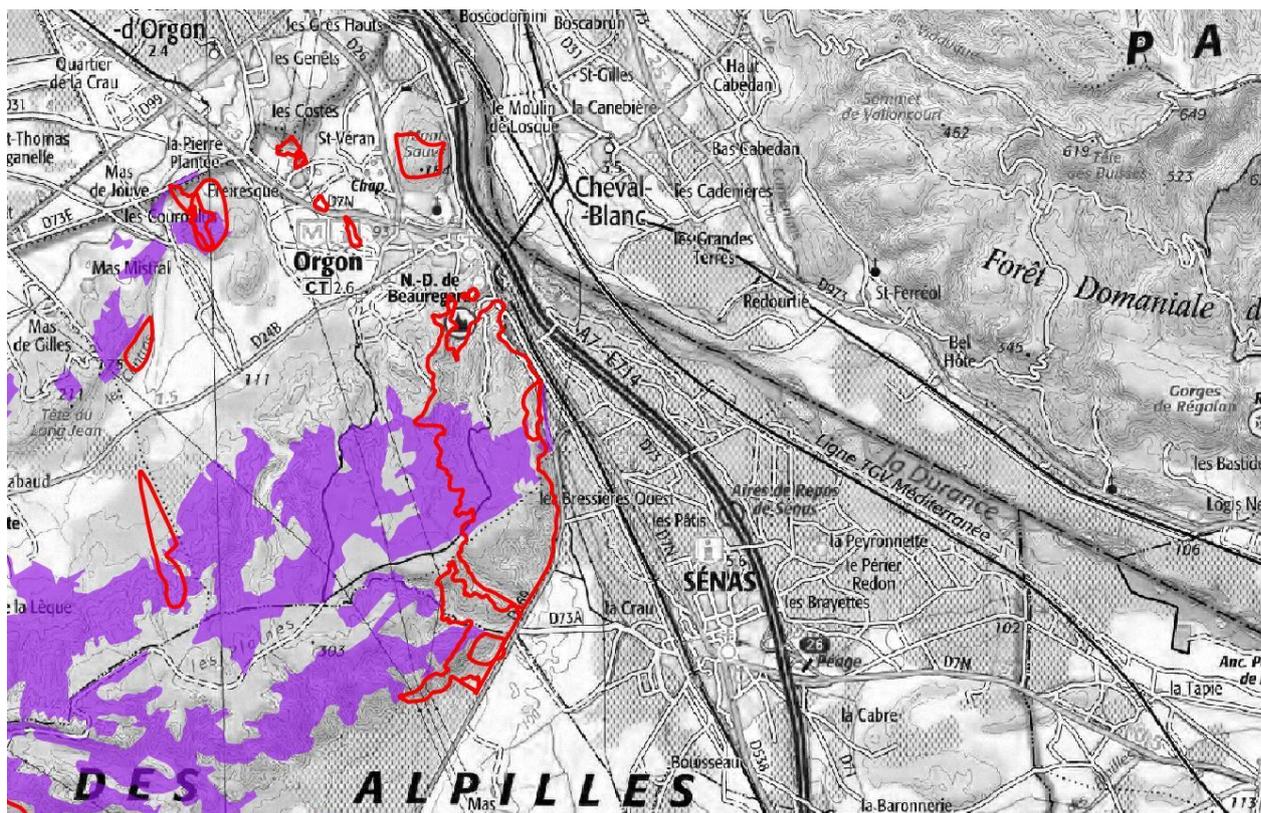
Ces feux ont parcouru les garrigues boisées de chêne vert et semblent avoir épargné les taillis de chêne vert.



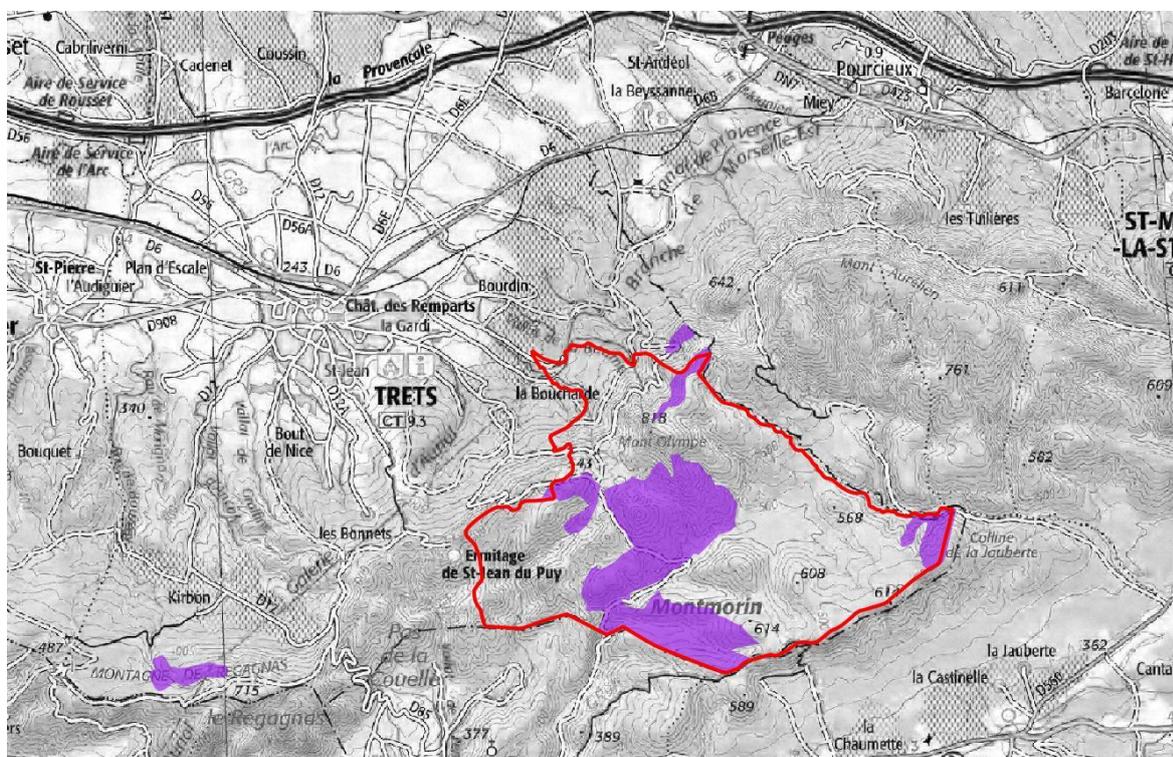
6.3.2.2 Historique des feux d'autres départements dans le chêne vert

Dans les autres départements, quelques feux ont parcouru des peuplements de chêne vert ou de chêne blanc :

- 🕒 Les feux d'Artigues (83), a parcouru des formations mélangées de chêne blanc et de chêne vert en 2001 et 2017 ; il s'agissait de peuplements ouverts
- 🕒 Orgon (13) sur chêne vert en 2012 ; qualifié de « garrigues boisées de chêne vert » par la BD forêt v1 (zones en violet sur l'image ci-dessous).



- Le feu de Trets (13), en 1989, a parcouru des peuplements de chêne vert, qualifiés de « garrigues boisées de chêne vert » par la BD forêt v1 (zones en violet sur l'image ci-dessous).



6.3.2.3 Conclusion

Il ressort des différents éléments que les peuplements ouverts de chêne vert (type « garrigue boisées ») sont communément parcourus par le feu. Les peuplements fermés, de type taillis, semblent moins concernés par les feux, mais ils n'en sont pas totalement exempts (feux de Garons et de Laudun l'Ardoise).

Le comité technique réuni pour la carte d'aléa a donc pris les décisions suivantes :

- 🕒 L'absence totale de participation du chêne vert à la combustion semble excessive. Inversement, bien que des chênes verts aient brûlé dans certains feux dans le Gard (le feu arrivant à pleine puissance sur ces peuplements), cela concerne de faibles surfaces et les peuplements n'ont pas brûlé en totalité. Une combustion partielle des chênes verts est donc plus réaliste que la participation de tous les chênes verts à la combustion.
- 🕒 La limite altitudinale pour séparer les 2 types de situation est fixée à 300 m, après présentation de différentes options (200 m / 250 / 300). Les cartes présentées permettent de visualiser la limite (figure 1). Cette limite a été reconnue comme pertinente par les deux DDTM, chacune dans son département. De plus, les 300 m correspondent à la limite entre le méso-méditerranéen inférieur et supérieur.

