

La revue francophone sur les prairies et les fourrages

The French Journal on Grasslands and Forages

Les articles publiés dans Fourrages sont répertoriés dans : Agris, Resagri, Herbage Abstracts, Rural Development Abstracts, Web of Science, World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts ainsi que par ISI.

Cet article de la revue *Fourrages*,
est édité par l'Association
Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche
dans la base de
données, pour vous
abonner ou pour
soumettre un article
dans la revue :

<https://afpf-asso.fr/informations-sur-la-revue-fourrages>

ISSN papier 0429-2766

ISSN numérique 2402-7294

N° Commission paritaire : 1127 G 82356+

Notre association a pour objectif, depuis 1959 de mieux diffuser les résultats de la recherche autour des fourrages et des prairies. Pour soutenir notre action et adhérer, consultez notre site internet.

PRÉDICTION DU RISQUE DE PULLULATION DU CAMPAGNOL TERRESTRE DANS LES PRAIRIES PERMANENTES À PARTIR DE LA TYPOLOGIE AEOLE

Mise en situation

Dans le Massif central, les pullulations de campagnols terrestres représentent une problématique majeure pour les systèmes d'élevage herbagers. Afin d'optimiser la surveillance et la lutte, il est nécessaire de comprendre l'influence de la diversité des prairies sur les densités de campagnols.

Résumé

Les pullulations du campagnol terrestre provoquent d'importantes pertes fourragères et favorisent l'émergence de risques sanitaires dans les systèmes d'élevage herbagers de moyenne montagne. Le rôle de la composition botanique des prairies sur la dynamique spatiale de l'espèce est encore mal connu. Cette étude vise à évaluer dans quelle mesure la typologie multifonctionnelle des prairies du Massif central (typologie AEOLE), classant les prairies selon leur flore, permet de prédire le risque d'infestation par le campagnol terrestre dans les parcelles.

L'étude a été conduite sur le domaine de l'Herbipôle INRAE de Laqueuille (Massif du Sancy, Puy-de-Dôme) au cours des phases de croissance (2024) et de pic (2025) du cycle de pullulation. 84 faciès de prairies rattachés à 10 types AEOLE ont été échantillonnés, dans lesquels les densités de campagnols ont été estimées par la méthode des diagonales indiciaires. Des modèles statistiques ont permis d'évaluer le pouvoir explicatif de la typologie AEOLE.

Les résultats montrent des contrastes de densités de campagnols, principalement expliqués par le type de prairie. Les parcelles de fauche à fertilité moyenne ou élevée présentent les densités les plus élevées et constituent les principaux foyers de pullulation. Les pâtures, les prairies d'altitude, les landes et les prairies de fauche maigres sont, elles, faiblement colonisées.

La typologie AEOLE constitue un outil opérationnel pour identifier les parcelles à haut risque de pullulation.

Summary

Water vole outbreak risk prediction in permanent grasslands based on the AEOLE typology

Water vole outbreaks cause significant forage losses and increase the emergence of health issues in mid-mountain grassland livestock farming systems. The role of grassland floristic composition in the spatial dynamics of this species is still poorly understood. This study aims to assess the extent to which the multifunctional typology of grasslands in the Massif central (AEOLE typology), which classifies grasslands according to their floristic composition, can predict the risk of water vole outbreaks in plots.

The study was conducted on the INRAE Herbipôle site in Laqueuille (Sancy Massif, Puy-de-Dôme) during the growth phase (2024) and peak phase (2025) of the outbreak cycle. 84 grassland facies belonging to 10 AEOLE types were sampled, in which vole densities were estimated using the index diagonal method. Statistical models were used to evaluate the explanatory power of the AEOLE typology.

The results show contrasts in vole densities, mainly explained by the type of grassland. Moderately to highly fertile mown plots have the highest densities and are the main hotspots for outbreaks. Pastures, high elevation grasslands, heathlands, and poor hayfields are less colonized.

The AEOLE typology is an operational tool for identifying plots at high risk of outbreaks.

Auteurs

Roger L.¹, Marot M.¹, Galliot J-N.², Bonis A.³, Pinot A.¹

¹VETAGRO SUP, USC 1233 RS2GP, 63370 LEMPDES, FRANCE

²INRAE, UE HERBIPÔLE, 63820 LAQUEUILLE, FRANCE

³UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE, UMR 6042 GEOLAB, CNRS, 63000 CLERMONT-FERRAND, FRANCE

Auteur correspondant :
adrien.pinot@vetagro-sup.fr

Mots clés

Campagnol terrestre, végétation, lutte, surveillance, pratiques agricoles

Key words

Water vole, vegetation, vole control, monitoring, farming practices

Références de l'article

Roger L., Marot M., Galliot J-N., Bonis A., Pinot A., (2026). Prédiction du risque de pullulation du campagnol terrestre dans les prairies permanentes à partir de la typologie AEOLE, *Fourrages* 266, 5-16, <https://doi.org/10.64256/FOU2526>

Article accepté pour publication le 10 mai 2026.

1. Introduction

Le campagnol terrestre (*Arvicola amphibius*, Chevret *et al.*, 2020) est une espèce de rongeur inféodée aux écosystèmes de prairies semi-naturelles (Saucy, 1988). Il est largement réparti dans un grand quart Nord-Est de la France incluant le Massif du Jura et le Massif central, et plus marginalement dans les Alpes et les Pyrénées. Il est capable de pulluler dans les zones de moyenne montagne, à partir d'environ 800 mètres d'altitude. La pullulation correspond à une croissance importante des populations qui peut intervenir de manière périodique et qui est suivie d'un déclin rapide. Dans le massif du Sancy, Massif central, les populations suivent une dynamique cyclique qui s'étend sur une période de 5 à 7 ans (Delattre & Giraudoux, 2009). Au cours de ces cycles, des phases dites de « basse densité », durant lesquelles les animaux sont quasiment absents pendant 2 à 3 ans, alternent avec des phases de pullulation où les densités peuvent atteindre jusqu'à 1000 individus par hectare. On observe également des variations de densités intra-annuelles, avec de plus fortes densités de campagnols en automne et de plus faibles densités au printemps en raison de la mortalité hivernale. Lors des pullulations, le comportement fouisseur des campagnols conduit à la formation de tumuli et à la consommation des parties aériennes et racinaires de la végétation. Par ces deux mécanismes, les pullulations engendrent une baisse de rendement des prairies et une perte de qualité fourragère (Quéré *et al.*, 1999). Ces phases de pullulation induisent également une augmentation des risques de santé publique par la transmission de zoonoses comme l'échinococcose alvéolaire (Viel *et al.*, 1999), dont le campagnol est un hôte intermédiaire. Il existe donc une forte demande du secteur agricole pour identifier les clés de la régulation de cette espèce.

Duhamel *et al.* (2000) et Fichet Calvet *et al.* (2000) ont montré que les pullulations de campagnols commencent dans des épices et se diffusent ensuite au travers des zones adjacentes, créant ainsi des vagues de dispersion. Leur propagation peut s'effectuer à des vitesses pouvant atteindre plusieurs kilomètres par an. Berthier *et al.* (2014) et Halliez *et al.* (2015) ont montré que la composition du paysage est déterminante pour comprendre les flux de campagnols durant ces phénomènes. Une prairie isolée d'un foyer de pullulation par la distance, ou difficile d'accès (séparée du foyer par des habitats difficilement franchissables), ne pourra être colonisée. Les prairies sont des éléments paysagers favorables à la dispersion tandis que les cultures, les forêts et les haies y sont défavorables. Un paysage dominé par de grandes parcelles de prairies semi-naturelles est favorable à l'occurrence des dynamiques cycliques des campagnols.

Un effet de la gestion des prairies sur les densités de campagnols a également été démontré. La fertilisation accroît la productivité des parcelles et stimule la croissance aérienne de la végétation (Keller *et al.*, 2023). En phase de haute densité dans le département du Doubs, Morilhat *et al.* (2007) ont montré que cette augmentation de la production végétale, associée à la fauche, fournit au campagnol

davantage de ressources alimentaires ainsi qu'un couvert végétal protecteur vis-à-vis de ses prédateurs, favorisant ainsi une installation précoce et une croissance rapide de ses populations. À l'inverse, le pâturage et le travail du sol ont été trouvés défavorables au campagnol (Morilhat *et al.*, 2007).

