



## **Rapport technique**

# **GESTION DES ATTAQUES DE LOUPS À DES ÉCHELLES OPÉRATIONNELLES : CALIBRAGE DE MÉTRIQUES PRÉVISIONNELLES**

**Daphné CAHOURS,  
Christophe DUCAMP  
&  
Éric MARBOUTIN**

**Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage**

**Unité Prédateurs – Animaux Déprédateurs**

**Mars 2018**

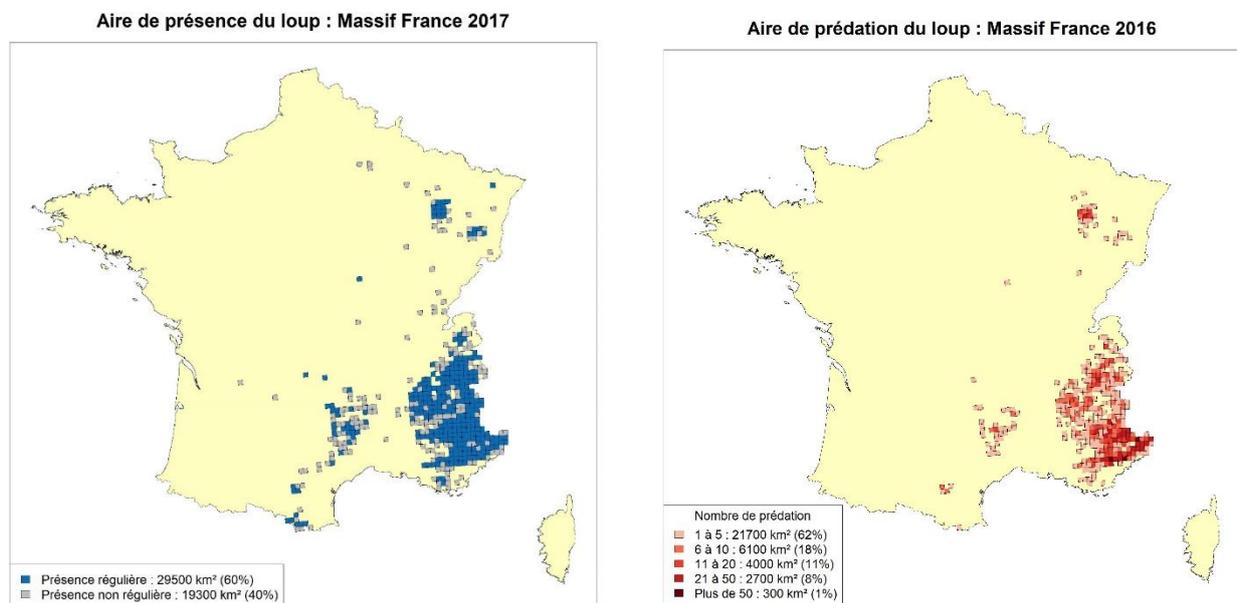
# Sommaire

<b>1. Contexte.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Présentation des données .....</b>	<b>4</b>
2.1. Constats d’attaque dans l’espace et dans le temps .....	4
2.2. Information géographique.....	5
<b>3. Regroupement hiérarchique des unités et zones pastorales .....</b>	<b>5</b>
3.1. Analyse des Correspondances multiples .....	5
3.2. Répartition géographique des groupes de référence.....	9
3.3. Sensibilité de l’ACM .....	11
<b>4. Cinétique des attaques de loup et courbe de référence .....</b>	<b>11</b>
4.1. Cinétique des attaques .....	11
4.2. Courbe de référence.....	14
<b>5. Prédiction temporelle des attaques.....</b>	<b>15</b>
5.1. Méthode .....	15
5.2. Groupements pastoraux soumis à pression constante : prédiction linéaire .....	15
5.3. Groupements pastoraux soumis à pression estivale : prédiction asymptotique.....	16
5.4. Récapitulatif .....	16
<b>6. Distribution et variation des foyers d’attaque.....</b>	<b>17</b>
<b>7. Conclusion et perspectives .....</b>	<b>19</b>
<b>Références .....</b>	<b>21</b>

Cahours D., Duchamp C. & Marboutin M. (2018). *Gestion des attaques de loups à des échelles opérationnelles : calibrage de métriques prévisionnelles*. Rapport technique ONCFS. 21 p.

# 1. Contexte

Depuis 25 ans, le loup recolonise progressivement le territoire national (Figure 1) et provoque des dégâts sur les activités d'élevage notamment ovines. Ainsi, depuis 2004, le Ministère de l'Agriculture et de l'Agroalimentaire et le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, en charge du dossier de gestion du loup, ont la volonté de trouver des solutions qui permettent une cohabitation acceptable entre les activités d'élevage et la préservation des espèces sauvages, de coordonner la mise en œuvre des mesures de protection sur l'ensemble du territoire et de garantir un état de conservation favorable de l'espèce lupine. Avec l'aide d'un Groupe National Loup, instance de concertation entre les différentes parties prenantes du dossier, ces deux ministères élaborent des Plans Nationaux d'Actions en faveur de la préservation du loup et du maintien du pastoralisme tous les cinq ans. Dans ce cadre, une demande ministérielle visant à caractériser et à prendre en charge de façon anticipée les foyers de prédation a été formulée. Elle incite à la recherche de nouveaux outils qui donneraient les moyens d'évaluer le phénomène d'attaque sur les troupeaux à des échelles plus opérationnelles que les bilans nationaux et plus réactives que les simples bilans annuels. Cet outil permettrait de diagnostiquer une distribution des attaques sur un département qui soit significativement différente de celle observée jusqu'ici et ainsi gagner en pouvoir de détection d'une situation nouvelle de conflit, modulant les changements de l'aire de distribution du loup qui continue de progresser.



**FIGURE 1** – Carte de l'aire de présence du loup en 2017 estimés sur les données 2016 (à gauche) et de la distribution des attaques de loup en 2016 (à droite) sur le même maillage 10x10 km

La Figure 1 montrent que la distribution des attaques est particulièrement hétérogène dans la zone de présence du loup. Elles soulignent ainsi l'intérêt d'identifier ces foyers d'attaques et leurs éventuelles fluctuations dans le temps et dans l'espace. Et montre donc l'importance de travailler à

une échelle de gestion opérationnelle prenant en compte les unités et zones pastorales regroupées en classe suivant leur fonctionnement et leurs caractéristiques structurelles, géographiques et pastorales.

Ainsi, le but de cette étude est d'identifier des indicateurs potentiels, à des échelles spatiales et temporelles de gestion opérationnelle dont les valeurs prises, en cours de saison, s'avèreraient être indicatrices de manière fiable du niveau attendu d'attaque en fin de saison de présence des troupeaux. Les travaux visent à analyser les cinétiques d'accumulation annuelle d'attaques de loup sur les troupeaux domestiques à des échelles spatiales et temporelles pour en évaluer le pouvoir prédictif en fin de saison. Cette étude a été initiée par Henri Toulotte, stagiaire à la DREAL Auvergne Rhône-Alpes. Il a pu identifier les variables importantes pour la classification des unités et zones pastorales en différents groupes pastoraux de référence. A partir de ces groupes, il a pu modéliser la cinétique d'attaques de loup qu'il leur est associé. Cette modélisation a permis de montrer qu'il existe des cinétiques différentes entre les groupes et qu'il est donc nécessaire de créer un modèle afin d'identifier leur pouvoir prédictif (Toulotte, 2017).

## 2. Présentation des données

### 2.1. Constats d'attaque dans l'espace et dans le temps

L'emprise de l'étude se situe dans le massif alpin, zone présentant un grand nombre d'attaques. En effet, afin de conserver une bonne précision dans les analyses, les tests de métrique ont été effectués dans les zones à gros foyers d'attaques.

On distingue deux grands types d'espaces pastoraux dans lesquels sont identifiés les attaques (Irstea, 2016) :

- Les **unités pastorales** (UP) qui se définissent par leur fonction pastorale spécialisée d'accueil de troupeaux durant la période estivale (entre juin et octobre) et sont généralement situées en altitude : chaque unité pastorale à fonction spécialisée d'estive, correspond à un seul gestionnaire pastoral (individuel ou collectif).
- Les **zones pastorales** (ZP) qui se caractérisent notamment par leur fonction d'intersaison ou d'hivernage (mais elles peuvent également accueillir des animaux l'été).