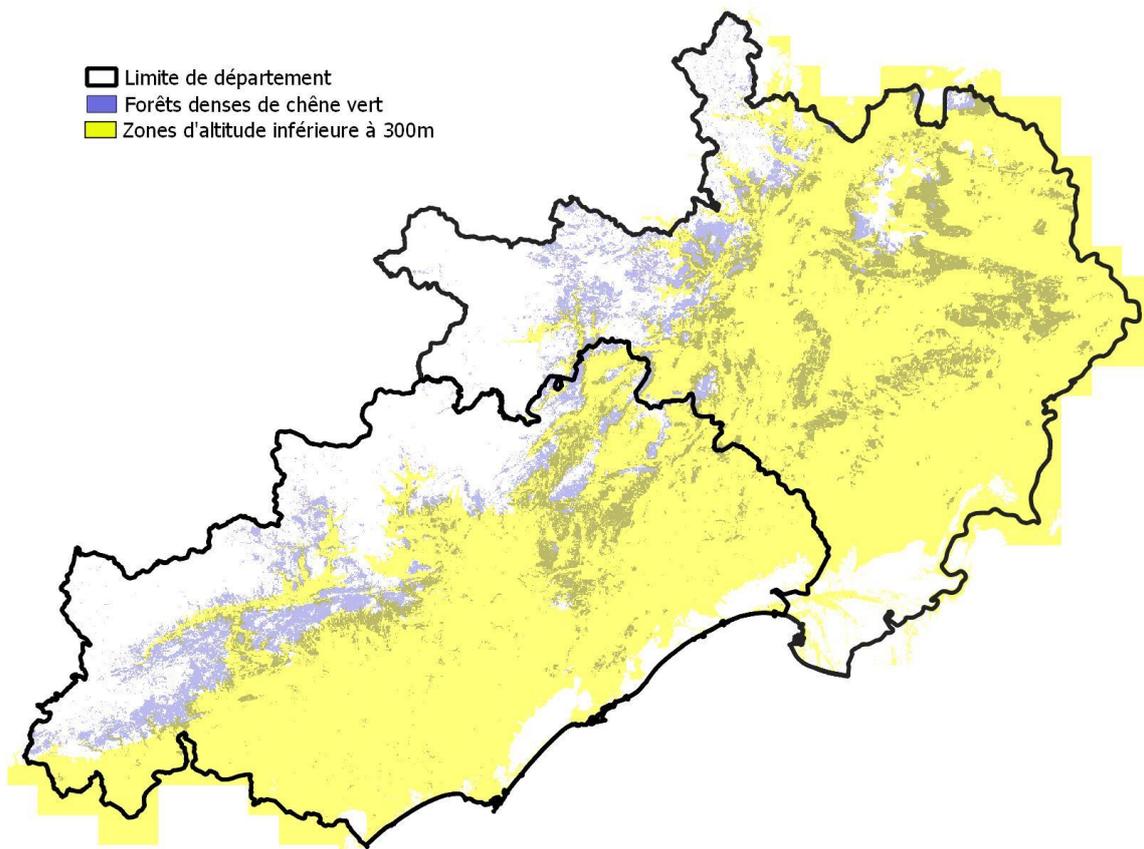


Figure 16 : Forêts de chêne vert denses (typologie TerraNis) et zones d'altitude inférieure à 300 m

6.4 Description des types de combustible

Les principales caractéristiques des types de végétation modélisés sont présentées en annexe 3.

6.5 Calcul de la biomasse

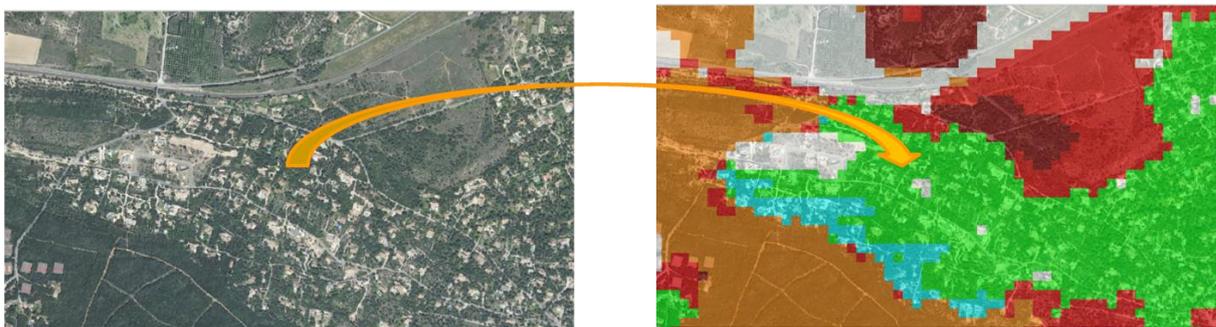
6.5.1 Cas général

Les relevés de terrain permettent de calculer de manière précise la biomasse qui participe activement à la propagation (éléments fins de diamètre inférieur à 2mm) et alimente le code de calcul Firetec afin de calculer de manière très précise la puissance du front de feu par l'application de la formule de Byram ($18000 \times \text{biomasse consommée} \times \text{vitesse de propagation}$).

6.5.2 Cas particulier des zones combustibles mitées par le bâti

Afin de tenir compte de l'artificialisation de la végétation liée à la présence des constructions et des jardins, routes etc. qui les accompagnent, la quantité de combustible est réduite dans ces zones :

- 🔄 Dans un rayon de 30 m autour des bâtis
- 🔄 En utilisant un coefficient de réduction de la quantité de combustible proportionnel à la surface artificialisée calculée sur cette base



Garrigue non boisée dense: Type naturel : classe 6 → Type bâti : classe 2

Figure 17 : Exemple de prise en compte du mitage du bâti dans une forêt dense de Pin d'Alep

6.6 Détermination de la vitesse de propagation

La vitesse de propagation dépend de la pente, de la vitesse et de la direction du vent, ainsi que de la teneur en eau des végétaux.

6.6.1 Prise en compte du relief

Le relief est appréhendé à l'aide de la BD Alti de l'IGN.

Ces données permettent de calculer d'une part la pente, d'autre part l'exposition des versants.

6.6.2 Vitesse et direction du vent

Les vitesses et direction du vent définies comme conditions de référence sont introduites comme paramètre d'entrée dans un logiciel qui permet de modéliser l'effet du relief sur le vent, en tenant compte des changements de direction et de vitesse dues au relief. Le relief est déduit du modèle numérique de terrain de l'IGN.

De nouveaux logiciels permettent aujourd'hui d'améliorer la prise en compte du vent. Le logiciel utilisé ici est le logiciel Windninja, testé dans le cadre du projet de recherche européen Fire Paradox :

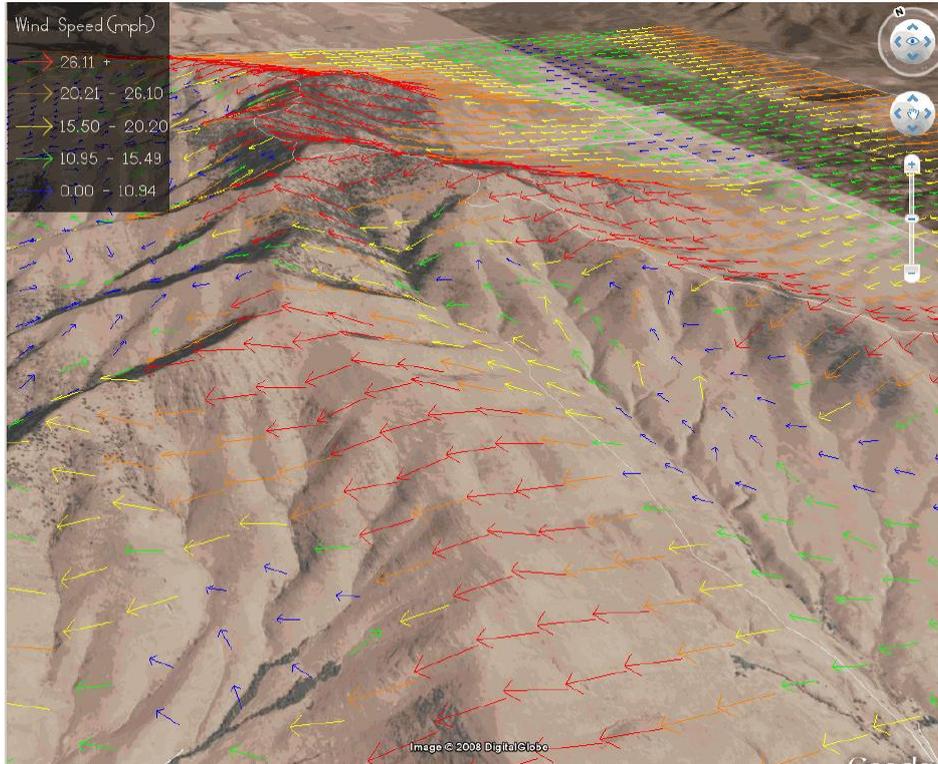
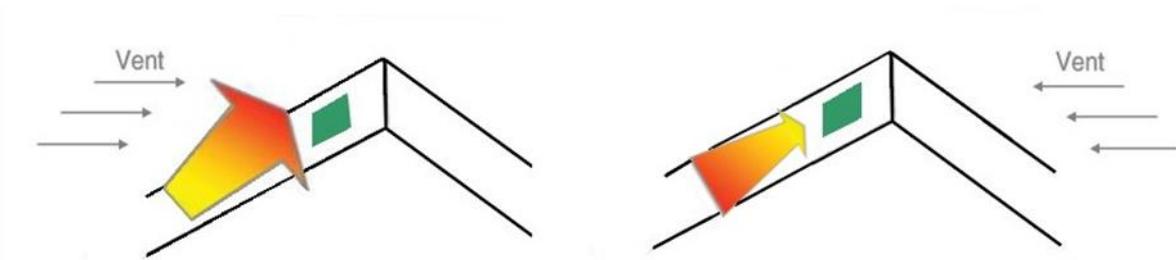


Figure 18 : Exemple de carte de vent produite avec le logiciel Windninja

D'autre part, l'effet de la combinaison du vent et de la pente est calculé.