À notre connaissance, aucune étude n'a, à ce jour, analysé l'effet de l'altitude sur la répartition spatiale et la dynamique de ses populations dans le Massif central. De manière empirique, on y observe les pullulations au-dessus de 800 mètres d'altitude, et en général, en-dessous de 1200 mètres (Pinot, 2025). Il est plausible que ce facteur exerce une influence significative, comme le suggère l'étude de Halliez *et al.* (2015) menée dans les Alpes, dans laquelle la colonisation débute en fond de vallée avant de progresser vers l'amont sous forme de « travelling waves ».

À une échelle plus fine, la composition spécifique de la végétation des prairies a aussi son importance. *Arvicola amphibius* est en effet un herbivore exclusif et, bien qu'il soit capable de consommer une diversité importante de végétaux, il montre des préférences alimentaires très nettes pour certains d'entre eux (Lisse *et al.*, 2026). Il a un fort attrait pour le pissenlit *Taraxacum officinale* aggr. (Airolti, 1976 ; Kopp, 1988 ; Lisse *et al.*, 2026), et un intérêt également notable pour les légumineuses (Airolti, 1976 ; Kopp, 1988 ; Lisse *et al.*, 2026 ; Pinot *et al.* in prep) et certaines autres dicotylédones (Airolti, 1976). Dans le cas du pissenlit, Buronfosse *et al.* (2025) ont montré que ces préférences alimentaires conditionnent la sélection et la colonisation d'un territoire. La composition en espèces végétales des prairies semble donc constituer un facteur important des abondances locales des campagnols terrestres. Il est alors probable que les prairies ne présentent pas toutes la même attractivité, pouvant expliquer les contrastes de densités de campagnols (Figure 1).

Dans le Massif central, une diversité importante de types de prairies est présente, résultant de contrastes d'altitude, de gestion agropastorale, d'humidité et de fertilité du sol, et par conséquent, de végétation. La diversité de ces prairies est décrite par un outil technique : la typologie multifonctionnelle des prairies du Massif central AEOL (Galliot *et al.*, 2020). Cette typologie permet de classer les prairies, en fonction de leur composition floristique, sur la base de l'altitude, de la pratique dominante (fauche ou pâturage), ainsi que de l'humidité et de la fertilité du sol. Cet outil a l'avantage d'être partagé par un grand nombre d'acteurs, et largement utilisé dans le conseil des systèmes herbagers du Massif central.

Bien qu'elle n'ait pas été conçue dans le cadre de la gestion des campagnols, la typologie multifonctionnelle des prairies du Massif central utilise comme entrée de classification la composition floristique des prairies. Cette dernière peut constituer un facteur déterminant dans la probabilité de colonisation d'un territoire. Nous posons alors la première hypothèse suivante : la typologie AEOL peut être un bon indicateur du risque de pullulation des campagnols terrestres dans les prairies semi-naturelles du massif du Sancy. Les pratiques agricoles et la productivité prairiale

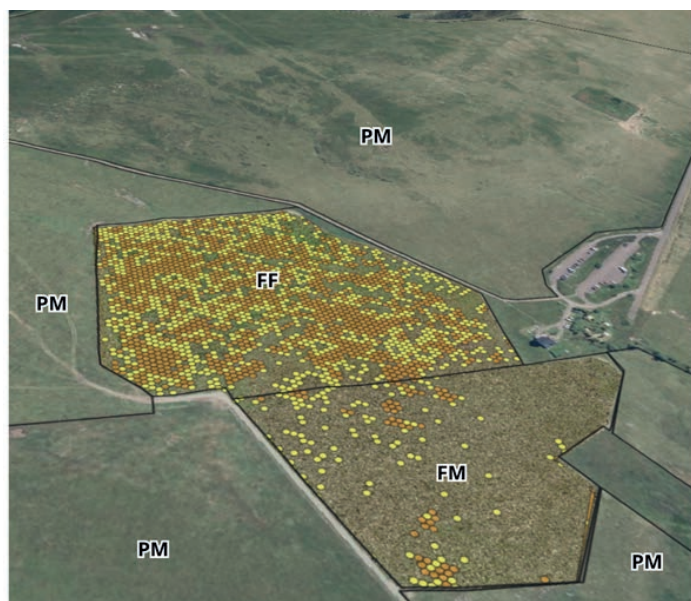


Figure 1 : Exemple de la variabilité des densités de campagnols terrestres à l'échelle du paysage (automne 2025). Prairies de moyenne montagne (site de l'Herbipôle de Laqueuille) où les densités de campagnols ont été caractérisées par des suivis terrain et par drone (pour les deux parcelles centrales, FF et FM). Les pixels hexagonaux orange indiquent une très forte présence de campagnols, tandis que les pixels jaunes signalent une présence modérée. Les zones sans pixels colorés correspondent à des secteurs non colonisés par le campagnol terrestre. L'hétérogénéité marquée des densités, notamment entre les parcelles (limite en noir), suggère un impact significatif des pratiques agricoles et de la flore sur la répartition des populations. FF = prairie de fauche fertile ; FM = prairie de fauche maigre ; PM = pâture maigre. Crédits : Pinot Adrien, Roger Léa.

Figure 1: Example of the variability in water vole densities at the landscape scale (autumn 2025). Mid-mountain grasslands (Herbipôle site in Laqueuille) where vole densities were assessed through field and drone monitoring (for the two central plots, FF and FM). Orange hexagonal pixels indicate a high vole presence, while yellow pixels indicate a moderate vole presence. Areas without coloured pixels correspond to sectors not colonized by voles. The strong heterogeneity in densities, especially between plots (black borders), suggests a significant impact of agricultural practices and flora on population distribution. FF = fertile mown plot; FM = poor mown plot; PM = poor pasture. Credits: Pinot Adrien, Roger Léa.

sont reconnues dans la littérature comme des facteurs majeurs influençant la dynamique des populations. La typologie AEOLE rend compte de ces éléments, ainsi que de l'altitude. Elle intègre également la composition floristique des prairies. Nous établissons alors une seconde hypothèse : la typologie AEOLE est un meilleur indicateur du risque de pullulation des campagnols que l'altitude, la pratique agricole dominante et la productivité prairiale.

Pour tester nos hypothèses, nous avons mesuré les densités de tumuli de campagnols dans une diversité de types de prairies (10 types de la typologie AEOLE) au cours des années 2024 et 2025, qui correspondent à une phase de pullulation de campagnols terrestres dans le territoire étudié. Nous avons pu comparer les densités entre les types AEOLE des prairies. Dans un second temps, une procédure de sélection de modèle pas à pas a été réalisée afin d'évaluer le pouvoir explicatif de trois variables sur les densités de campagnols : l'altitude, les pratiques agricoles et la productivité prairiale. Le pouvoir explicatif du modèle retenu a ensuite été comparé à celui d'un modèle intégrant uniquement la typologie AEOLE.

2. Matériel et Méthode

2.1 Site d'étude

L'étude a été conduite sur le site INRAE Herbipôle (<https://doi.org/10.15454/1.5572318050509348E12>) de Laqueuille (Massif du Sancy, Puy-de-Dôme, 45°38'13.658"N, 2°44'42.901"E). Ce site constitue une plateforme expérimentale de recherche dédiée aux herbivores et aux prairies, à vocation régionale, nationale et européenne. Il comprend des pâturages bovins et ovins soumis à différentes intensités de chargement, ainsi que des zones exploitées principalement en fauche. Les différentes pratiques, associées à une altitude variable, ont favorisé la formation de communautés végétales différentes sur toute la surface du parcellaire. Le site est encadré au nord par un plateau d'altitude fertile et au sud par la Banne d'Ordanche, sommet volcanique culminant à 1515 mètres, et s'insère au sein d'un paysage d'estives. Quelques haies d'arbres sont présentes localement. Le climat est de type semi-continental. L'ensemble des prairies est caractérisé par un aluandosol (sol humifère issu de matériaux volcaniques), avec une profondeur généralement supérieure à 50 cm, mais très hétérogène sur le site avec des affleurements rocheux réguliers. Les parcelles de prairies étudiées sont situées entre 1000 et 1500 mètres d'altitude. La ferme expérimentale dispose de 563 ha de prairies, dont 408 ha ont été suivis dans le cadre de cette étude.

Le site est localisé dans une zone très vulnérable aux campagnols, la dernière phase de pullulation ayant eu lieu en 2018.

2.2 Estimation des densités de campagnols terrestres

Deux approches différentes ont été utilisées pour évaluer les densités de campagnols.