Les données d'attaques utilisées pour cette étude sont extraites de la base de données Géoloup et regroupent les constats géoréférencés entre 2010 et 2016. Seuls sont retenus les constats pour lesquels la responsabilité du loup est non écartée sur les bases des éléments techniques relevés selon la circulaire du 27 juillet 2011 relative à l'indemnisation des attaques de loups aux troupeaux domestiques (N°DEVL1120787C). Les informations retenues pour l'analyse de ces données sont :

- l'identifiant du constat
- la date
- le département

- la localisation géographique (Lambert 93)
- le code UP ou ZP (déterminé à partir de la cartographie des UP et ZP)

## **2.2. Information géographique**

Les données géographiques utilisées pour cette étude sont :

- Contour des unités et zones pastorales, établi à partir de l'enquête pastorale de 2014 auprès des différentes communes (source : Irstea, [www.irstea.fr](http://www.irstea.fr))
- Contour des départements et régions de Provence-Alpes-Côte d'Azur et Rhône-Alpes (source : OpenStreetMap, [www.data.gouv.fr/fr/datasets/contours-des-departements-francais-issus-d-openstreetmap/](http://www.data.gouv.fr/fr/datasets/contours-des-departements-francais-issus-d-openstreetmap/))
- Maillage (10x10 km) de la présence du loup (source : G. Lyon / ONCFS 2010, [www.oncfs.gouv.fr/](http://www.oncfs.gouv.fr/))

Toutes les données géographiques sont projetées en Lambert 93.

## **3. Regroupement hiérarchique des unités et zones pastorales**

Afin de travailler à une échelle de gestion opérationnelle, il a été nécessaire de regrouper les unités et zones pastorales dans différentes classes en fonction de la contrainte structurelle du milieu et des différents modes de gestion des troupeaux. Les tests de métriques prédictives seront ensuite réalisés sur ces différents groupes de référence.

### **3.1. Analyse des Correspondances multiples**

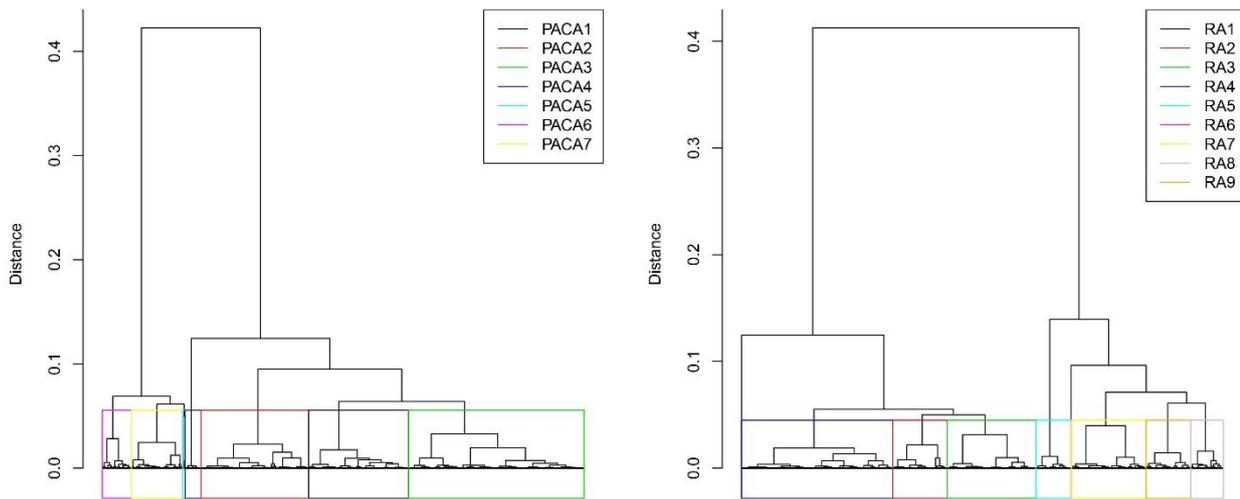
Pour regrouper les unités et zones pastorales similaires, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM), méthode factorielle qui permet de décrire un ensemble d'individus par un ensemble de variables qualitatives et ainsi de créer des groupes de similarité et dont les résultats sont présentés en Figure 2 à 4, a été réalisée. Le classement des différentes zones et unités pastorales a été effectué selon les variables identifiées par Henri Toulotte (Toulotte, 2017) grâce à une Analyse Factorielle Discriminante (AFD) et répertoriées dans le Tableau 1. Ici, l'ACM a été affinée par rapport à celle des travaux de Henri Toulotte, en effet le nombre de classes a été réduit afin de limiter le nombre de modalité et les variables redondantes ont été supprimées.

**TABLEAU 1** – Description des variables utilisées dans l'ACM

*A noter que les valeurs des variables quantitatives ont été divisées dans différentes classes.*

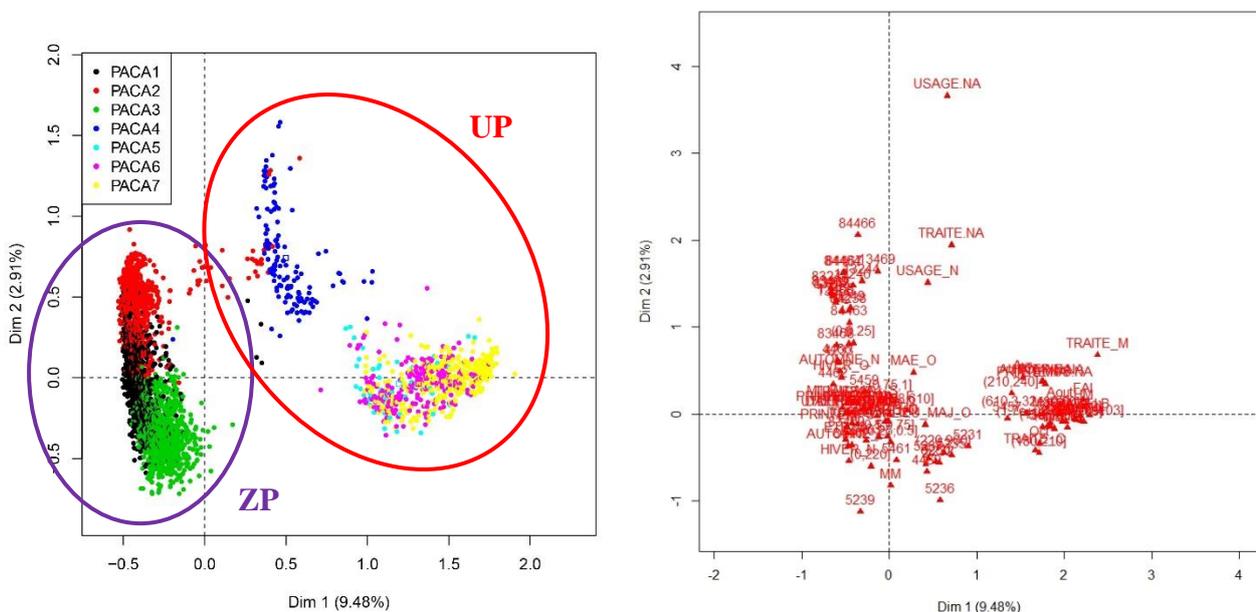
<b>Intitulé du Champ</b>	<b>Définition</b>
<b>CODEUP/ZP</b>	Identifiant de l'Unité Pastorale
<b>SURF_MNT</b>	Surface totale réelle de l'UP/ZP en ha, issue d'un calcul automatique avec modèle numérique de terrain.
<b>ETAGE_ALT</b>	Etage altitudinal de la surface principale de l'UP/ZP, par appréciation visuelle carto. - Haute Montagne : >1800m (étages subalpin et alpin) - Moyenne Montagne : 1000m < > 1800m - Piémont : 600m < > 1000m - Plaine et colline : < 600m
<b>USAGE</b>	L'UP/ZP est-elle utilisée pour le pâturage de troupeaux, l'année de l'enquête ? (année de l'enquête = année de référence des données) Si NON : préciser uniquement « DERN_USAGE » et « MOTIF », puis les métadonnées en fin de table. Si OUI : Poursuivre à partir de « UTIL_PASTO »
<b>UTIL_PASTO</b>	Nature de l'utilisateur pastoral (on entend par utilisateur le responsable sur l'UP du ou des troupeaux utilisateurs de l'UP, encore appelé gestionnaire pastoral de l'UP). Attention : Les prises en pension entre dans la catégorie exploitation individuelle.
<b>DATE_DEB</b>	Date de montée des premiers animaux sur l'UP (Toutes espèces et tous types d'animaux confondus)
<b>DUREE</b>	Nombre de jours de présence d'animaux sur l'UP (indépendamment des tris d'animaux et des différentes espèces potentiellement présentes) Nombre de jours pendant lesquels l'UP accueille des animaux. S'il y a plusieurs séquences de présence d'animaux, on fera la somme des jours des différentes séquences.
<b>TRAITE</b>	Quelle activité de traite y-a-t-il sur l'UP/ZP ?
<b>PHAE</b>	Un contrat PHAE est-t-il signé sur l'UP/ZP pour l'année en cours ?
<b>MAE</b>	Un contrat MAET est-il signé pour l'année en cours ?
<b>EF_OV_15J</b>	Effectif ovins au 15 juillet, en nombre de têtes, tous animaux confondus (mères, jeunes, mâles, allaitants et laitiers).
<b>PRINTEMPS</b>	La ZP a-t-elle une fonction de pâturage de printemps ?
<b>ETE</b>	La ZP accueille-t-elle des animaux l'été ?
<b>AUTOMNE</b>	La ZP a-t-elle une fonction de pâturage d'automne ?
<b>HIVER</b>	La ZP a-t-elle une fonction de pâturage d'hiver ?
<b>MILIEU_MAJ</b>	Type de milieu végétal occupant la majorité de la surface de l'UP/ZP
<b>PROP_MILIEU</b>	Proportion d'occupation du milieu majoritaire
<b>ZPP_CODE</b>	Indicateur de suivi démographique du loup
<b>REG_AGRI</b>	Regroupement de communes formant une zone d'agriculture homogène et constitué à partir d'un croisement entre les limites départementales et les régions agricoles

L'ACM a été réalisée sur les unités et zones pastorales des départements de Provence-Alpes-Côte d'Azur, d'une part, et du Rhône-Alpes, d'autre part.