La direction du vent par rapport à la ligne de plus grande pente a un effet sur la vitesse du vent, et donc sur la vitesse de propagation du feu. Par exemple, la vitesse du vent est maximale lorsque sa direction est parallèle à la ligne de plus grande pente.



Effet « positif » sur la vitesse de propagation, lorsque l'exposition « fait face » au vent

Effet « négatif » sur la vitesse de propagation, lorsque l'exposition « est opposée » au vent

Figure 19 : Effet combiné du vent et de la pente

6.6.3 Équations paramétriques (modèle Firetec)

Enfin, la vitesse de propagation est calculée en appliquant les équations paramétriques établies dans le cadre du projet de recherches "Fire Paradox". Ces équations, établies à l'aide du code de calcul physique FireTec, fournissent en effet une estimation de la vitesse de propagation pour pratiquement n'importe quel type de combustible comme une fonction du vent, de la pente, de la biomasse.

Les équations sont de deux types :

- 🔄 Pour les types de végétation « arbustifs » (où les arbres ne participent pas la combustion) :

$$\begin{aligned} \text{Vitesse_arbustes} &= \text{Constante} \\ &\times \text{Effet combiné de la densité d'encombrement et de la hauteur} \\ &\times \text{Effet de la teneur en eau} \\ &\times \text{Effet combiné du vent et de pente} \end{aligned}$$

- 🔄 Pour les types de combustibles avec une strate arborée participant à la combustion

$$\begin{aligned} \text{Vitesse_arbres} &= \text{Constante} \\ &\times \text{Vitesse_arbustes} \\ &\times \text{Effet de la vitesse du vent} \\ &\times \text{Effet du couvert des arbres} \\ &\times \text{Effet de la densité d'encombrement} \end{aligned}$$

Les résultats obtenus pour la vitesse de propagation, par type de combustible sont présentés en annexe 4.

7 Cartographie de l'aléa subi (intensité)

7.1 Classes d'intensité

A ce stade, l'ensemble des paramètres nécessaires pour appliquer la formule de Byram sont disponibles. Les valeurs brutes d'intensité sont converties en classes correspondant à l'échelle définie par l'IRSTEA (INRAE), qui permet de convertir une intensité de front de flamme en dégâts matériels observés (voir tableau ci-après).

Tableau 3 : Tableau des classes d'intensité, établie par l'IRSTEA (INRAE)

Classe d'intensité	Intensité (valeur)	Dégâts aux bâtiments	Dégâts à la végétation
1-Très faible	< 350 kW/m	Pas de dégât aux bâtiments	Sous-bois partiellement brûlés
2-Faible	Entre 350 et 1 700 kW/m	Dégâts faibles aux bâtiments si respect des prescriptions	Tous les buissons brûlés ainsi que les branches basses
3-Moyenne	Entre 1 700 et 3 500 kW/m	Dégâts faibles aux bâtiments si respect des prescriptions (mais volets en bois brûlés)	Troncs et cimes endommagés
4-Forte	Entre 3 500 et 7 000 kW/m	Dégâts aux bâtiments, même avec respect des prescriptions	Cimes toutes brûlées
5-Très forte	Plus de 7 000kW/m	Dégâts aux bâtiments, même avec respect des prescriptions	Arbres calcinés
6-Exceptionnelle	Plus de 10 000kW/m	Dégâts aux bâtiments, même avec respect des prescriptions	Arbres calcinés

7.2 Intensité de référence par type de végétation

La modélisation du combustible permet de calculer, pour chaque type de végétation, une intensité de référence, dans les conditions de référence données. On appelle ici « intensité de référence » l'intensité obtenue en faisant abstraction de l'effet de la pente et de l'exposition du versant au vent.

Les intensités de référence sont listées dans le tableau en annexe 4.

7.3 Cartographie de l'intensité et lissage

Deux cartes d'intensité sont calculées, dans les deux conditions de vent de référence retenues (vent de nord et vent de sud-est).

Afin de tenir compte des effets du feu qui peuvent être ressentis à distance, un lissage est effectué.

Ce lissage dépend de la direction du vent (Figure 20). Il est effectué séparément sur chacune des deux cartes d'intensité.

La principale conséquence du lissage est de faire apparaître une valeur d'intensité non nulle en lisière des massifs même si la zone est incombustible (Figure 21). Ceci permet de prendre en compte le fait qu'à proximité d'une pinède qui brûle, par exemple, on ressent la chaleur même si on se situe dans un champ incombustible.

Les cartes résultantes, pour chacune des situations de vent, sont présentées en annexe 5 (carte 1 et carte 2).

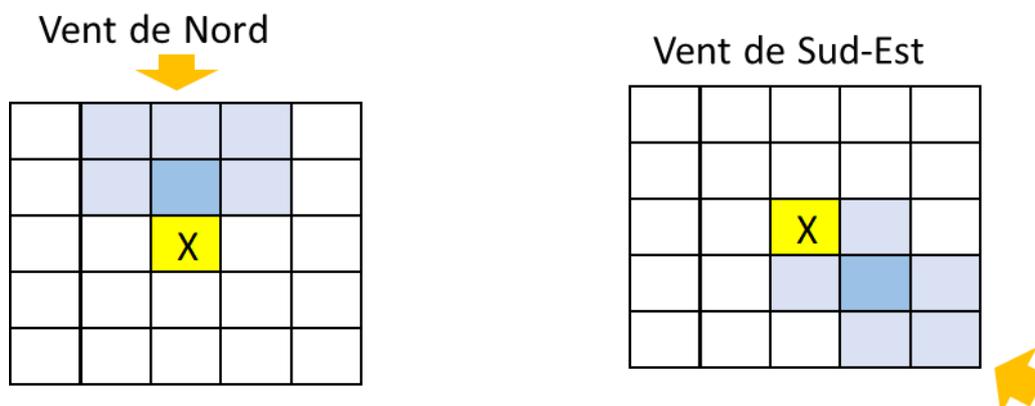


Figure 20 : Principe du lissage de la carte d'intensité

Intensité brute : intensité nulle en lisière de massif

Intensité lissée (vent de Nord) : forte à très forte dans les zones sous le vent

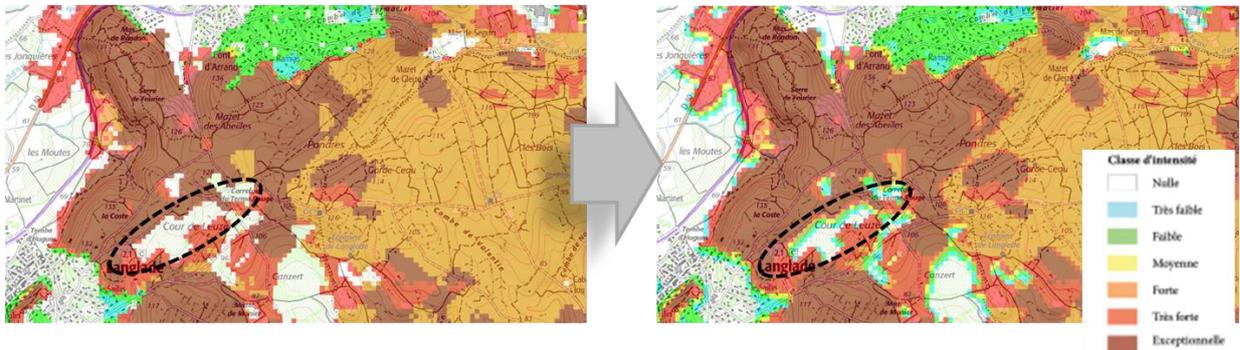


Figure 21 : Exemple d'effet du lissage en lisière de massif

7.4 Résultats : l'aléa subi

Les deux cartes d'intensité sont combinées pour calculer l'intensité maximale (carte 3 en annexe 5) . C'est cette carte qui est considérée comme reflétant l'aléa subi et qui sera utilisée dans le Porter A Connaissance. Les 6 classes d'intensité sont regroupées en 4 niveaux d'aléa de la manière suivante :

Tableau 4 : Regroupement des classes d'intensité en niveaux d'aléa

Classe d'intensité	Niveau d'aléa
0-Hors forêt	Hors forêt
1-Très faible	Faible
2-Faible	Faible
3-Moyenne	Moyen
4-Forte	Fort
5-Très forte	Très fort
6-Exceptionnelle	Très fort

La Figure 22 ci-après présente la répartition des différents niveaux d'aléa sur le département du Gard, en hectares et en pourcentage de la surface.