Les données collectées par l'application Arvicola Obs (<https://www.arvicola-obs.fr/>, Michelin et al., 2025) ont été utilisées pour caractériser la dynamique cyclique du campagnol terrestre à l'échelle paysagère autour du site d'étude, soit sur environ 87km². Ces données correspondent à des points d'observation localisés tous les kilomètres et monitorés tous les ans au printemps, entre mars et avril, et à l'automne, entre octobre et novembre. Un score de densité de campagnols est estimé sur la surface d'un cercle centré sur le point d'observation et ayant un rayon de 60 mètres. Ce score s'échelonne de 0 (pas de campagnols) à 5 (pullulation généralisée). Les points d'observation ont été réalisés sur les communes de Laqueuille, Perpezat et Saint-Julien-Puy-Lavèze avec, en moyenne, entre 0,48 et 1,32 points d'observations par km² et par an sur ces communes. Pour ce travail, les scores des trois communes ont été agrégés en un score moyen, pour construire une série temporelle d'évolution des densités de 2017 à 2025. Il est ainsi possible de diagnostiquer sans ambiguïté dans quelle phase du cycle de pullulation se trouve le territoire au moment de cette étude.

Les prairies sont constituées de différentes unités de végétation homogènes, appelées faciès. Ce sont ces faciès qui constituent l'unité de base de l'échantillonnage dans ce travail. Les faciès du site d'étude ont été identifiés sur la base de la composition et de la structure des communautés végétales. Plusieurs faciès différents ont parfois été identifiés au sein d'une même parcelle. Les densités relatives de campagnols ont été estimées par la méthode des "diagonales indiciaires" (Giraudoux *et al.*, 1995) au sein de chaque faciès du site d'étude. Les densités de tumuli sont utilisées pour estimer les densités relatives de campagnols puisqu'il existe une forte corrélation entre ces indices de présence (les tumuli) et les résultats obtenus par piégeage (Giraudoux *et al.*, 1995). Les relevés de densités de tumuli ont été réalisés le long d'une diagonale de 250 mètres débutant à au moins 10 mètres de la limite du faciès pour éviter les éventuels effets de bordure. Le long de cette diagonale, la présence ou l'absence de tumuli a été évaluée sur des intervalles carrés consécutifs de 5 mètres de côté. La proportion de carrés colonisés a été calculée pour chaque diagonale. Les densités de campagnols par faciès sont comprises entre 0 (absence de campagnols) et 1 (totalité du faciès colonisée). Ces données ont été acquises en automne 2024 et automne 2025 dans chacun des 84 faciès de végétation étudiés (N=168 diagonales au total).

2.3 Facteurs influençant la répartition spatiale des populations de campagnols terrestres

2.3.1 Type de végétation selon la typologie AEOLE du faciès

La typologie multifonctionnelle des prairies du Massif central, issue du projet AEOLE, décrit 68 types de prairies (Galliot *et al.*, 2020), majoritairement permanentes et semi-naturelles, selon une approche croisant l'agronomie et la botanique. La composition spécifique de la végétation, l'altitude de la prairie, la pratique dominante ainsi que la fertilité et l'humidité du sol sont prises en compte dans la caractérisation de chaque type. La typologie est accessible en ligne (<https://www.sidam-massifcentral.fr/developpement/aeole/>). Chaque type est identifié par une combinaison de lettres et de chiffres (e.g. MF25, MP23, AP22, ...) (Galliot *et al.*, 2020). La première lettre indique l'altitude : C pour les prairies semi-naturelles collinéennes (300–900 m), M pour les prairies semi-naturelles montagnardes (900–1300 m), et A pour les prairies semi-naturelles d'altitude (>1300 m). La deuxième lettre précise la pratique agricole dominante : P pour la pâture, F pour la fauche (sauf pour les landes, où F caractérise une fermeture importante du couvert). Le premier chiffre (de 1 à 5) décrit l'état hydrique du sol, de sec (1) à très humide (5), et le deuxième chiffre (de 1 à 6) indique le niveau de fertilité, de très maigre (1) à très fertile (6). Par simplicité, nous parlerons dans la suite de l'article de "types AEOLE" pour les types issus de la typologie multifonctionnelle des prairies du Massif central.

L'ensemble des faciès présents dans le parcellaire de l'Herbipôle de Laqueuille a été cartographié. L'échantillon d'étude comprend

84 faciès répartis en 9 types AEOLE de prairies permanentes semi-naturelles (AP22, MP22, MP23, MP24, MP25, MF23, MF24, MF25, MF26) et 1 type de landes fermées herbacées (LF03). Certains faciès ont été exclus de l'analyse, notamment les bois (BA, BH), les prairies humides à jonc (MP42, MP43, MP44) et les zones tourbeuses (AP52, MP52) car les patches étaient de trop petite taille pour être prospectés correctement. Les faciès enclavés au sein d'autres unités, trop fragmentés, ou situés dans des zones difficilement accessibles, ont également été écartés car jugés peu représentatifs et présentant des contraintes techniques importantes.

2.3.2 Pratique agricole dominante

La pratique agricole dominante est caractérisée par deux modalités : prairie fauchée ou pâturée. Les données sont issues des enregistrements de pratiques de la ferme expérimentale de l'Herbipôle de Laqueuille. Une prairie est considérée comme une fauche à partir du moment où elle est fauchée au moins une fois au printemps.

2.3.3 Productivité végétale

Les données de productivité de la végétation approchées par le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, Wang *et al.*, 2005) sont issues du programme Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en>). Des valeurs de productivité moyenne par faciès ont été obtenues en calculant la moyenne annuelle de l'intégrale sous la courbe de la saison de croissance de 2017 à 2020 de la végétation. Cet indice permet d'approcher la production primaire nette aérienne annuelle.

2.3.4 Altitude

L'altitude des faciès de végétation du site d'étude varie entre 1000 et 1500 mètres. La moyenne a été déterminée pour chaque faciès étudié à partir de la couche SIG BD Alti de l'IGN.

2.3.5 Immigration potentielle des campagnols terrestres

Pour prendre en compte la structuration du paysage, un indice d'immigration potentielle des campagnols dans chaque faciès de végétation a été calculé. Cet indice se base sur une modélisation de la dynamique puits-source du campagnol sur le site d'étude, réalisée à l'aide de l'outil BioDispersal (version 1.3.1) du logiciel QGIS (version 3.40.11). Il prend en compte à la fois la distance entre les faciès étudiés et les prairies susceptibles d'émettre des campagnols, dites « sources », ainsi que la perméabilité des habitats qui les séparent, c'est-à-dire la facilité avec laquelle l'espèce peut traverser un milieu.

La première étape consiste à fusionner différentes couches d'occupation du sol issues de la base de données de l'IGN (BDTOPO, OSCGE) avec la cartographie des faciès de végétation du site d'étude typés selon la typologie AEOLE. Cette étape

a permis d'obtenir une couche unique comprenant huit types d'occupation du sol : prairies, cours d'eau, routes, landes, sol nu rocheux, haies, boisements et bâtiments. Cette couche a ensuite été découpée en mailles de 10 mètres de résolution, chaque maille étant associée à un unique type d'occupation du sol. Un coefficient de friction (un « coût ») a été attribué à chaque type d'occupation du sol afin de traduire sa perméabilité. Plus le coefficient de friction est élevé, plus il est compliqué pour un campagnol terrestre de traverser l'habitat. Plus il est faible, plus l'habitat est perméable. Les coefficients de friction ont été attribués aux différents habitats présents sur la base des informations disponibles dans la bibliographie (Annexe 1, **à consulter sur le site de l'afpf**). Les prairies sont considérées comme très perméables, les cours d'eau et les routes comme franchissables, les landes et les sols nus rocheux comme difficilement franchissables, les haies et les boisements comme imperméables et les bâtiments comme infranchissables. La seconde étape vise à modéliser l'aire de dispersion du campagnol terrestre sur le site d'étude. Pour cela, il est nécessaire de connaître les prairies sources (points de départ de la dispersion) ainsi que les capacités maximales de dispersion de l'espèce. Les prairies sources sont identifiées comme celles ayant une densité de campagnols supérieure à 30% à l'automne 2024. Elles constituent les zones à partir desquelles les individus se disperseront vers les prairies environnantes au printemps-été 2025. La distance maximale de dispersion de l'espèce dans un habitat perméable a été fixée à 6.5 kilomètres, compte tenu de la vitesse de déplacement des "vagues voyageuses" (Foltête et al., 2005). Elle a ensuite été convertie en « coût maximal de dispersion » à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Coût maximal de dispersion} =$$

$$(\text{Distance de dispersion maximale de l'espèce (m)} / \text{résolution de la matrice paysagère (m)}) * \text{coefficient de friction d'un habitat très favorable à l'espèce}$$

Dans notre cas, la formule appliquée est $(6500/10) * 1$, soit un coût maximal de dispersion de 650. Un « coût de dispersion » pour atteindre chaque maille de la matrice depuis les prairies sources, en traversant les différents habitats, est ensuite calculé puis moyenné à l'échelle du faciès de végétation. Ce « coût » est inversé pour obtenir un indice d'immigration potentiel compris entre 0 (fort flux de campagnols) et -82,19 (très faible flux de campagnols). Une parcelle éloignée d'une source, mais séparée par des habitats perméables, peut alors avoir un indice d'immigration potentielle plus élevé qu'une parcelle proche d'une source, mais séparée par des habitats non perméables.