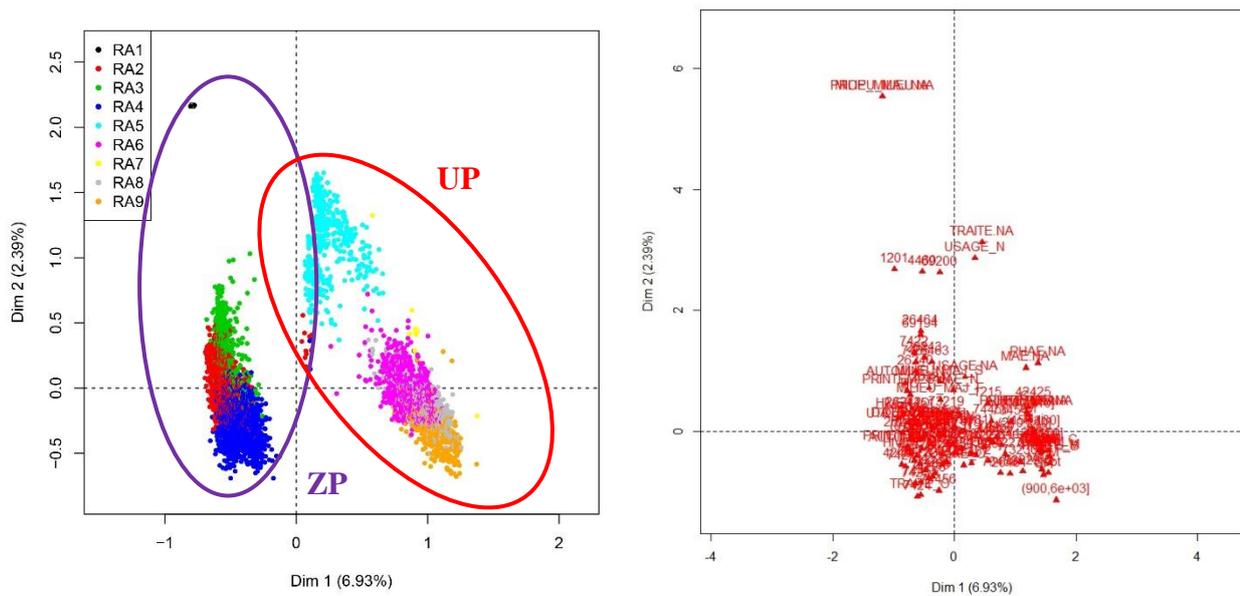
**FIGURE 2** – Dendrogrammes du regroupement hiérarchique des unités et zones pastorales des régions PACA (à gauche) et Rhône-Alpes (à droite)

Les dendrogrammes de la Figure 2 illustrent l'arrangement des groupes générés par le regroupement hiérarchique des unités et zones pastorales. Plus la longueur des branches est élevée plus les groupes sont discriminants. Afin de garder une discriminance élevée entre les groupes, les dendrogrammes ont été coupés pour obtenir 7 groupes pour la région PACA et 9 groupes pour la région Rhône-Alpes. Les groupes se composent en moyenne de 620 unités et zones pastorales allant de 51 à 1459 pour la région PACA et de 881 allant de 2 à 2362 pour la région Rhône-Alpes.



**FIGURE 3** – Plan factoriel des unités et zones pastorales (à gauche) et des modalités de variables (à droite) pour la région PACA

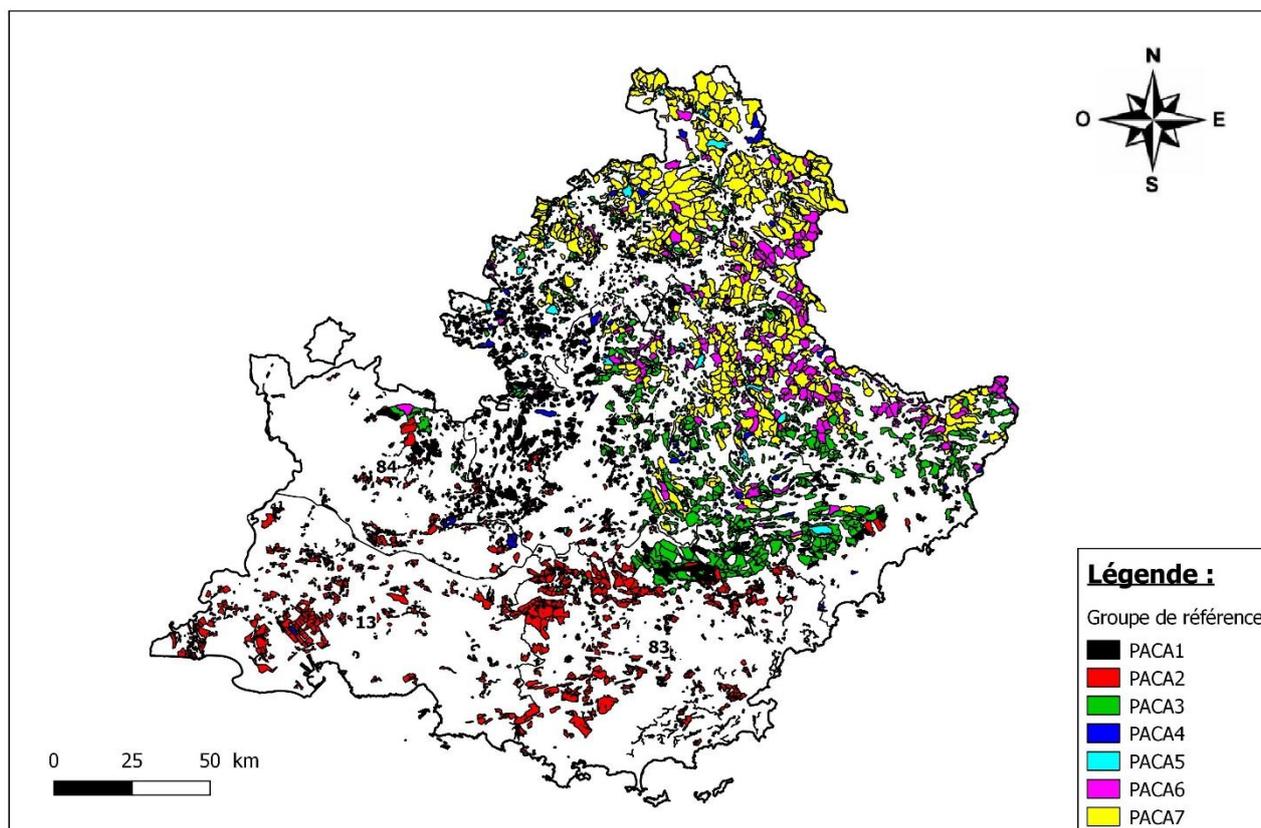
*Les couleurs correspondent à celles des groupes établis sur le dendrogramme (Figure 2 gauche)*



**FIGURE 4** – Plan factoriel des unités et zones pastorales (à gauche) et des modalités de variables (à droite) pour la région Rhône-Alpes  
*Les couleurs correspondent à celles des groupes établis sur le dendrogramme (Figure 2 droite)*

Les plans factoriels des unités et zones pastorales des Figures 3 & 4 montrent la répartition des groupes formés en fonction des axes qui expliquent la plus grande variance du modèle. Ils montrent également une séparation nette entre les zones et les unités pastorales. Cette séparation s'explique par la différence de présence des troupeaux : résidente pour les zones pastorales et estivale pour les unités pastorales. Les plans factoriels des modalités de variables des Figures 3 & 4 montrent, pour l'axe 1, une séparation entre les modalités propres aux unités pastorales (à droite) et celles propres aux zones pastorales (à gauche) et, pour l'axe 2, une séparation entre les espaces pastoraux de basse altitude, peu utilisés et présentant une absence du loup (haut de l'axe) et les espaces de haute altitude utilisés pour l'élevage de moutons et soumis à la présence du loup.