Plus du quart du département présente un aléa très fort. 15% du département présentent un aléa fort et 12% un aléa moyen.

47% du département se situent hors forêt ou en aléa faible.

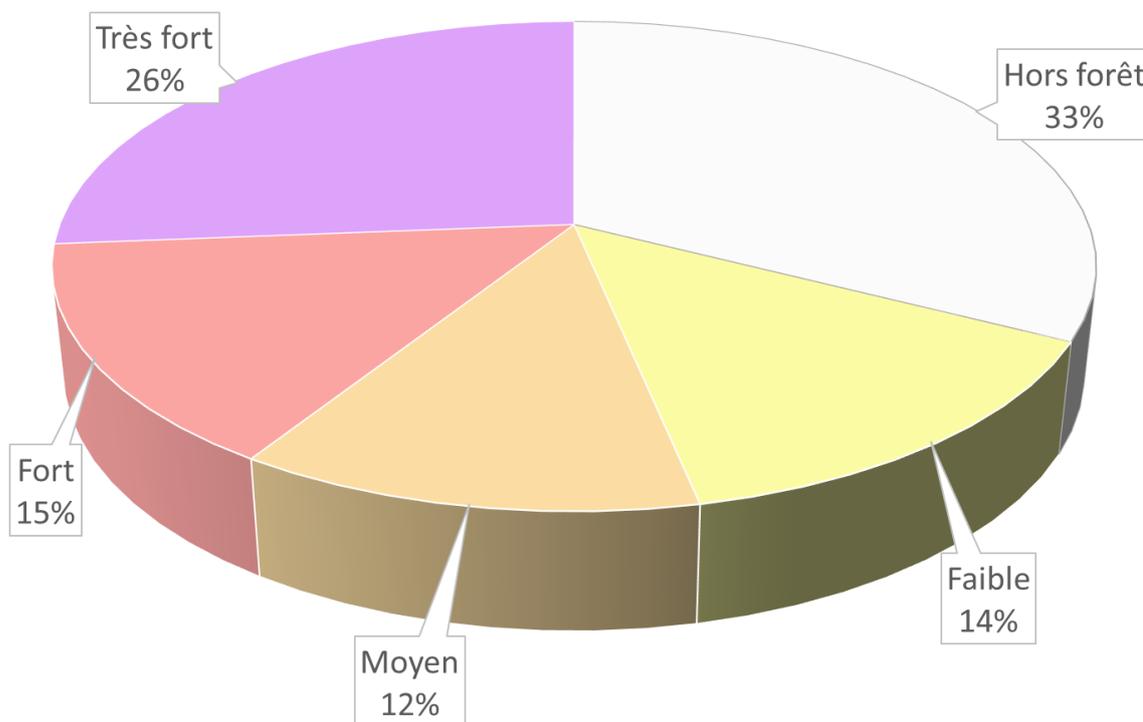


Figure 22 : Répartition des classes d'aléa subi sur le département du Gard

8 Annexes

8.1 Annexe 1: Teneur en eau des principales espèces

La teneur en eau est exprimée **en pourcentage du poids sec**, qui est la donnée d'entrée nécessaire aux outils de modélisation du combustible mis en œuvre.

Espèce	Teneur en eau %	Source
Arbousier	85	Réseau Hydrique 90%
Brachypode rameux	15	Réseau Hydrique 90%
Bruyère à balais	64	Réseau Hydrique 90%
Bruyère arborescente	49	Réseau Hydrique 90%
Bruyère cendrée	61	Réseau Hydrique 90%
Buis	59	Réseau Hydrique 90%
Callune	72	Réseau Hydrique 90%
Châtaignier	100	Dire d'expert arbres (moyen)
Chêne kermès	67	Réseau Hydrique 90%
Chêne pubescent	75	Réseau Hydrique 90%

Espèce	Teneur en eau %	Source
Chêne vert	61	Réseau Hydrique 90%
Ciste à feuilles de sauge	56	Réseau Hydrique 90%
Ciste cotonneux	49	Réseau Hydrique 90%
Ciste de Montpellier	45	Réseau Hydrique 90%
Cytise à feuille sessile	92	Réseau Hydrique 90%
Douglas	100	Dire d'expert arbres (moyen)
Filaria media	60	Dire d'expert arbustes (très sec)
Fougère aigle	60	Dire d'expert arbustes (sec)
Fragon petit-houx	60	Dire d'expert arbustes (sec)
Genêt à balais	85	Réseau Hydrique 90%
Genêt cendré	61	Réseau Hydrique 90%
Genêt d'Espagne	60	Dire d'expert arbustes (sec)
Genêt piquant	80	Dire d'expert arbustes (moyen)
Genet purgatif	72	Réseau Hydrique 90%
Genêt scorpion	61	Réseau Hydrique 90%
Genévrier cade	64	Réseau Hydrique 90%
Genévrier commun	64	Dire d'expert
Graminées	15	Dire d'expert
Pin d'Alep	100	Dire d'expert arbres (moyen)
Pin laricio	100	Dire d'expert arbres (moyen)
Pin maritime	100	Dire d'expert arbres (moyen)
Romarin	45	Réseau Hydrique 90%
Romarin	45	Réseau Hydrique 90%
Thym	60	Dire d'expert arbustes (très sec)
Viorne tin	60	Dire d'expert arbustes (sec)

8.2 Annexe 1: Méthode de cartographie des types de végétation

Cette annexe décrit les traitements effectués par la société TerraNIS sur les images satellite pour obtenir la carte des types de végétation qui sert de base au calcul de l'aléa.

Elle vise à décrire la méthode mise en place pour obtenir la cartographie de la typologie de végétation sur le département du Gard. Cette couche cartographique est construite à partir de plusieurs sources de données (images satellite, BD Forêt V1 & V2, etc.), d'outils de classification et de règles définies pour améliorer la cohérence entre les différentes couches.

8.2.1 Etape 1 : Classification des images Sentinel-2

La première étape est la production d'une classification à partir d'images satellite Sentinel-2 (résolution 10 mètres) et d'un modèle créé à partir de données d'apprentissage issues de la BD V2. La classification regroupe 11 classes. Chaque pixel de la couche appartient à une de ces 11 classes.

Chêne décidu	Sapin/Douglas	Garrigue non-boisée
Châtaigner	Pin d'Alep	Formation herbacée
Chêne vert	Pin Maritime	Roche
Hêtre	Pin laricio	

8.2.2 Etape 2 : Cohérence entre BDF_V1 et BDF_V2

Afin de garantir une certaine cohérence entre les différentes couches, certains pixels de la classification sont reclassés pour respecter certaines règles. Ces règles sont définies dans le fichier csv en annexe. Un exemple est donné ci-dessous :

BDF_V1	BDF_V2	TNS	Reclassement
futaie de hetre	Hetre	Sapin/Douglas	Hêtre
futaie de hetre	Hetre	Châtaigner	Hêtre
futaie de hetre	Mixte	Sapin/Douglas	
futaie de hetre	Mixte	Hêtre	Hêtre
futaie de hetre	Sapin, epicea	Sapin/Douglas	Sapin/Douglas

Aide à la lecture : exemple ligne 1 : Si la BDF_V1 est « futaie de hetre » et BDF_V2 «Hetre » et TerraNIS «Sapin/Douglas » alors on va reclasser les pixels en classe « Hêtre »

8.2.3 Etape 3 : Cohérence spatiale des peuplements

L'objectif est de rectifier des incohérences de la classification TerraNIS en s'appuyant sur la distribution spatiale des essences. Les zones de peuplements sont définies à partir de la BDF V2. Les règles appliquées à cette étape sont définies ci-dessous :

- Si on a du châtaigner / hors zone châtaigner / zone sud / zone chêne vert ==> chêne vert
- Si on a du châtaigner / hors zone châtaigner / zone sud / hors zone chêne vert ==> chêne décidus
- Si on a du châtaigner / hors zone châtaigner / zone nord / zone chêne décidus ==> chêne décidus
- Si on a du châtaigner / hors zone châtaigner / zone nord / hors zone chêne décidus ==> chêne vert
- Si on a du hêtre / hors zone hêtre / zone sud / zone chêne vert ==> chêne vert
- Si on a du hêtre / hors zone hêtre / zone sud / hors zone chêne vert ==> chêne décidus
- Si on a du hêtre / hors zone hêtre / zone nord / zone chêne décidus ==> chêne décidus
- Si on a du hêtre / hors zone hêtre / zone nord / hors zone chêne décidus ==> chêne vert
- Si on a du chêne décidus / hors zone chêne décidus / zone chêne vert ==> chêne vert

- Si on a du chêne vert / hors zone chêne vert / zone chêne décidus ==> chêne décidus
- Si Sapin Douglas / hors zone Sapin Douglas / zone pin Alep--> Pin d'Alep
- Si Sapin Douglas / hors zone Sapin Douglas / zone pin Laricio--> Pin laricio
- Si Sapin Douglas / hors zone Sapin Douglas / zone pin Maritime--> Pin Maritime
- Si Pin Maritime / hors zone Pin Maritime / zone pin Alep--> Pin d'Alep
- Si Pin Maritime / hors zone Pin Maritime / zone pin Laricio--> Pin laricio
- Si Pin Maritime / hors zone Pin Maritime / zone Sapin Douglas --> Sapin Douglas
- Si Pin laricio / hors zone Pin laricio / zone pin Alep--> Pin d'Alep
- Si Pin laricio / hors zone Pin laricio / zone Pin Maritime --> Pin Maritime
- Si Pin laricio / hors zone Pin laricio / zone Sapin Douglas --> Sapin Douglas
- Si Pin d'Alep / hors zone Pin d'Alep / zone pin Laricio --> Pin Laricio
- Si Pin d'Alep / hors zone Pin d'Alep / zone Pin Maritime --> Pin Maritime
- Si Pin d'Alep / hors zone Pin d'Alep / zone Sapin Douglas --> Sapin Douglas

8.2.4 Etape 4 : Peuplements des cèdres

Les peuplements de cèdres identifiés dans la BDF V1 sont reclassés en pin laricio dans la classification.