2.4 Analyses statistiques des données

Pour savoir si la configuration paysagère conditionne significativement la répartition des densités de campagnols, nous avons réalisé un modèle linéaire généralisé (GLM) avec

une distribution binomiale et un lien logit dans lequel l'indice d'immigration potentielle a été testé seul comme variable explicative. Ce modèle a par la suite été comparé au modèle nul à l'aide du critère d'information d'Akaike (AIC). L'AIC du modèle intégrant l'indice d'immigration potentielle est plus faible que celui du modèle nul ($\Delta AIC = 1132,8$), et il explique 39,7 % de la variabilité des densités de campagnols (cf. Annexe 2). La variable indice d'immigration potentielle a donc été conservée comme variable de contrôle dans l'ensemble des modèles construits ensuite.

Nous avons utilisé des GLM (distribution binomiale et un lien logit) ou des modèles additifs généralisés (GAM) (distribution binomiale et un lien logit) pour tester nos hypothèses selon deux lots :

Lot 1 : Test de l'effet du type AEOLE du faciès sur les densités de campagnols terrestres

Nous avons analysé l'effet des types AEOLE des faciès étudiés sur les densités de campagnols mesurées à l'automne 2025, ce qui nous a permis de tester notre hypothèse selon laquelle la typologie AEOLE est un bon indicateur du risque de pullulations de campagnols. Nous avons ensuite effectué une projection du modèle afin d'estimer les densités de campagnols pour chaque type AEOLE de prairie. Dans ce modèle, l'indice d'immigration potentielle a été fixé à une valeur élevée afin d'estimer les densités de campagnols dans un environnement très soumis à la dispersion (i.e. proche d'une source et/ou très perméable).

Lot 2 : Test des effets de la pratique dominante, de la productivité et de l'altitude sur les densités de campagnols terrestres

Nous avons testé l'effet de l'altitude, de la productivité (NDVI) et de la pratique dominante sur les densités de campagnols à l'automne 2025. Nous suspectons une relation non linéaire entre les densités de campagnols et la productivité en raison des observations empiriques faites sur les parcelles de fauche (les pullulations semblent importantes sur les parcelles moyennement à très fertiles, et presque nulles sur les prairies maigres). La variable « productivité » a donc été testée avec des GAM à l'aide d'un paramètre de lissage. Dans tous les modèles où la variable productivité n'a pas été incorporée, des GLM ont été utilisés. Afin d'identifier le modèle expliquant au mieux les densités de campagnols tout en restant simple et parcimonieux, une procédure de sélection de modèles pas à pas "forward", basée sur l'AIC, a été réalisée. Cette méthode itérative débute avec un modèle nul (ici, le modèle nul de ce lot comprenait l'indice d'immigration potentielle comme variable explicative), puis introduit successivement, et une à une, les variables altitude, productivité (NDVI) et pratique dominante. À chaque étape, la variable candidate dont l'ajout améliore le plus la qualité du modèle (AIC le plus bas) est retenue. Le processus se poursuit jusqu'à ce qu'aucune variable supplémentaire n'apporte d'amélioration significative au modèle, c'est-à-dire jusqu'à ce que la différence d'AIC entre deux modèles soit inférieure à 2. Dans cette étude, la procédure a été réalisée en quatre étapes. Lors de la quatrième étape, l'interaction entre les variables sélectionnées a été testée.

Nous avons ensuite effectué une projection à partir du modèle conservé afin d'estimer les densités de campagnols selon les variables sélectionnées. Comme pour le lot précédent, la variable indice d'immigration potentielle a été fixée à une valeur élevée dans cette projection, avec une valeur identique dans les deux lots.

2.5 Comparaison des modèles

Afin de tester notre hypothèse selon laquelle la typologie a un meilleur pouvoir explicatif des densités de campagnols que les pratiques agricoles, l'altitude et la productivité prairiale, la valeur d'AIC du modèle du lot 1 a été comparée avec celle du meilleur modèle sélectionné dans le lot 2.

3. Résultats

3.1 Dynamique cyclique des populations de campagnols terrestres autour du site d'étude

La dernière phase de pullulation de campagnols terrestres dans le territoire autour du site d'étude a eu lieu en 2017 et 2018 (cf. Figure 2). Les densités de campagnols à l'échelle paysagère étaient très élevées et la pullulation pouvait être considérée comme généralisée. Des densités estimées par piégeage ont atteint plus de 500 individus par hectare sur certaines parcelles du site d'étude.

La phase de déclin a été observée en 2019, suivie de 3 années de basse densité (de 2020 à 2022). Une nouvelle phase de croissance a été enregistrée à partir de 2023, avec une pullulation généralisée (pic) en 2025. Cette étude est donc placée dans une phase de croissance et de pic des populations de campagnols terrestres à l'échelle paysagère.

À une échelle plus fine, on observe sur le site d'étude de forts contrastes de densités de campagnols durant la phase de croissance, avec l'absence de tumuli dans certains faciès de végétation (densité relative = 0%) et une densité maximale dans d'autres faciès (densité relative = 100%).

3.2 Étude des facteurs explicatifs des densités de campagnols

3.2.1 Effet du type AEOLE du faciès sur les densités de campagnols

Le modèle du lot 1 permet de tester l'effet du type de végétation sur les densités de campagnols (modèle 1, Tableau 1). Ce modèle est meilleur que le modèle intégrant seulement l'indice d'immigration potentielle et est donc mieux ajusté aux données ($\Delta AIC = 1304$). La prise en compte du type AEOLE permet de doubler la variance expliquée, qui atteint alors 86%. La typologie AEOLE explique à elle seule au moins 45% de la variation des densités de campagnols entre les faciès.

Les projections du modèle 1 (Tableau 1) mettent en évidence des contrastes marqués de densités de campagnols entre les différents types de prairies (Figure 3 et Annexe 3). Les landes (type LF03) apparaissent défavorables aux campagnols (densités estimées par le modèle = 0%). Dans les prairies pâturées d'altitude (> 1300 m, type AP22), les densités estimées restent globalement faibles (< 25%). Concernant les prairies pâturées montagnardes, les densités de campagnols sont nulles dans les prairies peu fertiles (type MP22), maximales dans le type moyennement fertile (type MP23) puis diminuent d'autant plus que la fertilité augmente (types MP24 et MP25). Dans les faciès dont la pratique dominante est

Figure 2 : Densités de campagnols terrestres relevées par l'application Arvicola Obs, dans l'environnement proche du site d'étude.

Figure 2: Densities of water voles recorded by the Arvicola Obs app in the surroundings of the study site.