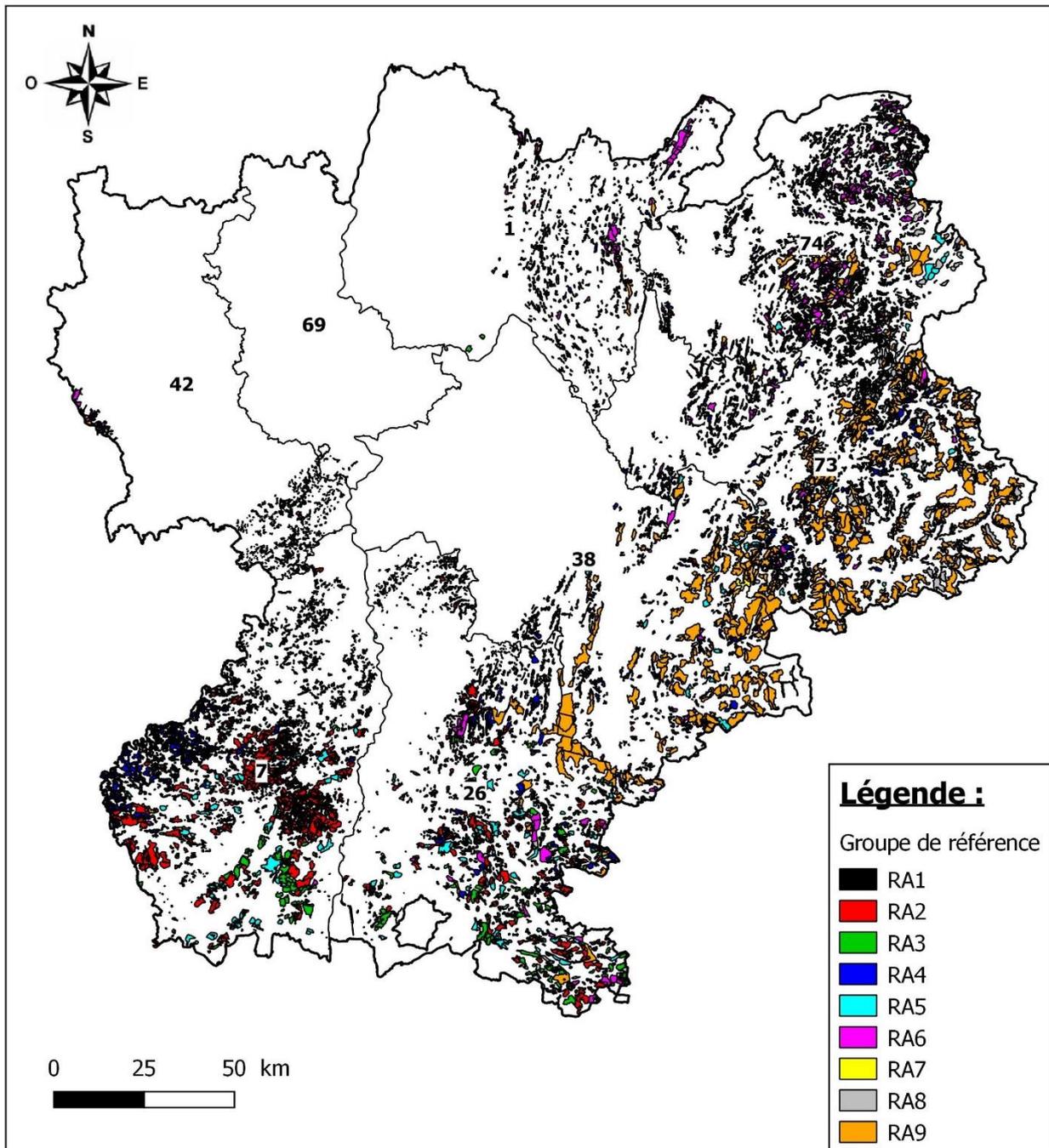
### 3.2. Répartition géographique des groupes de référence



**FIGURE 5** – Carte du regroupement hiérarchique des unités et zones pastorales de la région PACA

La Figure 5 souligne une séparation géographique entre les groupes :

- PACA1 : zones pastorales résidentes de milieu mixte à l'ouest de la région (Vaucluse, Luberon, Lure, Bochaîne)
- PACA2 : zones pastorales de basse altitude (plaine et colline) et de garrigue sèche au sud et sud-ouest de la région (Esterel, Maures, Haut-Var, Sainte-Baume, Luberon, Sainte-Victoire, Etoile, Trévaresse, Alpilles, plaine de Crau, plaine de la Camargue)
- PACA3 : zones pastorales de plateau du sud-est de la région regroupant les basses vallées du Mercantour, le Cheiron, le plateau de Caussol et de Canjuers
- PACA4 : groupe contrasté géographiquement car regroupe unités et zones pastorales non utilisées pour le pâturage de troupeaux
- PACA5 : unités pastorales de moyenne montagne et regroupant des exploitations individuelles (groupe peu représenté)
- PACA6 & 7 : unités pastorales transhumantes de haute montagne alpine s'étendant du nord jusqu'à l'est de la région : Dévoluy, Ecrins, Clarée, Queyras, Ubaye, Mercantour (Tinée, Vésubie), Haute Roya, le groupe 6 regroupe plutôt des exploitations individuelles tandis que le groupe 7 des groupements pastoraux.



**FIGURE 6** – Carte du regroupement hiérarchique des unités et zones pastorales de la région Rhône-Alpes

La Figure 6 souligne une séparation géographique entre les groupes :

- RA1 : groupe peu représenté (zone urbaine)
- RA2 : zones pastorales ardéchoises de plaine et colline au nord et de plateau au centre et sud-ouest (Cévennes)
- RA3 : zones pastorales de l’Ardèche méridionale (sud ardéchois)
- RA4 : zones pastorales de haut plateau à l’ouest de l’Ardèche
- RA5 : groupe contrasté géographiquement car regroupe unités et zones pastorales non utilisées pour le pâturage de troupeaux

- RA6 : unités et zones pastorales au nord de la région (Ain) dans les zones de plaine et colline (Bugey) et de plateau (Haut-Jura) et au nord-est (Haute-Savoie) dans les zones de haute montagne (Chablais, Aravis et Bauges)
- RA7 : unités pastorales de moyenne montagne et regroupant des exploitations individuelles (groupe peu représenté)
- RA8 & 9 : unités pastorales de haute montagne à l'est de la région (Faucigny, Beaufortin, Tarentaise, Vanoise, Maurienne, Belledonne, Chartreuse, Ecrins, Trièves, Vercors), le groupe 8 regroupe plutôt des exploitations individuelles tandis que le groupe 9 des groupements pastoraux

A noter que la Drôme des collines au nord du département et la Drôme provençale au sud regroupent l'ensemble des groupes du fait de la grande diversité de milieu dans ce département.