8.2.5 Etape 5 : Intégration des « zones spéciales »

Il y a 5 « zones spéciales » : les zones brûlées, les zones de coupes forestières, les zones défrichées, les zones NEVB et les zones ripisylves. Ces zones sont intégrées dans la classification afin de prendre en compte ces particularités. Les règles suivantes sont appliquées :

- Si feux de forêt : on garde le code de la BDF V2
- Si coupe forestière : on garde le code de la BDF V2
- Si zone défrichée : la zone est exclue du masque forêt
- Si NEVB ou Ripisylve → on garde le code TerraNIS

8.2.6 Etape 6 : créer les typologies de peuplements

A partir de la couche « Classification » et des règles présentées ci-dessous, on va créer les typologies (forêts denses, mélanges, etc.). La distinction « Arbres » et « Autres » est présentée dans le tableau ci-dessous (en vert les arbres et en jaune la classe « autres »).

Label TerraNIS

Chêne décidu

Châtaigner

Chêne vert

Hêtre

Sapin/Douglas

Pin d'Alep

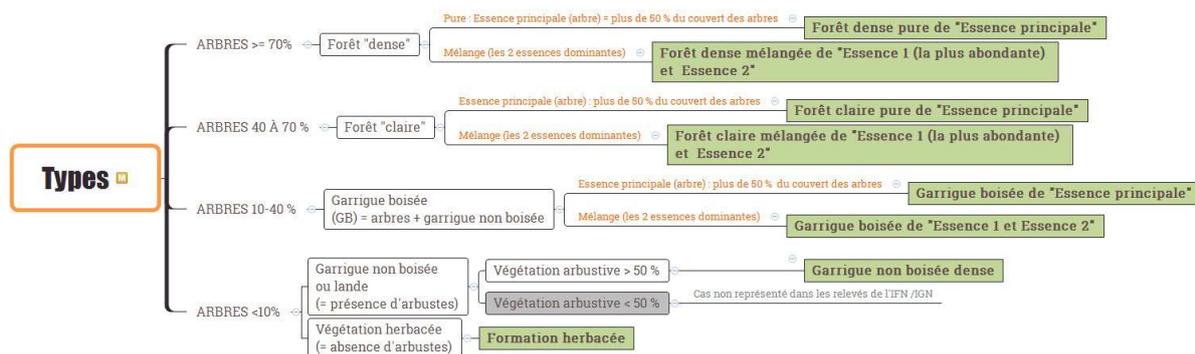
Pin Maritime

Pin laricio

Garrigue non-boisée

Formation herbacée

Roche



8.2.7 Etape 7 : Reclassement des mélanges inexistant.

« Des types de peuplements créés n'existent pas et doivent être supprimés, par exemple pin d'Alep, sapin »

Certains mélanges ne pouvant exister (exemple : forêt de chênes verts et de hêtre), les pixels concernés sont reclassés en prenant la valeur des pixels voisins.

8.2.8 Etape 8 : Reclassement des classes « Mixtes, feuillus et conifères ».

Suite à l'intégration de la BDF V2 (cf. § sur les zones spéciales à l'étape 7), certains pixels appartiennent à des classes « mixtes », « feuillus » et « conifères ». Si ces zones représentent des surfaces > 1 ha, ils sont reclassés en suivant les règles suivantes :

- Si classe « conifère » et que l'altitude > 300 mètres → Pin noir
- Si classe « conifère » et que l'altitude < 300 mètres → Pin Alep
- Si classe « feuillus » et que l'altitude > 300 mètres → Chêne décidu
- Si classe « feuillus » et que l'altitude < 300 mètres → Chêne vert
- Si classe « mixtes » et que l'altitude > 300 mètres → Mélange Chêne décidu – Pin noir
- Si classe « mixtes » et que l'altitude < 300 mètres → Mélange Chêne vert – Pin Alep

Remarque : la typologie reste inchangée (forêt dense, forêt claire, garrigue boisée)

Pour les surfaces de moins de 1ha, la valeur des pixels est modifiée en prenant la valeur des pixels voisins.

8.2.9 Etape 9 : Reclassement des zones ripisylves

Les zones ripisylves sont classées au sein d'une même classe : « Zones ripisylves ».



8.3 Annexe 3 : Description des types de végétation

N°	Catégorie	Type	N relevés	Classe intensité	Vitesse (km/h)	Strate arborée			Strate arbustive		Participation des arbres à la combustion
						Essences majoritaires	% couvert	Hauteur	Espèces majoritaires	% couvert	
1	Forêt dense	Forêt dense de Pin d'Alep	19	6	2.46	Pin d'Alep	80 à 90 %	7 à 15 m	Chêne kermès, ciste, genévrier, viorne tin, arbusier	50 à 75 %	Oui
2	Forêt dense	Forêt dense de Pin maritime	5	6	2.76	Pin maritime (Pin noir)	Plus de 75 %	15 à 20 m	Bruyères / callune, fougère, ronce	Supérieur à 60 %	Oui
11	Forêt dense	Forêt dense de Châtaignier et pin maritime	2	6	1.89	Châtaignier dominant, Pin maritime, pin noir	Plus de 75 %	11 à 15 m	Fougère aigle	30 à 50 %	Non
29	Forêt dense	Forêt dense de Pin noir	29	6	0.92	Pin noir	40 à 70 %	15 à 20 m	Buis, ronce / Fougère aigle / Bruyères	En général moins 25 à 50 %	Non
3	Forêt claire	Forêt claire de Pin d'Alep	32	6	1.52	Pin d'Alep	40 à 70 %	5 à 18 m	Chêne kermès, ciste, genévrier, romarin, buis, filaire (bruyère arborescente)	Généralement plus de 50 %	Oui
4	Forêt claire	Forêt claire de Pin maritime	3	6	1.80	Pin maritime, châtaignier	40 à 70 %	6 à 10 m (ponctuellement 15 et 20 m)	Callune, fougère aigle, ronce	Généralement plus de 75 %	Oui
20	Forêt claire	Forêt claire de Pin noir	18	6	0.91	Pin noir	40 à 70 %	10 à 15 m	Callune, bruyère, fougère / genêts / buis	50 à 75 % Herbacées : plus de 25 %	Non



N°	Catégorie	Type	N relevés	Classe intensité	Vitesse (km/h)	Strate arborée			Strate arbustive		Participation des arbres à la combustion
						Essences majoritaires	% couvert	Hauteur	Espèces majoritaires	% couvert	
30	Forêt claire	Forêt claire de Chêne vert et pin d'Alep	4	6	1.37	Chêne vert, pin d'Alep	40 à 70 %	5 à 8 m	Buis, romarin, genêt, genévrier Présence significative de graminées	Sous-bois arbustif assez peu représenté, de l'ordre de 25 % Graminées pouvant dépasser les 25 %	Non
24	Forêt dense	Forêt dense de Chêne pubescent et pin d'Alep (ou pin noir)	3	5	1.08	Chêne pubescent, Pin d'Alep (Chêne vert)	Plus de 70 %	10 à 15 m	Bruyère arborescente, fragon, chêne kermès, viorne tin, genévrier	Strate arbustive assez peu représentée, autour de 25 %	Partiellement (66%)
27	Forêt dense	Forêt dense de Chêne vert et pin d'Alep (ou pin noir)	4	5	1.32	Chêne vert, Pin d'Alep ou Pin noir	Plus de 75 %	7 à 15 m	Buis (Genêt d'Espagne, genévrier, chêne kermès, viorne tin), graminées, herbacées	En général faible, toujours inférieur à 50 %	Partiellement (66%)
8	Garrigue boisée	Garrigue boisée de Chêne pubescent	3	5	0.98	Chêne pubescent (ponctuellement, chêne vert, érable)	10 à 40 %	5 à 8 m	Buis, pistachier, nerprun	30 à 75 %	Oui
9	Garrigue boisée	Garrigue boisée de Chêne vert	17	5	0.72	Chêne vert (Pin d'Alep ponctuel)	10 à 40 %	4 à 6 m	Chêne kermès, thym, genévrier, cistes, genêts, buis, ... Graminées en général entre 25 et 40 %	En général supérieur à 75 %	Oui
10	Garrigue boisée	Garrigue boisée de Pin d'Alep	6	5	0.90	Pin d'Alep (Chêne vert ponctuel)	10 à 40 %	7 à 11 m	Chêne kermès, romarin, genévrier, bruyère multiflore,	En général supérieur à 75 %	Oui
21	Garrigue non boisée ou lande	Garrigue non boisée dense ou lande	7	5	0.93	Chêne vert, pin d'Alep, Chêne pubescent très ponctuels	Moins de 10 %	5 à 8 m	Chêne kermès, thym, romarin, genévrier, cistes, genêts	Plus de 50 % d'arbustes	Oui