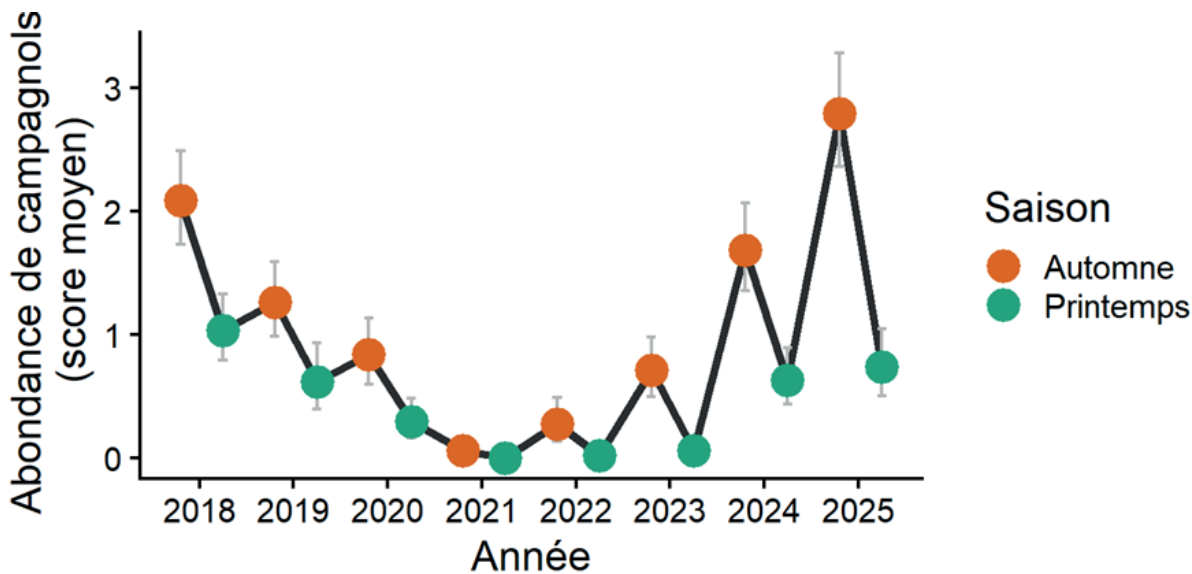


Tableau 1 : Sélection des modèles par AIC

Table 1 : Model selection by AIC

Modèle	Formule	AIC	Degrés liberté	Variance expliquée (%)
	Densités de campagnols ~ 1 + Indice d'immigration potentielle	1880,4	82	39,7
1	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + Type AEOLE du faciès	576,4	72	86
2.1.1	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + s(NDVI,k=4)	1555,7	79	51,2
2.1.2	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + Pratiques	909,1	81	73,7
2.1.3	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + Altitude	1850	81	40,8
2.2.1	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + Pratiques + s(NDVI,k=4)	858,6	78	75,7
2.2.2	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + Pratiques + Altitude	899,7	80	74,1
2.3.1	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + Pratiques + s(NDVI,k=4) + Altitude	857,3	77	75,8
2.4.1	Densités de campagnols ~ Indice d'immigration potentielle + Pratiques + s(NDVI,k=4,by=Pratiques)	669	75	82,5

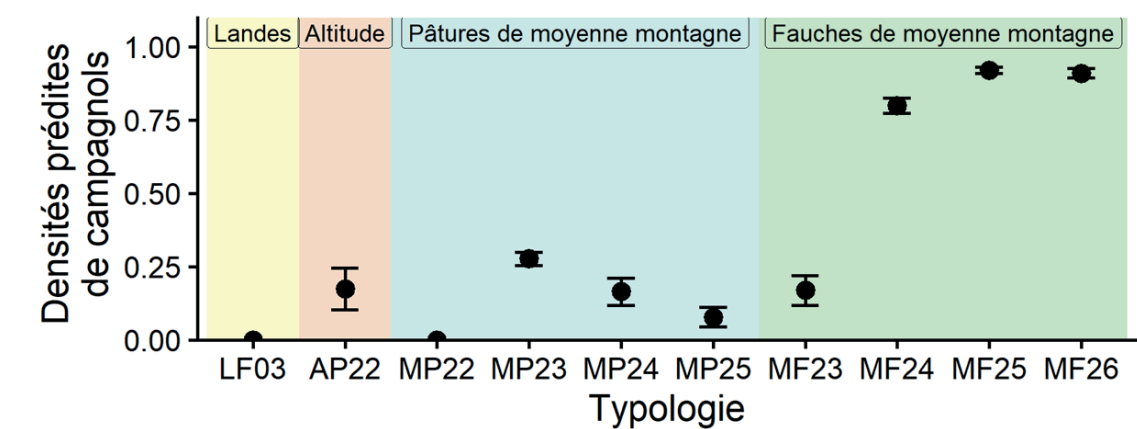


Figure 3 : Projection des densités de campagnols terrestres selon le type AEOLE des prairies (modèle 1). Les densités de campagnols sont estimées à partir de la méthode des diagonales indiciaires et sont comprises entre 0 (aucune colonisation) et 1 (colonisation maximale). Pour ces projections, l'indice d'immigration potentielle a été fixé à 0 (correspondant à la valeur maximale de cet indice).

Figure 3: Projection of water vole densities according to the AEOLE meadow type (model 1). Vole densities were estimated using the index diagonal method and range from 0 (no colonization) to 1 (maximum colonization). For these projections, the potential immigration index was set to 0 (corresponding to the maximum value of this index).

la fauche, les densités sont basses à faible fertilité (type MF23). Elles augmentent très fortement dans les prairies moyennement à très fertiles (types MF24, MF25, MF26). À l'inverse de la tendance observée dans les pâtures, l'effet de l'augmentation de la fertilité est légèrement positif entre les types MF24 et MF26.

3.2.2 Effets de la pratique dominante, de la productivité et de l'altitude sur les densités de campagnols terrestres

Le deuxième lot de modèles a pour objectif d'évaluer l'influence des pratiques agricoles, de l'altitude et de la productivité prairiale sur les densités de campagnols (Tableau 1). Lors de la procédure de sélection pas à pas, la pratique agricole dominante a été sélectionnée en premier (modèle 2.1.2, AIC = 909,1). Dans un second temps, le modèle 2.2.1 intégrant la pratique agricole dominante et la

productivité a été retenu (AIC=858,6). Lors de la troisième étape de sélection, le modèle complet intégrant les pratiques agricoles, la productivité prairiale et l'altitude a été testé (modèle 2.3.1). Le ΔAIC de ce modèle avec celui du modèle 2.2.1 retenu précédemment est de 1,3. Le modèle 2.2.1 a été conservé car il est plus simple que le modèle complet 2.3.1 (moins de variables explicatives) pour des résultats très proches. Enfin, l'interaction entre la pratique agricole dominante et la productivité a été testée dans le modèle 2.4.1, qui a été retenu comme meilleur modèle du lot 2 (AIC = 669). Ce modèle permet d'expliquer 82.5% de la variance.

Les prédictions du meilleur modèle du lot 2 (Tableau 1, modèle 2.4.1) indiquent que les pâtures sont beaucoup moins propices aux fortes densités de campagnols que les prairies de fauche (Figure 4 et Annexe 4).

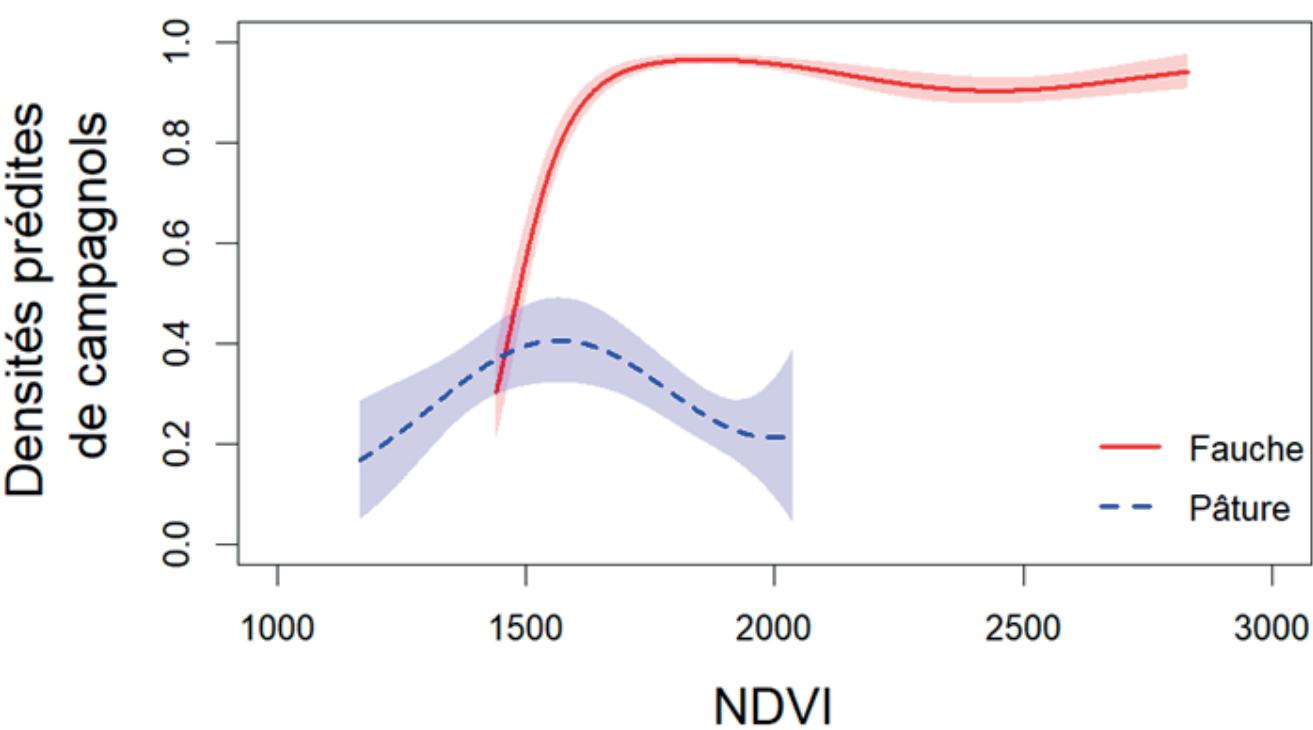


Figure 4 : Projection des densités de campagnols terrestres selon la productivité des prairies (estimée par le NDVI) en prairies fauchées (courbe rouge) et pâturées (courbe bleue), (modèle 2.4.1). Les densités de campagnols sont estimées à partir de la méthode des diagonales indiciaires et sont comprises entre 0 (aucune colonisation) et 1 (colonisation maximale). Pour ces projections, l'indice d'immigration potentielle a été fixé à 0 (correspondant à la valeur maximale de cet indice).