### **3.3. Sensibilité de l'ACM**

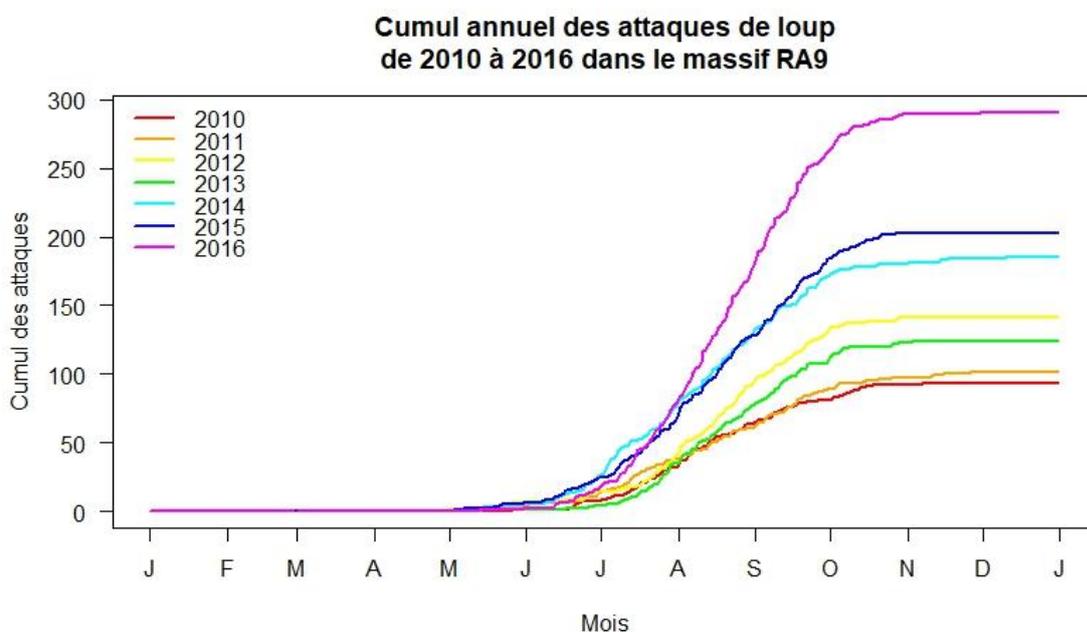
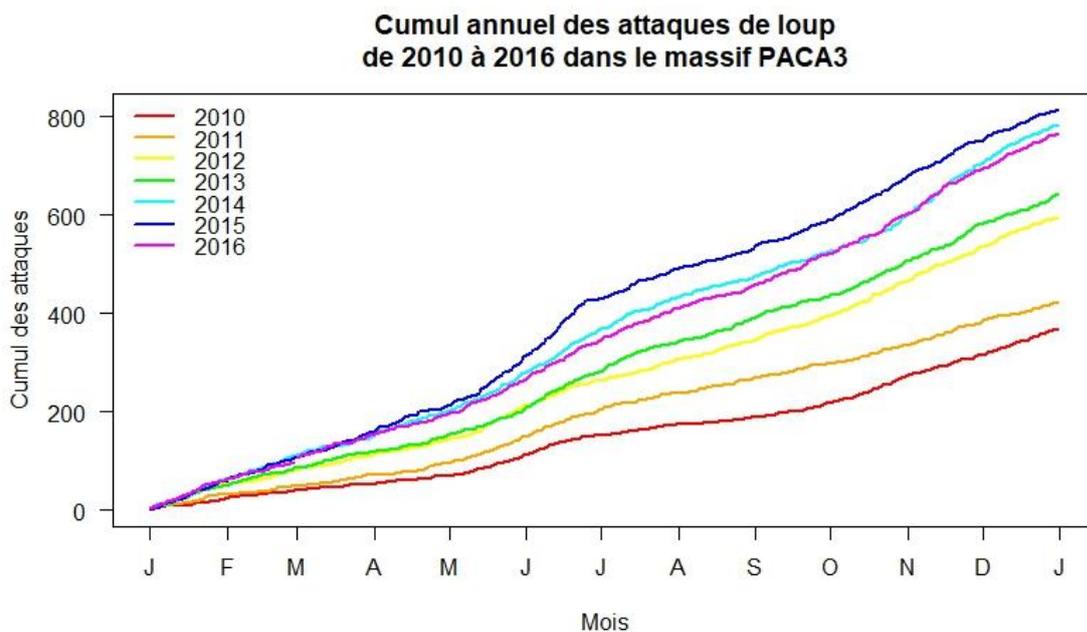
La variable REG\_AGRI décrit le regroupement de communes formant une zone d'agriculture homogène. Afin de tester son influence sur les groupes formés par l'ACM et notamment sur leur répartition géographique, l'analyse a été refaite en supprimant cette variable. Les groupes en résultant ne sont sensiblement pas différents de l'ACM avec la variable. On observe la même structuration au niveau du type de milieu mais une discrimination supplémentaire au niveau des limites départementales. Ainsi la sensibilité de l'ACM à cette variable est limitée et la typologie établie a donc du sens.

## **4. Cinétique des attaques de loup et courbe de référence**

### **4.1. Cinétique des attaques**

Afin d'étudier l'évolution des attaques dans le temps, il a fallu représenter la cinétique d'accumulation annuelle des attaques pour chaque groupe de référence établi par l'ACM présentant plus de 50 attaques dans chaque groupe de référence. Ce seuil a été nécessaire pour observer une distribution dont la modélisation est significative. Les groupes avec moins de 50 attaques présentent une courbe en escalier dont la modélisation n'est pas significative.

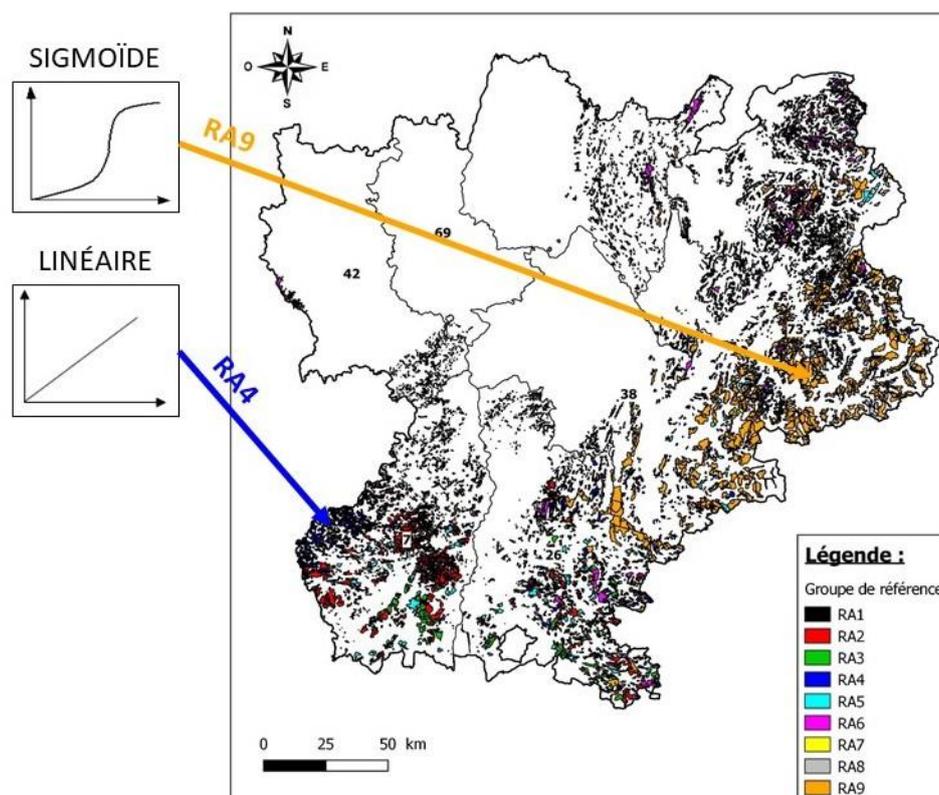
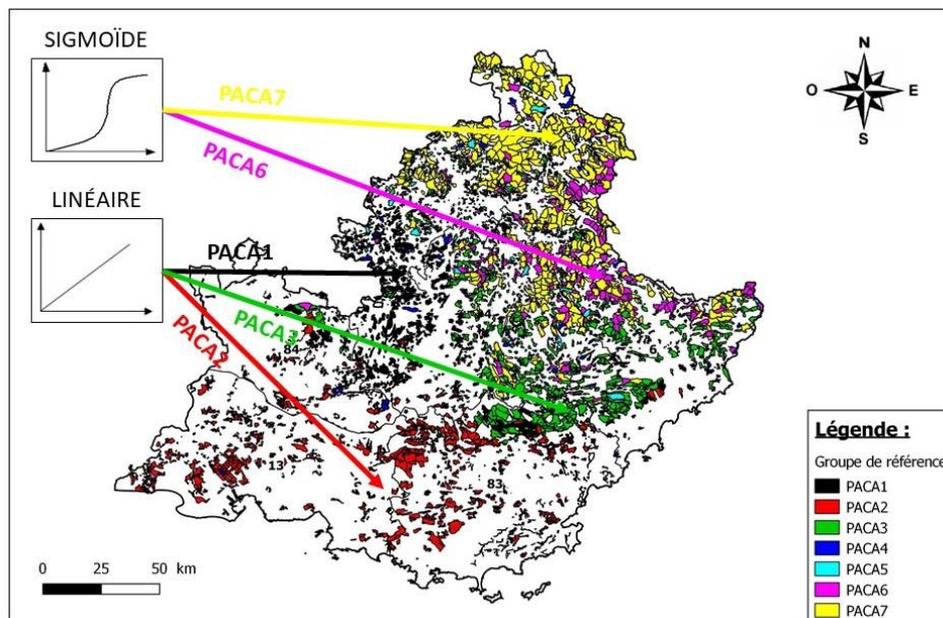
Dans ce rapport, ne sera présenté que les analyses pour PACA3 et RA9. Ce choix a été fait afin de rendre compte des résultats sur les deux régions les plus impactées par les attaques ainsi que sur les deux distributions des attaques observées (linéaire et sigmoïde).