N°	Catégorie	Type	N relevés	Classe intensité	Vitesse (km/h)	Strate arborée			Strate arbustive		Participation des arbres à la combustion
						Essences majoritaires	% couvert	Hauteur	Espèces majoritaires	% couvert	
7	Boisement lâche	Boisement lâche de Châtaignier	2	4	1.64	Châtaignier (ponctuellement chêne pubescent)	0	5 à 6 m	Callune, genêts, fougère, bruyère cendrée Graminées	30 à 40 %	Oui
15	Forêt claire	Forêt claire de Châtaignier	8	4	0.87	Châtaignier	40 à 70 %	5 à 10 m	Fougère aigle, callune, genêts, bruyère	En général supérieur à 50 %	Non
16	Forêt claire	Forêt claire de Chêne pubescent	43	4	1.00	Chêne pubescent, ponctuellement en mélange avec du chêne vert, ou du châtaignier / pin sylvestre	40 à 70 %	6 à 15 m	Fougère aigle, buis, fragon, viorne tin, genêt d'Espagne, ... Présence significative de graminées	Globalement plus de 50 %	Non
17	Forêt claire	Forêt claire de Chêne vert	83	4	0.63	Chêne vert (Chêne pubescent, filaire, arbousier, argousier)	40 à 70 %	2 à 7 m	Buis, fragon, chêne kermès, filaire, viorne tin, romarin, arbousier, bruyère	Variable mais fréquemment autour de 50 %, jusqu'à 75 % de buis	Partiellement
18	Forêt claire	Forêt claire de mélange de feuillus (Chêne vert et chêne pubescent)	7	4	1.02	Chêne vert, chêne pubescent (ponctuellement châtaignier)	40 à 70 %	5 à 12 m	Buis, fragon, viorne tin, bruyère arborescente, arbousier	50% à 75 %	Non
441	Forêt dense	Forêt dense de Chêne vert-peuplements situées à moins de 300 m d'altitude	87	4	1.4	Chêne vert (Chêne pubescent, filaire, argousier)	70 % à 100 %	3,5 m à 11 m	Buis, viorne tin, fragon, ponctuellement bruyère arborescente, Graminées autour de 10 %	Généralement moins de 25 %	Partiellement (30%)
33	Garrigue boisée	Garrigue boisée de Chêne pubescent et herbacées	4	4	2.83	Chêne pubescent, amélanchier, frêne	10 à 40 %	5 à 13 m	Strate arbustive peu représentée Graminées abondante : 30 à 50 %	Arbustes : moins de 15 %	Oui



N°	Catégorie	Type	N relevés	Classe intensité	Vitesse (km/h)	Strate arborée			Strate arbustive		Participation des arbres à la combustion
						Essences majoritaires	% couvert	Hauteur	Espèces majoritaires	% couvert	
31	Forêt claire	Forêt claire de Douglas ou sapin	8	3	0.90	Sapin / Épicéa / Douglas Avec ponctuellement châtaignier, chêne pubescent, pin noir)	40 à 70 %	8 à 30 m	Buis, callune, fougère, genêt	25 à 50 %	Non
32	Forêt claire	Forêt claire de Hêtre	5	3	0.88	Hêtre (avec ponctuellement chêne pubescent, pin sylvestre))	40 à 70 %	10 à 25 m	Buis	Pouvant dépasser 50 %	Non
12	Forêt dense	Forêt dense de Chêne pubescent	25	3	1.34	Chêne pubescent, ponctuellement en mélange avec du chêne vert	Plus de 70 %	7 à 10 m	Buis, bruyère à balais, chêne kermès, fragon	Plus de 75 %	Non
13	Forêt dense	Forêt dense de Chêne vert / chêne pubescent	7	3	1.39	Chêne vert, chêne pubescent	Plus de 70 %	6 à 12 m	Viorne tin, buis (genévrier, fragon)	25 à 50 %	Non - à confirmer
23	Forêt dense	Forêt dense de Chêne pubescent / châtaignier ou chêne vert / châtaignier	3	3	1.42	Chêne vert ou Chêne pubescent dominants, en mélange avec du châtaignier	Plus de 75 %	7 à 14 m	Buis, bruyère arborescente, fougère aigle	25 à 50 %	Non
51	Forêt dense	Forêt dense de Chêne vert	72	3	1.09	Chêne vert (Chêne pubescent, filaire, argousier)	70 % à 100 %	3,5 m à 11 m	Buis, viorne tin, fragon, ponctuellement bruyère arborescente, Graminées autour de 10 %	Généralement moins de 25 %	Partiellement (10 %)
211	Garrigue non boisée	Garrigue non boisée claire	64	3	0.88	Chêne vert, pin d'Alep, Chêne pubescent très ponctuels	Moins de 10 %	5 à 8 m	Chêne kermès, thym, romarin, genévrier, cistes, genêts	Moins de 50 % d'arbustes	Non
34	Forêt dense	Forêt dense de Châtaignier	38	2	0.93	Châtaignier Ponctuellement avec Chêne vert ou pin maritime	Plus de 75 %	8 à 15 m	Présence essentiellement de graminées et herbacées (Callune, bruyère, fougère aigle en faible recouvrement)	Recouvrement en général inférieur à 25 %	Non



N°	Catégorie	Type	N relevés	Classe intensité	Vitesse (km/h)	Strate arborée			Strate arbustive		Participation des arbres à la combustion
						Essences majoritaires	% couvert	Hauteur	Espèces majoritaires	% couvert	
35	Forêt dense	Forêt dense de Châtaignier / Chêne vert ou châtaignier / chêne pubescent	4	2	1.69	Châtaignier dominant, en mélange avec du Chêne vert ou du Chêne pubescent	Plus de 75 %	10 à 17 m	Bruyère cendrée, genêt à balai, graminées	Peu abondant, inférieur à 25 %	Non
38	Forêt dense	Forêt dense de Douglas ou sapin	20	2	0.81	Sapin / Épicéa / Douglas Avec ponctuellement hêtre, mélèze	Plus de 75 %	15 à 30 m	Essentiellement composé de graminées et herbacées (Ponctuellement buis, genêt purgatif, myrtille, fougères)	Faible, inférieur à 20 %	Non
39	Forêt dense	Forêt dense de Hêtre	36	2	0.96	Hêtre (avec ponctuellement chêne sessile, sapin, douglas, épicéa, pin noir)	Plus de 75 %	10 à 25 m	Graminées et herbacées, ponctuellement fougère, buis	Couvert très faible, en général de l'ordre de 10 à 20 %	Non
40	Forêt dense	Forêt dense de Hêtre et pin noir	1	2	1.04	Hêtre, Pin noir (chêne pubescent)	Plus de 75 %	13 à 23 m	Sous-bois très peu abondant (graminées, herbacées, fougère)	Moins de 25 %	Non
41	Forêt dense	Forêt dense de Hêtre et sapin	2	2	2.16	Mélange de hêtre et de sapin	Plus de 75 %	7 à 18 m	Graminées, herbacées	Peu abondant	Non
42	Forêt dense	Forêt dense de Ripisylve	8	2	0.44	Chêne vert, chêne pubescent (ponctuellement châtaignier, frêne)	Plus de 70 %	7 à 14 m	Lierre, fragon, houx, herbacées	25 à 40 %	Non
43	Formation herbacée	Formation herbacée	1	2	5.04	Absents	Absence d'arbres		Graminées	50%	Absence d'arbres
70	Lande humide	Lande humide	1	2	0.61	Absents	Absence d'arbres		Jonc, Tamaris, Saule, Orme, Herbacées	Plus de 50 %	Absence d'arbres



8.4 Annexe 4 : Intensités de référence pour les différents types de végétation, par ordre décroissant d'intensité - Pour un vent de 10 m/s (sans effet de la pente)