Figure 4: Projection of water vole densities based on meadow productivity (estimated by NDVI) in mown meadow (red curve) and pastures (blue curve) (model 2.4.1). Vole densities were estimated using the index diagonal method and range from 0 (no colonization) to 1 (maximum colonization). For these projections, the potential immigration index was set to 0 (corresponding to the maximum value of this index).

Elles montrent également que les relations entre densités de campagnols et productivité du milieu n'ont pas le même profil dans les pâtures et dans les fauches. Dans les fauches, les densités de campagnols sont faibles à basse productivité et augmentent rapidement pour former un plateau avec de fortes valeurs pour des productivités moyennes et fortes. Dans les pâtures, les densités de campagnols augmentent avec la productivité jusqu'à un NDVI d'environ 1600, atteignant alors près de 40%. Au-delà de ce seuil, elles diminuent à mesure que la productivité continue d'augmenter, dans la gamme de valeurs observée.

3.2.3 Le type AEOLE du faciès de prairie est-il un meilleur indicateur des risques de pullulation que les pratiques agricoles, l'altitude, et la productivité prairiale ?

D'après les Figures 3 et 4, les résultats des meilleurs modèles des deux lots (modèle 1 et modèle 2.4.1) semblent très similaires. Une régression linéaire entre densités de campagnols prédites par le modèle 1 et densités de campagnols prédites par le modèle 2.4.1 a été réalisée en complément (Annexe 5). Le R² vaut 0.9369 ce qui nous permet d'affirmer que les deux modèles testés sont très concordants.

Afin d'évaluer le pouvoir explicatif du type AEOLE, nous avons comparé l'AIC du modèle intégrant l'interaction entre la pratique agricole dominante et la productivité (modèle 2.4.1, Tableau 1) avec celui du modèle intégrant la typologie AEOLE (modèle 1,

Tableau 1). L'AIC du modèle intégrant la typologie est inférieur à celui du modèle prenant en compte la pratique agricole dominante et la productivité, alors même qu'il ne prend en compte qu'une seule variable explicative ($\Delta AIC = 92,6$). C'est par ailleurs le modèle qui explique le plus de variance (86%). Le modèle comprenant la pratique agricole et la productivité est cependant aussi très bon (82.5%). Nous avons également testé un modèle introduisant à la fois la typologie AEOLE, les pratiques agricoles, et la productivité. Celui-ci n'explique que 1.8% de variance de plus que le modèle 1 intégrant la typologie AEOLE. L'information expliquée par les variables pratique agricole dominante et productivité est donc presque entièrement contenue dans la variable typologie. La typologie AEOLE semble donc être le meilleur prédicteur des densités de campagnols.

4. Discussion

Les résultats obtenus montrent qu'un lien fort existe entre les densités de campagnols et le type AEOLE des prairies. Le meilleur modèle, qui inclut l'indice d'immigration potentielle et le type AEOLE, permet d'expliquer une part très importante des variations de densités relatives de campagnols terrestres (86%), suggérant que nous capturons bien les causes de l'hétérogénéité locale, entre parcelles, des dynamiques de campagnols. Les résultats permettent ainsi l'identification, à partir de la typologie AEOLE, des parcelles les plus à risque face aux pullulations de campagnols.

4.1 Le type AEOLE comme indicateur des densités de campagnols

Le type AEOLE des prairies est un très bon indicateur des densités de campagnols. Bien qu'il n'explique que 3,5% de variance en plus que la productivité des prairies et la pratique dominante, il constitue un outil synthétique et simple d'utilisation qui déjà très utilisé par les conseillers agricoles lors de la réalisation de DIAMS. L'intérêt d'utiliser la typologie AEOLE comme indicateur des densités de campagnols est donc bien démontré dans cette étude.

4.2 Importance de la composition floristique de la végétation dans la répartition spatiale des densités de campagnols

Nos résultats suggèrent que la composition floristique des prairies, retranscrite ici par le type AEOLE, peut être un déterminant non-négligeable des densités de campagnols. En effet, le type AEOLE d'un faciès reflète sa composition floristique et explique ici 86% de la variabilité des densités de campagnols. Il apparaît donc envisageable d'influencer ces densités en agissant sur les communautés végétales des prairies (via les pratiques agricoles, par exemple, qui influencent la composition de la végétation (Socher et al., 2013)). Ce résultat est cohérent avec les études qui montrent des préférences du campagnol pour certaines espèces végétales, tel que le pissenlit, et leur fort impact sur la répartition des populations (Lisse et al., 2022 ; Buronfosse et al., 2025). Le pissenlit est fortement sur-sélectionné dans le régime alimentaire des campagnols (Kopp, 1988 ; Lisse et al., 2026) et joue un rôle déterminant dans l'installation des colonies (Buronfosse et al., 2025). Dans nos données, les densités de pissenlits sont les plus élevées dans les parcelles les plus fertiles — en particulier les prairies de fauche — qui sont par ailleurs les plus à risque. Il est cependant à noter qu'un même type de prairies tel que décrit par un type AEOLE peut regrouper différentes communautés végétales assez proches. Cela est dû à des variations fines des conditions locales (e.g. dates de récolte, hauteur de récolte, profondeur de sol...) et à l'historique des pratiques qui impactent les mécanismes d'assemblage locaux des communautés végétales. Ces contrastes fins de composition spécifique de la végétation n'ont pas été pris en compte dans ce travail.

4.3 Influence de la pratique agricole dominante, de la productivité prairiale et de l'altitude sur les densités de campagnols terrestres

Dans les prairies de fauche, la relation entre productivité et densités de campagnols est non linéaire et seules les prairies de fauche maigres (avec des valeurs de productivité faibles, NDVI < 1500) sont peu propices aux pullulations. Des travaux récents montrent qu'un apport azoté d'environ 80 kg/ha/an suffit à entraîner un changement de la composition spécifique des communautés végétales et une réduction de la diversité floristique (Le Bagousse-Pinguet et al., 2025). Il est possible que ce mécanisme explique

la tendance observée dans nos résultats : les parcelles de fauche fertiles, dominées par un petit nombre d'espèces végétales riches en azote, constitueraient un habitat avec une forte densité d'espèces appétentes appréciées par les campagnols. À l'inverse, les parcelles peu productives, caractérisées par des espèces végétales moins nutritives, et/ou une plus grande diversité floristique, pourraient constituer un habitat moins favorable aux campagnols.

Dans les pâtures, un motif en cloche est observé. Les densités de campagnols augmentent jusqu'à un NDVI d'environ 1600, puis diminuent au-delà avec l'augmentation de la productivité dans la gamme observée (NDVI maximum de 2050). Dans les prairies pâturées, une forte productivité s'accompagne généralement d'une pression de pâturage plus élevée afin de valoriser l'herbe de façon optimale. Ce fort chargement, et le piétinement associé, pourrait générer un dérangement pour les campagnols (Morilhat et al., 2007). Il est également possible qu'une forte intensité de pâturage dans les parcelles fertiles modifie les communautés végétales au profit d'espèces moins appréciées par les campagnols. Il faut néanmoins noter que le pissenlit et le trèfle blanc, espèces appétentes pour les campagnols (Lisse et al., 2026), peuvent figurer parmi les espèces dominantes dans certaines pâtures productives (cf. typologie AEOLE).

Les contrastes de densités de campagnols entre les pâtures et les prairies de fauche pourraient aussi s'expliquer par la profondeur du sol. Sur le site d'étude, les pâtures présentent fréquemment des affleurements rocheux ; au contraire, les prairies de fauche ont bénéficié d'extractions de pierres, conduisant à des sols plus profonds. Cette différence pourrait avoir des effets directs sur le comportement des campagnols terrestres, notamment sur leur capacité à creuser des galeries : un sol superficiel et rocheux, caractéristique des pâtures, pourrait limiter l'installation et l'extension des réseaux souterrains, alors qu'un sol plus profond, typique des prairies de fauche, favoriserait au contraire leur développement.