**FIGURE 7** – Graphe des cinétiques d’accumulation annuelle des attaques entre 2010 et 2016 pour un groupe de référence en région PACA (en haut) et en région Rhône-Alpes (en bas)

La Figure 7 montre que la cinétique d’accumulation annuelle des attaques peut avoir deux allures :

- **linéaire** correspondant aux groupes de référence des zones pastorales avec une présence annuelle des troupeaux (PACA1, PACA2, PACA3, RA4) et une pression constante des attaques (les attaques s’accumulent tout au long de l’année sans période de pic)
- **sigmoïde** correspondant aux groupes de référence des unités pastorales avec une présence saisonnière des troupeaux (PACA6, PACA7, RA9) et une pression estivale des attaques au moment de la montée des troupeaux en alpage (pic d’attaque en fin d’été lié à cette présence)



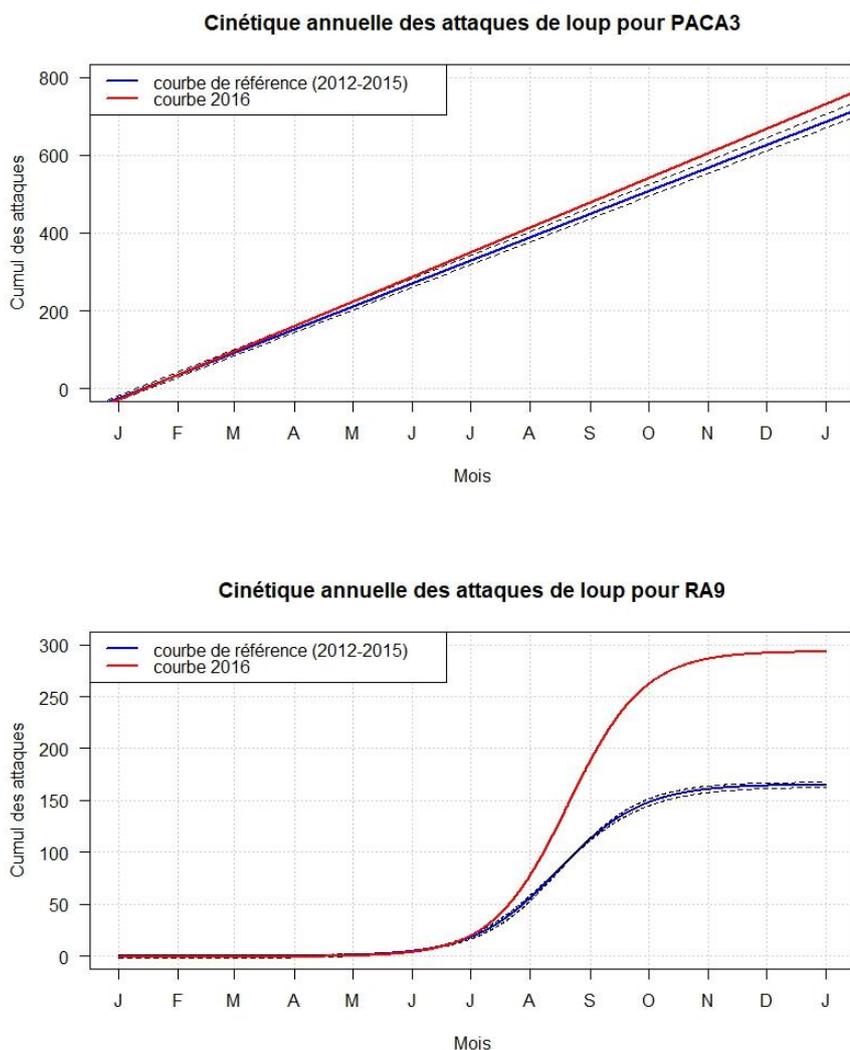
**FIGURE 8** – Carte de la répartition des deux types de distribution des attaques en fonction des groupes de référence en région PACA (en haut) et Rhône-Alpes (en bas)

La Figure 8 montre qu'à l'échelle d'une région, il existe une diversité de situation concernant la distribution des attaques.

Cette cinétique des attaques a également été représentée à l'échelle des départements présentant plus de 50 attaques. Les allures des courbes de cinétiques sont du même type que pour celles des groupes de référence : linéaire pour le département 83 et sigmoïde pour les départements 04, 05, 06, 26, 38 et 73.

## 4.2. Courbe de référence

Afin d'étudier si l'accumulation des attaques d'une année  $n$  est particulière par rapport aux années précédentes, une courbe de référence estimée à partir des données  $n-1$  à  $n-4$ , permettant ainsi de conserver les éventuelles modifications de gestion des troupeaux ou de présence du loup, a été représentée. Comme vu précédemment, cette courbe peut prendre deux allures : linéaire et sigmoïde. Ainsi pour modéliser ces courbes, on utilise deux fonctions différentes de type  $y = ax + b$ , où  $a$  est la pente et  $b$  l'ordonnée à l'origine, pour la courbe linéaire, et  $y = A + \frac{B - A}{1 + e^{-C(x - D)}}$ , où  $A$  est l'asymptote basse,  $B$  l'asymptote haute,  $C$  le taux de croissance et  $D$  le point d'inflexion de la courbe, pour la courbe sigmoïde. La fonction sigmoïde est une fonction logistique généralisée (Richards, 1959), elle permet d'ajuster au mieux le cumul des attaques en fonction du temps. A la différence de la fonction utilisée par Toulotte dans ces travaux (Toulotte, 2017), elle prend en compte la flexibilité de la courbe grâce à la constante  $D$  qui représente le point d'inflexion.



**FIGURE 9** – Cinétique annuelle des attaques représentant en bleu la courbe de référence estimée avec les données de 2012 à 2015 et en rouge la courbe d'accumulation des attaques en 2016 pour PACA3 (en haut) et RA9 (en bas)

*Les intervalles de confiance à 95% sont calculés par le modèle*

La Figure 9 montre que pour PACA3 à partir du mois de mars l'accumulation des attaques en 2016 augmente plus vite que sur la courbe de référence. L'accumulation des attaques en 2016 augmente également plus vite pour RA9 mais à partir du mois de juillet.

Suite à ces résultats, l'objet maintenant est de savoir (1) s'il est possible d'avoir une date en cours de saison qui puisse prédire le niveau final des attaques et identifier une situation hors norme, et (2) où et qui contribue le plus à cette situation de dérive par rapport aux années précédentes de manière à cibler une intervention de mise en place de prévention ou de gestion dans un département.

## **5. Prédiction temporelle des attaques**

### **5.1. Méthode**

Afin de prédire l'accumulation des attaques en fin de saison, il a été nécessaire d'utiliser deux méthodes différentes, puisque la cinétique des attaques de loup peut prendre une allure linéaire ou sigmoïde.

Dans les cas d'une accumulation linéaire des attaques, lorsque les unités et zones pastorales sont soumises au risque de prédation tout au long de l'année de manière continue, le calcul de la pente en cours de saison est la meilleure métrique pour comparer la situation de l'année en cours avec la moyenne des années précédentes. Cette pente représente la croissance du niveau d'attaque.

Dans les cas d'une accumulation sigmoïde des attaques, lorsque les unités et zones pastorales sont soumises au risque de prédation en période estivale au moment de la montée des troupeaux en alpage, nous avons dans un premier temps modélisé la courbe sigmoïde grâce à la fonction logistique généralisée de Richards vue précédemment. Puis, après avoir extrait les valeurs des asymptotes hautes estimées pour chaque courbe annuelle (7 valeurs d'asymptote), nous avons étudié la relation entre ces valeurs et celles des cumuls du nombre d'attaque pour plusieurs dates en cours de saison (1<sup>er</sup> juin, 15 juin, 1<sup>er</sup> juillet, 15 juillet, 1<sup>er</sup> août, 15 août). L'étude de cette relation permet d'établir une courbe prédictive de l'asymptote de la courbe d'accumulation des attaques à partir du cumul du nombre d'attaque en cours de saison. Cette structure dans la relation apparaît à partir du 1<sup>er</sup> août et prend une forme linéaire suivant l'équation :  $y = ax + b$ , où  $a$  est la pente et  $b$  l'ordonnée à l'origine.