N°	Catégorie	Essence	Type de végétation	Biomasse totale (sèche) participant à la combustion (kg/m ²)	Vitesse de propagation (km/h)	Intensité brute (kW/m)	Classe d'intensité	Participation des arbres à la combustion
11	Forêt dense	Châtaignier et pin maritime	Forêt dense de Châtaignier et pin maritime	2.79	1.89	26 355	6	Oui
1	Forêt dense	Pin d'Alep	Forêt dense de Pin d'Alep	2.23	2.46	27 438	6	Oui
2	Forêt dense	Pin maritime	Forêt dense de Pin maritime	3.05	2.76	42 160	6	Oui
29	Forêt dense	Pin noir	Forêt dense de Pin noir	5.59	0.92	25 784	6	Oui
30	Forêt claire	Chêne vert et pin d'Alep	Forêt claire de Chêne vert et pin d'Alep	3.35	1.37	22 978	6	Partiellement (66%)
3	Forêt claire	Pin d'Alep	Forêt claire de Pin d'Alep	2.28	1.52	17 286	6	Oui
4	Forêt claire	Pin maritime	Forêt claire de Pin maritime	2.72	1.80	24 490	6	Oui
20	Forêt claire	Pin noir	Forêt claire de Pin noir	3.50	0.91	15 927	6	Oui
24	Forêt dense	Chêne pubescent et pin d'Alep (ou pin noir)	Forêt dense de Chêne pubescent et pin d'Alep (ou pin noir)	1.61	1.08	8 709	5	Partiellement (66%)
441	Forêt dense	Chêne vert	Forêt dense de Chêne vert - peuplements situées à moins de 300 m d'altitude - cas où 30 % des arbres participent à la combustion	0.78	1.40	5 477	5	Partiellement (30%)
27	Forêt dense	Chêne vert et pin d'Alep (ou pin noir)	Forêt dense de Chêne vert et pin d'Alep (ou pin noir)	1.14	1.32	7 518	5	Partiellement (66%)
8	Garrigue boisée	Chêne pubescent	Garrigue boisée de Chêne pubescent	1.71	0.98	8 388	5	Oui
9	Garrigue boisée	Chêne vert	Garrigue boisée de Chêne vert	2.21	0.72	7 978	5	Oui



N°	Catégorie	Essence	Type de végétation	Biomasse totale (sèche) participant à la combustion (kg/m ²)	Vitesse de propagation (km/h)	Intensité brute (kW/m)	Classe d'intensité	Participation des arbres à la combustion
10	Garrigue boisée	Pin d'Alep	Garrigue boisée de Pin d'Alep	1.63	0.90	7 360	5	Oui
21	Garrigue non boisée ou lande		Garrigue non boisée ou lande	1.62	0.93	7 661	5	Oui
7	Boisement lâche	Châtaignier	Boisement lâche de Châtaignier	0.62	1.64	5 069	4	Non
15	Forêt claire	Châtaignier	Forêt claire de Châtaignier	0.92	0.87	3 981	4	Non
16	Forêt claire	Chêne pubescent	Forêt claire de Chêne pubescent	0.80	1.00	3 983	4	Non
17	Forêt claire	Chêne vert	Forêt claire de Chêne vert - Hypothèse où les arbres brûlent partiellement -	1.86	0.63	5 843	4	Oui
18	Forêt claire	Mélange de feuillus (Chêne vert et chêne pubescent)	Forêt claire de mélange de feuillus (Chêne vert et chêne pubescent)	1.19	1.02	6 050	4	Non
33	Garrigue boisée	Chêne pubescent et herbacées	Garrigue boisée de Chêne pubescent et herbacées	0.26	2.83	3 679	4	Non
31	Forêt claire	Douglas ou sapin	Forêt claire de Douglas ou sapin	0.64	0.90	2 873	3	Non
32	Forêt claire	Hêtre	Forêt claire de Hêtre	0.73	0.88	3 223	3	Non
12	Forêt dense	Chêne pubescent	Forêt dense de Chêne pubescent	0.34	1.34	2 283	3	Non
23	Forêt dense	Chêne pubescent / châtaignier ou chêne vert / châtaignier	Forêt dense de Chêne pubescent / châtaignier ou chêne vert / châtaignier	0.49	1.42	3 485	3	Non
51	Forêt dense	Chêne vert	Forêt dense de Chêne vert - Peuplements situés à plus de 300 m d'altitude	0.47	1.09	2 550	3	Partiellement (10%) et modification de la teneur en eau
13	Forêt dense	Chêne vert / chêne pubescent	Forêt dense de Chêne vert / chêne pubescent	0.37	1.39	2 579	3	Non
211	Garrigue non boisée	Garrigue non boisée claire	Garrigue non boisée claire	0.48	0.88	2 118	3	Non

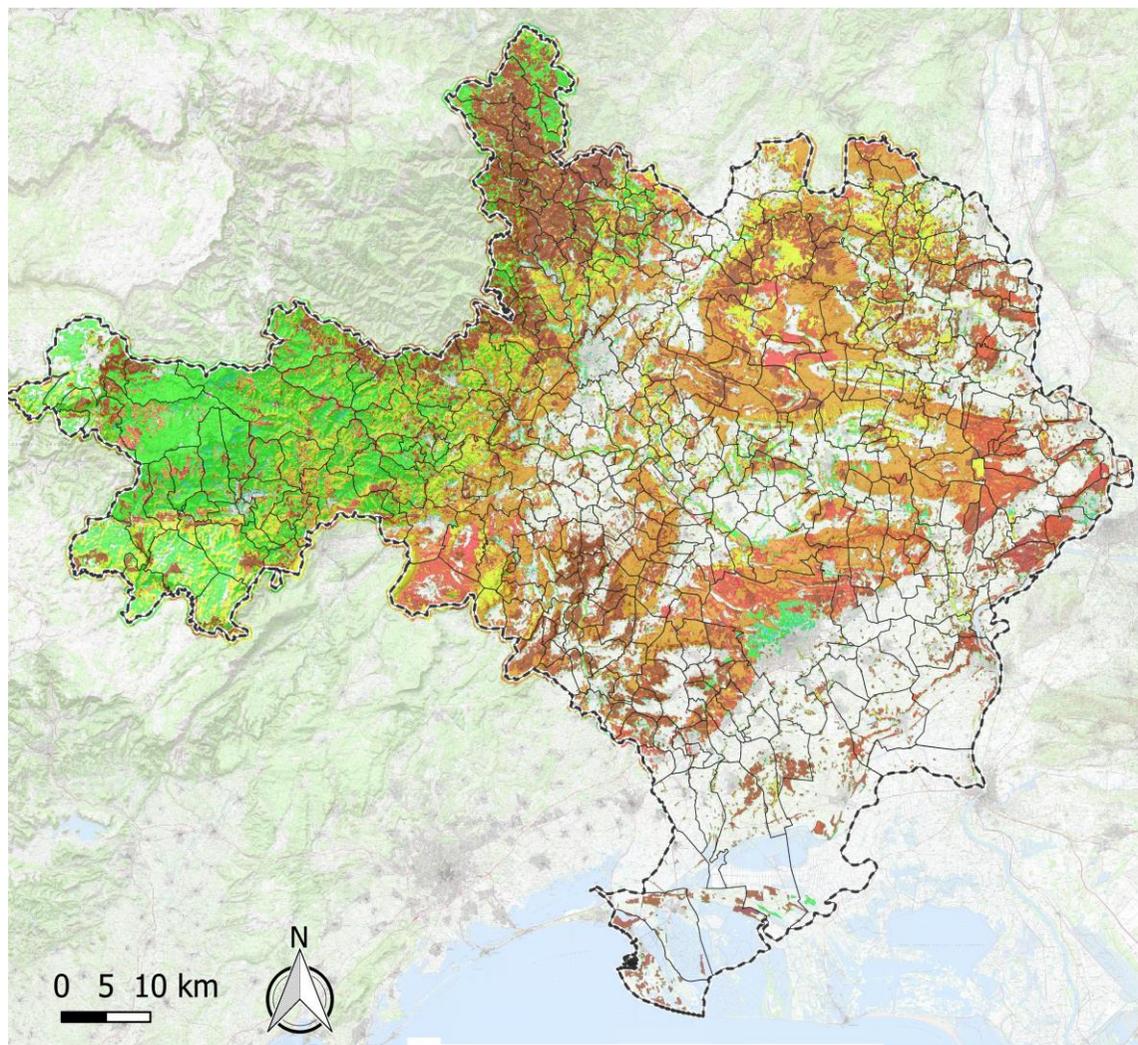


N°	Catégorie	Essence	Type de végétation	Biomasse totale (sèche) participant à la combustion (kg/m ²)	Vitesse de propagation (km/h)	Intensité brute (kW/m)	Classe d'intensité	Participation des arbres à la combustion
34	Forêt dense	Châtaignier	Forêt dense de Châtaignier	0.23	0.93	1 072	2	Non
35	Forêt dense	Châtaignier / Chêne vert ou châtaignier / chêne pubescent	Forêt dense de Châtaignier / Chêne vert ou châtaignier / chêne pubescent	0.13	1.69	1 098	2	Non
38	Forêt dense	Douglas ou sapin	Forêt dense de Douglas ou sapin	0.22	0.81	889	2	Non
39	Forêt dense	Hêtre	Forêt dense de Hêtre	0.18	0.96	868	2	Non
40	Forêt dense	Hêtre et pin noir	Forêt dense de Hêtre et pin noir	0.13	1.04	675	2	Non
41	Forêt dense	Hêtre et sapin	Forêt dense de Hêtre et sapin	0.05	2.16	539	2	Non
42	Forêt dense	Ripisylve	Forêt dense de Ripisylve	0.63	0.44	1 389	2	Non
43	Formation herbacée	Herbacées	Formation herbacée	0.04	5.04	1 008	2	Absence d'arbres
70	Lande humide	Lande humide	Lande humide	0.49	0.61	1486	2	Absence d'arbres