Nos résultats indiquent une absence d'effet de l'altitude sur les densités de campagnols. Il est toutefois possible que son influence soit partiellement masquée par l'indice d'immigration potentielle. En effet, sur notre site d'étude, les parcelles situées en altitude sont très éloignées des parcelles sources et présentent donc un faible indice d'immigration potentielle.

4.4 Dynamiques de répartition spatiale des campagnols terrestres

De forts contrastes de densités de campagnols entre parcelles ont été observés sur le site d'étude. En automne 2024, la majorité des tumuli a été recensée dans des faciès de fauche fertiles, lesquels sont presque tous colonisés. À l'inverse, les faciès de pâture sont majoritairement exempts de campagnols, même lorsqu'ils sont situés à proximité immédiate de faciès de fauche fortement colonisés. En 2025, la répartition des populations de rongeurs a évolué. Au sein d'une même parcelle, le faciès fauché et fertile (type MF26) a été

colonisé alors que le faciès fauché mais peu fertile (type MF23) ne l'a pas été (Figure 1), suggérant que la colonisation des milieux s'effectue en priorité dans les faciès de fauche les plus fertiles. Plusieurs pâtures ont été colonisées en 2025, mais uniquement lorsqu'elles se situaient à proximité de fauches déjà saturées à l'automne 2024. En cohérence avec nos résultats (Figures 3 et 4), ces observations indiquent que la colonisation spatiale des milieux par le campagnol terrestre lors d'une pullulation s'opère en deux phases. Elle débute par l'occupation des prairies de fauche fertiles, qui constituent des habitats très attractifs et deviennent des foyers de pullulation. Dans un second temps, lorsque les densités augmentent, une partie des individus se disperse et s'installe dans les pâtures environnantes, même si celles-ci sont moins attractives.

4.5 Des résultats spécifiques au territoire d'étude, ou généralisables ?

Cette étude a été conduite dans une zone de moyenne montagne du Massif central, avec un climat semi-continental. Les prairies étudiées sont essentiellement des prairies semi-naturelles permanentes. Toutefois, il est vraisemblable que les facteurs présentant un effet sur les densités de campagnols soient similaires dans d'autres régions présentant la même gamme d'altitude, de productivité et de végétation. Cela pourrait être testé en mobilisant les typologies des couverts prairiaux disponibles dans d'autres zones françaises : "Agriculture, prairies de fauche et environnement dans le Massif Jurassien" (Petit *et al.*, 2005), "Les prairies permanentes basco-béarnaises. Caractériser la diversité, les modes d'utilisation et les services écosystémiques" (Arranz *et al.*, 2015), "Les prairies de fauche et les pâtures des Alpes du Nord" (Fleury *et al.*, 1988 ; GIS Alpes du Nord *et al.*, 1997) ou encore "Le massif vosgien : typologie des prairies naturelles" (Collectif, 2006). Dans les zones où aucune typologie n'est disponible, le risque de pullulation des campagnols pourrait tout de même être estimé en croisant des valeurs de productivité (données satellitaires) avec des données de pratiques agricoles. Les résultats sont bons sur notre zone d'étude mais un travail de généralisation devrait être réalisé.

4.6 Implications des résultats pour la gestion des prairies

Cette étude fournit une caractérisation des types de prairies de montagne du Massif central qui sont les plus susceptibles d'atteindre de fortes densités de campagnols terrestres. Les milieux les plus à risque de pullulation sont les prairies de fauche moyennement à très fertiles. Elles sont par la suite les plus susceptibles de constituer des foyers potentiels de dispersion.

Dans le Massif central, certains agriculteurs s'appuient sur des diagnostics de diversité des prairies, fondés sur la typologie AEOLE et proposés par différentes structures d'accompagnement, afin d'affiner la gestion de leurs parcelles. Nos résultats suggèrent que la typologie AEOLE peut également servir de clé de lecture

pour identifier les faciès les plus à risque vis-à-vis des campagnols terrestres. Elle constitue ainsi un indicateur synthétique et simple d'utilisation (voir un essai de vulgarisation en Figure 5).

Une fois les parcelles les plus sensibles identifiées, les efforts de surveillance et de lutte peuvent y être concentrés. Toutefois, l'utilisation des types AEOLE comme indicateurs des densités de campagnols terrestres nécessite de connaître la phase du cycle de pullulation en cours dans la zone concernée. Cette information est accessible via l'application Arvicola Obs (<https://www.arvicola-obs.fr/>).

L'état de pullulation des parcelles voisines est également à prendre en compte. En effet, les parcelles ne sont pas isolées les unes des autres dans les mosaïques herbagères, et l'échelle de gestion d'une population sauvage dépasse généralement le cadre d'un parcellaire d'exploitation (Pélosi *et al.*, 2010). Des parcelles non surveillées peuvent devenir des foyers d'infestation, favorisant la dispersion des campagnols vers des parcelles proches et appartenant potentiellement à des exploitations voisines. La surveillance et la lutte, en particulier dans les prairies de fauche fertiles, doivent être envisagées à l'échelle du paysage et mises en œuvre de manière collective (Couval *et al.*, 2014).

Afin d'améliorer la lutte, il est important de rappeler qu'il faut agir précocement, avant que les densités n'atteignent 50 individus par hectare et deviennent ingérables. Il est cependant plus difficile de surveiller et de lutter lorsque le nombre de colonies visibles est faible, car le temps consacré à la détection devient très conséquent et donne une impression d'improductivité. Il semble donc primordial d'améliorer les capacités de surveillance à basse densité. L'automatisation, par le biais de drones, constitue une piste prometteuse : des preuves de concept ont montré qu'il était possible de cartographier les densités de campagnols par drone (Figure 1). Leur utilisation dans les parcelles dont les types AEOLE sont les plus à risque pourrait permettre de détecter rapidement l'apparition de nouvelles colonies et d'agir avant que les campagnols ne se dispersent dans des parcelles adjacentes. L'accessibilité de ces outils pour la profession agricole implique toutefois la mise en place de moyens pour automatiser la surveillance par drone.

4.7 Perspectives de recherche

Il convient de souligner que nos résultats portent sur seulement 10 types de végétation parmi les 68 décrits dans la typologie AEOLE, et qu'ils ont été obtenus sur une seule exploitation. Une perspective serait donc de consolider ces résultats à l'échelle du Massif central et dans d'autres régions concernées par ces problématiques, en intégrant une plus grande diversité de types de végétation, notamment des types de prairies collinéens. Un enjeu pour la recherche et le développement serait de mutualiser les moyens afin de pouvoir croiser les données de types de prairies acquises par des structures d'accompagnement avec des données de télédétection de densités de tumuli.