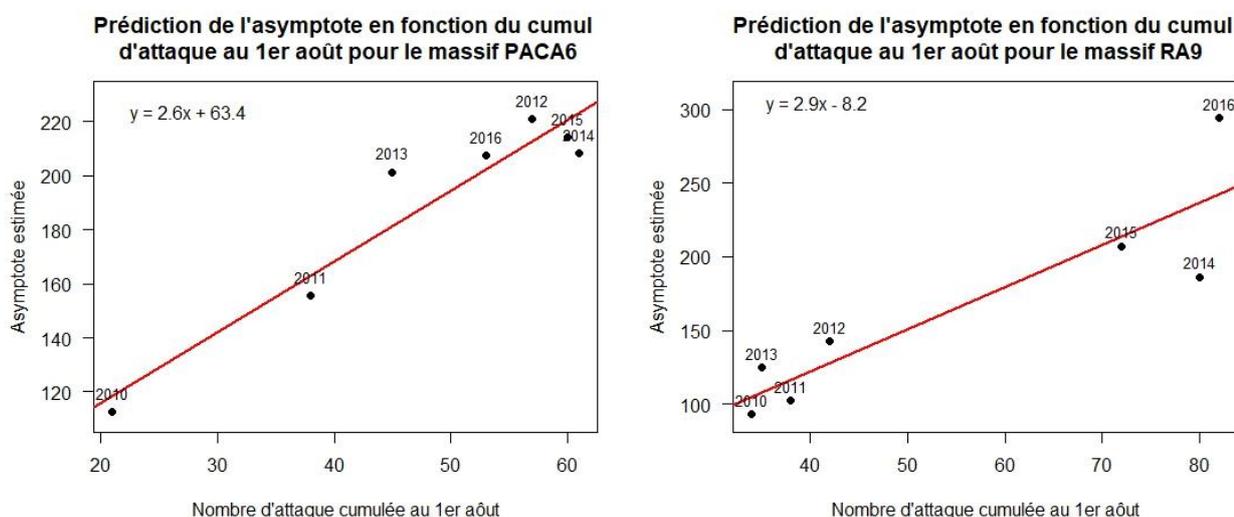
### **5.2. Groupements pastoraux soumis à pression constante : prédiction linéaire**

Les groupes de référence avec une allure de cinétique d'attaque linéaire présentent une pente moyenne de 0,67 avec un minimum à 0,02 et un maximum à 2,33 pour la région PACA et de 0,16 avec un minimum à 0,08 et un maximum à 0,34 pour la région Rhône-Alpes. Il est possible de prédire le nombre total d'attaque en fin de saison à partir du 1<sup>er</sup> juin en traçant la cinétique d'accumulation des attaques entre le 1<sup>er</sup> janvier et le 1<sup>er</sup> juin. L'équation de la droite obtenue permettrait de déduire le nombre d'attaque en fin de saison. La date du 1<sup>er</sup> juin a été retenue comme date minimum de

prédiction des attaques en fin de saison car il est nécessaire d'avoir un nombre significatif d'accumulation d'attaques pour avoir une bonne robustesse dans la modélisation de la pente.

### 5.3. Groupements pastoraux soumis à pression estivale : prédiction asymptotique

L'étude de la relation entre asymptote et cumul partiel a montré qu'il n'existait pas de structure dans la répartition des points avant le 1<sup>er</sup> août, c'est-à-dire avant le point d'inflexion de la courbe sigmoïde. Au 1<sup>er</sup> août, la relation entre asymptote et cumul partiel a une allure linéaire (Figure 10). A noter que pour le groupe PACA6, la relation semble tendre vers un plateau. Il serait donc également possible de modéliser la relation suivant une fonction logistique de type  $y = A \frac{e^{-B/x + C}}{1 + e^{-B/x + C}}$ , où  $A$  est l'asymptote haute,  $B$  le taux de croissance et  $C$  l'ordonnée à l'origine (Lord, 1959). Cette autre modélisation pourrait être intéressante dans les années à venir si le plateau tend à se préciser.



**FIGURE 10** – Prédiction de l'asymptote en fonction du cumul du nombre d'attaque au 1<sup>er</sup> août pour le groupe de référence 6 de la région PACA (à gauche) et 9 de la région Rhône-Alpes (à droite)

Il est ainsi possible de prédire le nombre total d'attaque en fin de saison à partir du 1<sup>er</sup> août grâce à l'équation de la droite estimée pour chaque groupe de référence et la valeur du nombre d'attaque au 1<sup>er</sup> août.

### 5.4. Récapitulatif

Le Tableau 2 fait la synthèse des métriques prédictives temporelles établies pour chacun des groupes de référence. A noter que les méthodes orchestrées ici ne peuvent s'appliquer que sur 7 des 16 groupes, afin de conserver une bonne significativité.

**TABLEAU 2 – Récapitulatif des métriques établies pour une prédiction temporelle des attaques en cours de saison de chaque groupe de référence :** est-ce que la distribution de l'accumulation des attaques est modélisable, c'est-à-dire présente un nombre assez important d'attaques pour une modélisation significative ? ; type de distribution de cette accumulation ; date retenue en cours de saison pour prédire le nombre d'attaque total ; formule ou modèle de prédiction.

*La dénomination « modèle linéaire » suppose qu'il faut utiliser un modèle de type linéaire afin d'établir l'équation de la droite d'accumulation des attaques au 1<sup>er</sup> juin.*

Groupe	Modélisation	Distribution	Date	Formule
PACA1	oui	linéaire	1 <sup>er</sup> juin	modèle linéaire
PACA2	oui	linéaire	1 <sup>er</sup> juin	modèle linéaire
PACA3	oui	linéaire	1 <sup>er</sup> juin	modèle linéaire
PACA4	peu d'attaque	pas de structure	-	-
PACA5	peu d'attaque	pas de structure	-	-
PACA6	oui	sigmoïde	1 <sup>er</sup> août	$y = 2,6x + 63,4$
PACA7	oui	sigmoïde	1 <sup>er</sup> août	$y = 4,8x - 127,8$
RA1	peu d'attaque	pas de structure	-	-
RA2	peu d'attaque	pas de structure	-	-
RA3	peu d'attaque	pas de structure	-	-
RA4	oui	linéaire	1 <sup>er</sup> juin	modèle linéaire
RA5	peu d'attaque	pas de structure	-	-
RA6	peu d'attaque	pas de structure	-	-
RA7	peu d'attaque	pas de structure	-	-
RA8	peu d'attaque	pas de structure	-	-
RA9	oui	sigmoïde	1 <sup>er</sup> août	$y = 2,9x - 8,2$

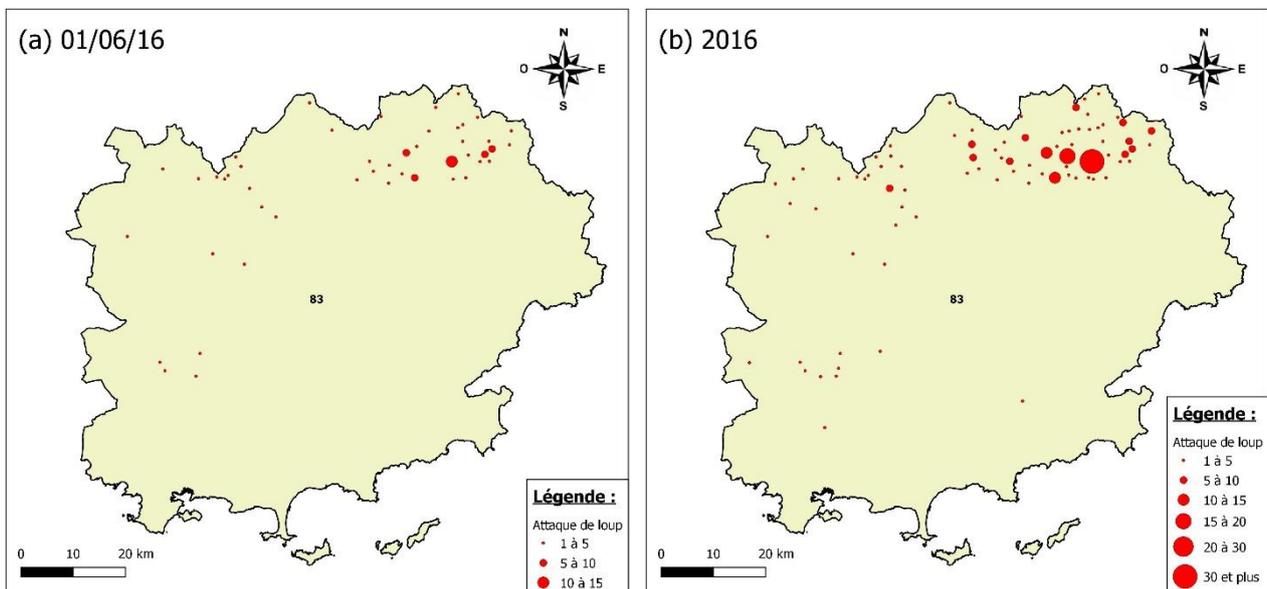
## 6. Distribution et variation des foyers d'attaque

Comme identifier précédemment, le deuxième point important de cette étude consiste, en cas de constatation d'une dérive anormale de l'accumulation des attaques dans un groupe de référence, de déterminer, d'une part, où se produit cette dérive et, d'autre part, où se situe les plus grosses contributions de cette accumulation pour cibler les actions de prévention ou de gestion. Ce diagnostic peut permettre également de mettre en place des expertises de sites pour identifier les facteurs de risques les plus importants.