8.5 Annexe 5 : cartographie de l'aléa

8.5.1 Carte 3 : intensité par vent de nord



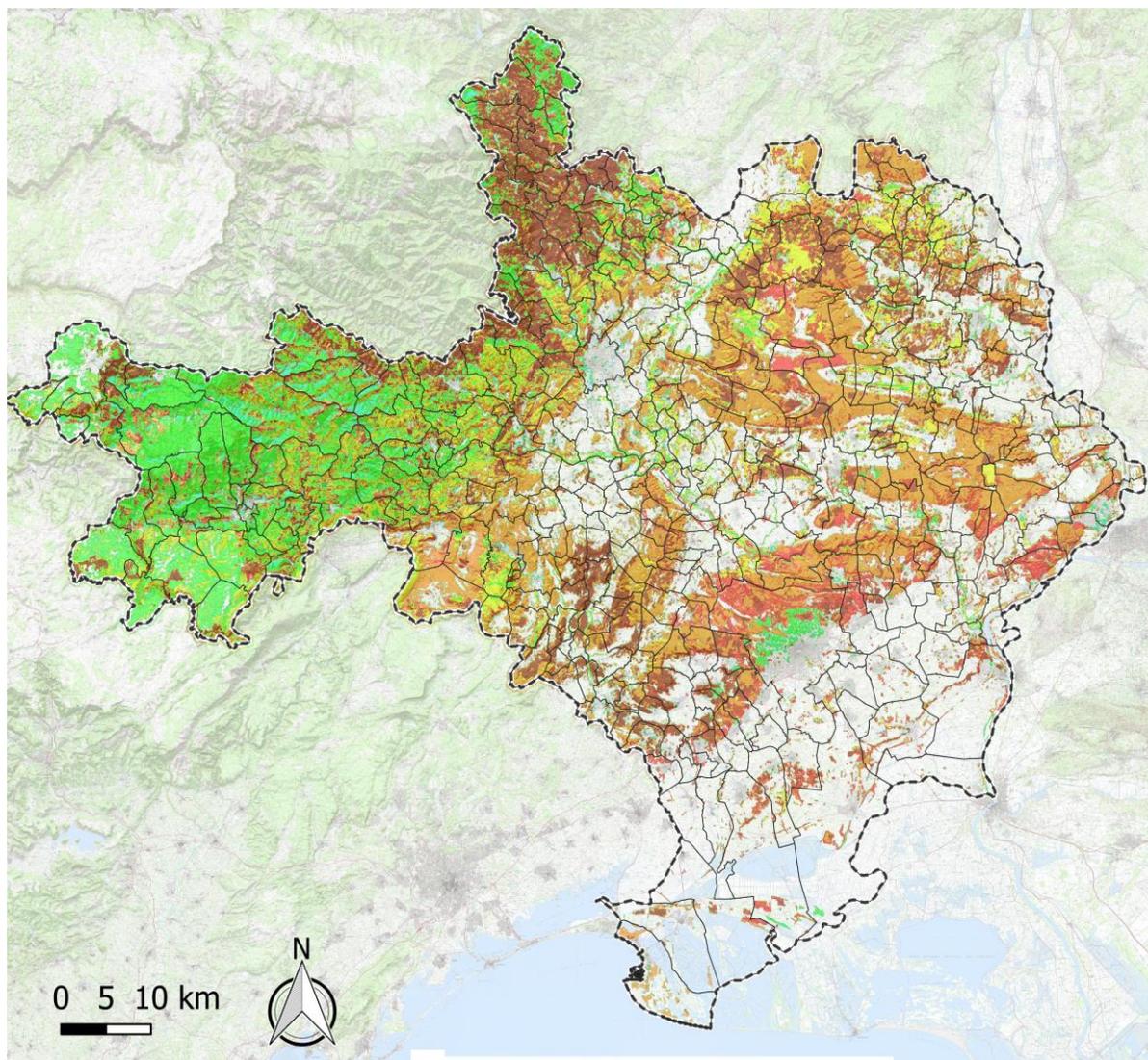
Intensité lissée
en situation de vent du nord

Classes d'intensité





8.5.2 Carte 2 : intensité par vent de sud



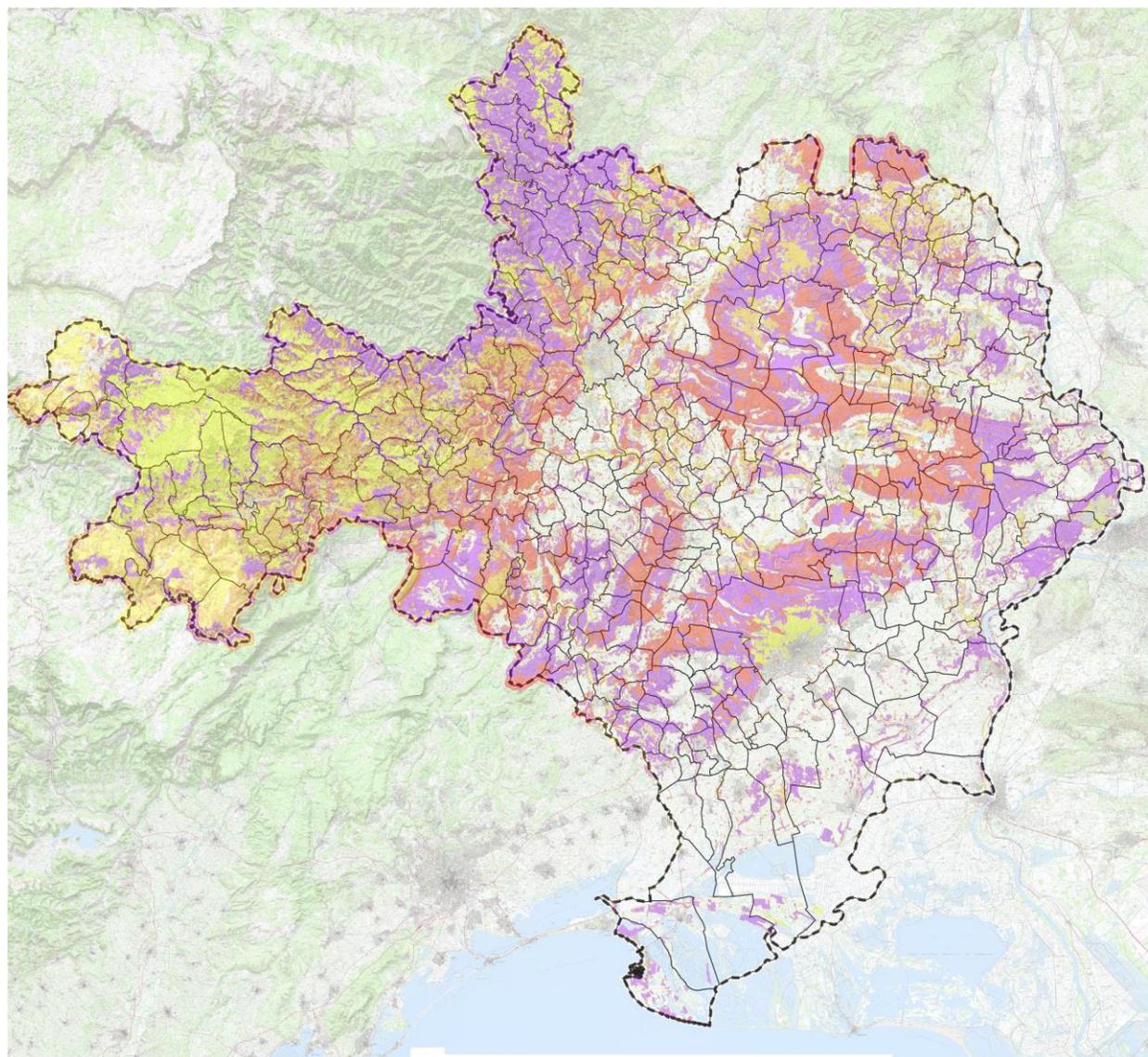
Intensité lissée
en situation de vent du sud

Classes d'intensité

- | | |
|--|-----------------------|
| | Nulle |
| | Très faible |
| | Faible |
| | Moyenne |
| | Forte |
| | Très forte |
| | Exceptionnelle |
| | Limite communale |
| | Limite départementale |



8.5.3 Carte 3 : Aléa subi (Intensité maximale)



Carte de l'aléa
feu de forêt subi

Niveau d'aléa

-  Hors forêt
-  Faible
-  Moyen
-  Fort
-  Très fort
-  Limite communale
-  Limite départementale

0 5 10 km