Ainsi, afin de réaliser ce diagnostic en identifiant les foyers d'attaque de loup, une approche cartographique descriptive a été privilégiée dans un souci de pragmatisme opérationnel pour les gestionnaires. Nous avons cartographié par département et aux centroïdes de chaque unités et zones pastorales, un point avec une taille variant en fonction du nombre au 1<sup>er</sup> août et annuel d'attaque. La comparaison entre les différentes cartes annuelles permet d'observer l'évolution de la distribution des

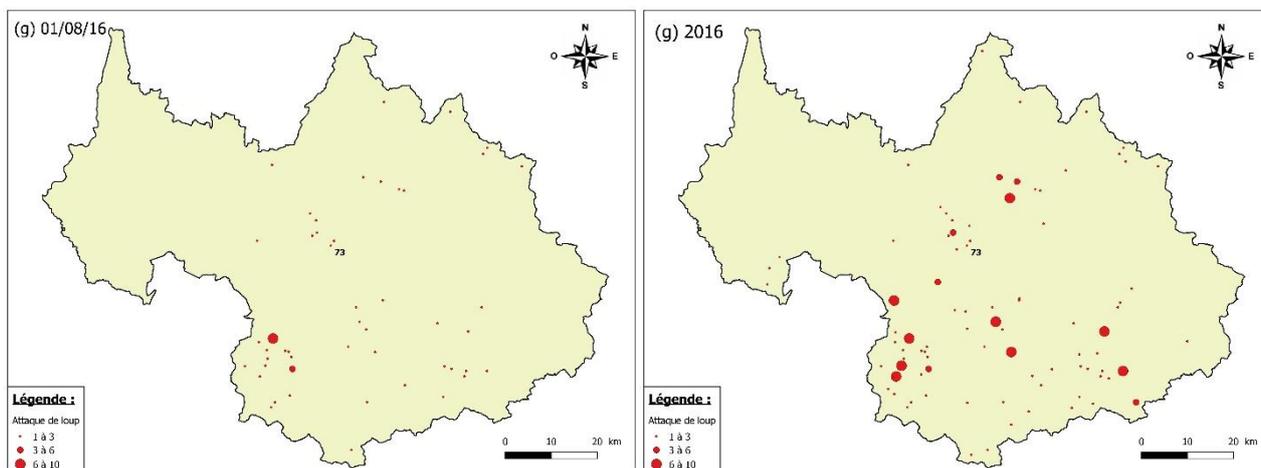
attaques de l'année en cours par rapport aux années précédentes. De manière identique à l'analyse de la prédiction temporelle à mi saison, nous avons étudié le pouvoir prédictif d'une cartographie des attaques au 1<sup>er</sup> juin pour les départements avec une cinétique des attaques linéaire (83) et au 1<sup>er</sup> août pour les départements avec une cinétique sigmoïde (04, 05, 06, 26, 38 et 73). Cette carte à mi saison permet de prédire la formation d'un foyer et d'identifier les éventuelles possibilités de situations de dérive à mi saison sans attendre le bilan final. Cependant elle ne peut prédire la formation d'un foyer tardif. C'est la comparaison entre cette carte et celle du bilan annuel qui permet d'identifier si le foyer se forme précocement ou tardivement.

Les Figures 11 & 12 présentent les cartes pour deux départements : 83 et 73. Ce choix a été fait afin de rendre compte des résultats sur les deux régions étudiées ici ainsi que sur les deux distributions des attaques observées (linéaire et sigmoïde).



**FIGURE 11** – Répartition des attaques au 1<sup>er</sup> juin 2016 (à gauche) et sur l'ensemble de l'année 2016 (à droite) pour le département du Var (83) en PACA

La comparaison entre les deux cartes de la Figure 11 montre qu'il existe des foyers précoces (plateau de Canjuers) et des foyers tardifs plus difficile à prédire au 1<sup>er</sup> juin (Haut Var Verdon). La comparaison avec les cartes des années précédentes montre que les foyers sont récurrents. Ce ne sont pas toujours les mêmes unités pastorales qui sont touchées mais le secteur d'attaque reste le même.



**FIGURE 12** – Répartition des attaques au 1<sup>er</sup> août 2016 (à gauche) et sur l’ensemble de l’année 2016 (à droite) pour le département de la Savoie (73) en Rhône-Alpes

Les cartes de la Figure 12 montre qu’il existe des foyers d’attaques au niveau du Beaufortin, de la Maurienne et de la Vanoise. Cependant la comparaison entre les deux cartes montre qu’il est plus difficile de prédire les foyers au 1<sup>er</sup> août car les attaques sont plus tardives.

Ici, la prédiction spatiale se base sur un diagnostic visuel et non sur une base statistique. Pour identifier les foyers statistiquement, il est possible d’utiliser la fonction K de Ripley qui détermine si les entités, ou valeurs associées au entités, présentent une agrégation statistiquement significative ou une dispersion sur une plage de distances.

A noter que ces cartes ne prennent pas en compte le nombre de moutons présent à l’endroit de l’attaque, ni la durée d’exposition des moutons au risque d’attaque. Ainsi, pour identifier les foyers particuliers il faudrait prendre en compte ces deux variables. L’analyse statistique des attaques requiert alors d’identifier les agrégations sous contrainte de distribution des moutons dans les unités et zones pastorales et de leur temps de pâturage (Saubusse, Ducamp, & Marboutin, 2012). Si l’exercice est faisable, il reste complexe à mettre en œuvre dans une optique d’utilisation simple par les gestionnaires.

## 7. Conclusion et perspectives

Dans cette étude, nous avons pu dégager deux métriques prévisionnelles :

- Une **métrique temporelle** calculée à l’échelle de groupes de référence regroupant les unités et zones pastorales similaires en terme de structure et de gestion. Cette métrique permet de prédire à mi saison le nombre d’attaque en fin de saison et si l’accumulation des attaques est différente des années précédentes. Elle prend deux formes différentes suivant l’allure de la distribution de l’accumulation des attaques : linéaire ou sigmoïde.
- Une **métrique spatiale** évaluée à l’échelle départementale. Cette métrique visuelle se base sur la réalisation de cartographies à mi saison et en fin de saison. La comparaison avec les

cartes des années précédentes et la carte à mi saison permet de diagnostiquer la formation d'un foyer et les éventuelles dérives des attaques.

Ces métriques ont leurs limites puisqu'elles ne peuvent pas s'adapter aux départements avec peu d'attaques de loup, d'une part, et d'autre part, elles ne prennent pas en compte le volume et la durée d'exposition du troupeau, ce qui conditionnent les attaques.

Un modèle spatio-temporelle en fonction de la distribution des moutons prendrait en compte ces deux variables mais serait trop compliqué pour une application en phase opérationnelle.

Dans une autre mesure, il sera utile d'étudier la différence de fonctionnement pour les groupes de références présentant peu d'attaques par rapport à ceux avec beaucoup d'attaques pour en déduire de nouvelles métriques prévisionnelles notamment sur les groupes non évalués ici.

Sur le plan de la gestion, cette étude permettra de mettre en place un tableau de bord opérationnel afin de prévenir les éleveurs lorsque l'accumulation spatio-temporelle des attaques est différente des années précédentes. Il pourra ainsi cibler dans le temps et dans l'espace les actions de prévention et de gestion sur les attaques de loup, ainsi que les éventuelles expertises de sites nécessaires pour identifier les facteurs de risques les plus importants.

## Références

Irstea. (2016). *Enquête Pastorale 2012-2014*.

Lord, R. (1959). The lens as an indicator of age in cottontail rabbits. *Journal of Wildlife Management*, 23, 358–360.

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire, & Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. (2012). *Plan d'Action National sur le Loup 2008-2012*.

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, & Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. (2017). *Plan d'Action National sur le Loup 2013-2017*.

Richards, F. (1959). A Flexible Growth Function for Empirical Use. *Journal of Experimental Botany*, 10(2), 290–300.

Saubusse, T., Ducamp, C., & Marboutin, E. (2012). *Identification des foyers d'attaques de loup sur les troupeaux ovins*. Rapport de synthèse pour le bilan du Plan National d'Actions sur le loup 2008 - 2012, ONCFS.

Toulotte, H. (2017). *Étude des foyers d'attaques des troupeaux domestiques par le Loup pour un développement d'outils de gestion des dommages à une échelle opérationnelle*. Rapport de stage ingénieur agronomie, AgroSup Dijon, DREAL Auvergne Rhône-Alpes.