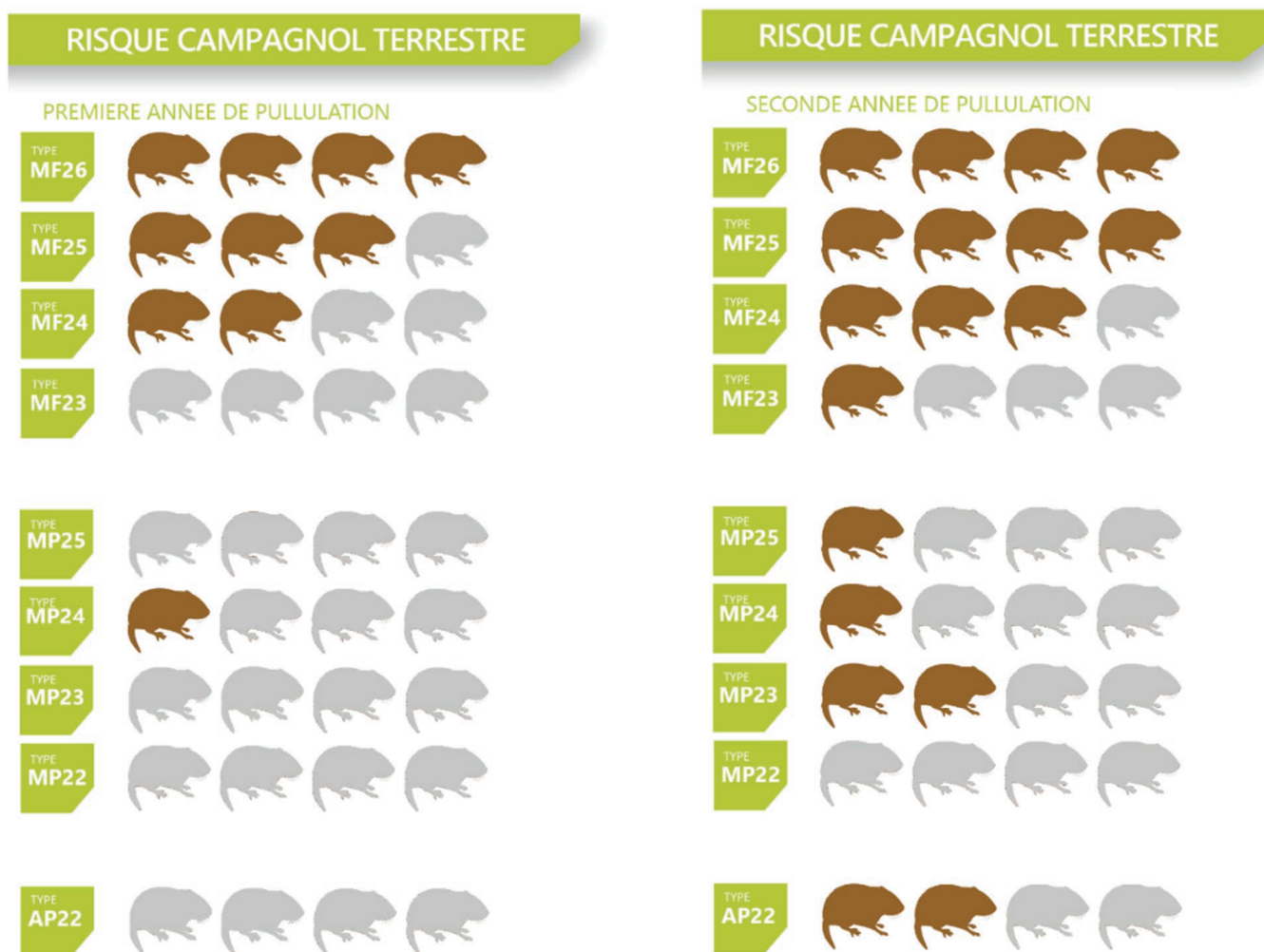


Figure 5 : Risque d'infestation par les campagnols terrestres à l'échelle du faciès de végétation pour la phase de croissance (panel de gauche) et pour la phase de pullulation (panel de droite). Le visuel est volontairement inspiré de la typologie AEOLE. Seuls les types de prairies que nous avons pu expertiser sont renseignés, et les valeurs proposées ici nécessiteraient d'être complétées avec des relevés d'autres localités pour être généralisables à l'échelle du Massif central. Toutefois, ce visuel pédagogique est facilement utilisable avec les livrets de la typologie AEOLE.

Figure 5: Risk of water vole infestation at the vegetation type scale for the growth phase (left panel) and for the outbreak phase (right panel). The visual is intentionally based on the AEOLE typology. Only the grassland types we worked on are included, and the values presented here would need to be completed with data of other locations to be generalized to the Massif central scale. However, this educational visual can be easily used with the AEOLE typology booklets.

Afin d'affiner notre compréhension des relations entre les conditions environnementales, les pratiques agricoles et les densités de campagnols, un approfondissement fondé sur l'étude des communautés végétales (échelle plus fine que les types utilisés dans ce travail) apparaît également comme une piste pertinente. Il serait nécessaire d'examiner l'attractivité de ces communautés pour le campagnol terrestre. Cette approche gagnerait également à intégrer l'analyse des traits fonctionnels des espèces végétales.

5. Conclusion

Cette étude démontre que le type de prairie constitue un facteur majeur du risque de pullulation du campagnol terrestre dans le Massif central. La structure du paysage autour des zones sources est également déterminante. Les résultats montrent que les parcelles de fauche moyennement à très fertiles présentent les densités les plus élevées et sont colonisées en priorité.

À l'inverse, les pâtures, les prairies d'altitude, les landes fermées et les fauches maigres apparaissent nettement moins recherchées par le campagnol, et ne sont colonisées que la seconde année du pic de pullulation et ne le seraient peut-être pas s'il n'y avait pas de parcelles sources à proximité. La typologie AEOLE se révèle ainsi un outil pertinent pour identifier les parcelles à risque, avec un pouvoir explicatif légèrement supérieur à celui des pratiques agricoles et de la productivité. Ces résultats ouvrent des perspectives opérationnelles pour la surveillance et la gestion collective des populations de campagnols, en ciblant prioritairement les parcelles les plus vulnérables. Ils soulignent également l'importance d'approches intégrées, combinant connaissance fine de la flore, dynamique spatiale et innovations technologiques.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier la DRAAF Auvergne Rhône-Alpes pour son soutien financier. Ils remercient également Yves Michelin pour la mise à disposition des données d'Arvicola Obs sur la zone d'étude, Fabien Davy pour le typage des prairies de l'Herbipôle de Laqueuille, réalisé dans le cadre de son stage de Master 2 à l'ISTOM encadré par Jean-Noël Galliot, et Jacques Tyssandier pour l'appui technique lors de la phase de terrain.

Références bibliographiques

- Airoldi J.P. (1976). Le terrier de la forme fouisseuse du campagnol terrestre *Arvicola terrestris* Sherman Shaw (Mammalia, Rodentia). *Zeitschrift für Säugetierkunde* (41), 23–42.
- Arranz J.M., Artano-Garmendia C., Bernos N., Charbonneau M., Gascoat P., Inarra P., Mareaux M., Masson S., Mignot L. (2015). Les prairies permanentes basco-béarnaises. Caractériser la diversité, les modes d'utilisation et les services écosystémiques. Rapport technique SET, UPPA, 99 pages.
- Berthier K., Piry S., Cosson J. F., Giraudoux P., Foltête J. C., Defaut R., Lambin X. (2014). Dispersal, landscape and travelling waves in cyclic vole populations. *Ecology letters*, 17(1), 53–64.
- Buronfosse M., Lisse H., Couval G., Levret A., Gillet F., Lattard V., Pinot A. (2025). Fossorial form of water voles select and overexploit high-quality habitats, hindering future colonizations evidence from drone-based monitoring of dandelion-vole interactions in mountain meadows. *Ecology and Evolution* 15, no. 9: e72208.
- Chevret P., Renaud S., Helvacı Z., Ulrich R. G., Quéré J. P., Michaux J. R. (2020). Genetic structure, ecological versatility, and skull shape differentiation in *Arvicola* water voles (Rodentia, Cricetidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 58(4), 1323–1334.
- Collectif (2006) : Le Massif Vosgien : Typologie des prairies naturelles, Document INPL-INRA / Ch. d'Agric. 67, 68, 88 / PNR des Ballons des Vosges / Institut de l'Elevage, éd. Ch. d'Agric. des Vosges, 27 p.
- Couval G., Truchetet D. (2014). Le concept de lutte raisonnée : combiner des méthodes collectives contre le campagnol terrestre afin de conserver une autonomie fourragère, *Fourrages*, 220, 343–347.
- Delattre P., Giraudoux P. (2009). *Le campagnol terrestre : prévention et contrôle des populations*, 304p.
- Duhamel R., Quéré JP., Delattre P. (2000) Landscape effects on the population dynamics of the fossorial form of the water vole (*Arvicola terrestris* scherman). *Landscape Ecology* 15, 89–98.
- Fichet-Calvet E., Pradier B., Quéré J. P., Giraudoux P., & Delattre P. (2000). Landscape composition and vole outbreaks: evidence from an eight year study of *Arvicola terrestris*. *Ecography*, 23(6), 659–668.
- Fleury P., Jeannin B., Dorioz J.M. (1988). Typologie des prairies de fauche de montagne des Alpes du nord humides, Doc GIS Alpes du Nord, 130 p. + annexes.
- Foltête J.-C., Berthier K., Cosson J.-F. (2005). Paysage et pullulation animale : les facteurs paysagers de la vitesse de propagation des vagues de pullulations du campagnol terrestre. *Cybergeo: European Journal of Geography*.
- Galliot J.N., Hulin S., Le Henaff P.M., Farruggia A., Seytre L., Perera S., Dupic G., Faure P., Carrère P. (2020). *Typologie multifonctionnelle des prairies du Massif central*. Edition Sidam-AEOLE, 284 pages.
- Giraudoux P., Pradier B., Delattre P., Deblay S., Salvi D., & Defaut R. (1995). Estimation of water vole abundance by using surface indices. *Acta Theriologica*, 40(1), 77–96.
- GIS Alpes du Nord, SUACI Montagne, INRA SAD Versailles (1997) : Les prairies de fauche et les pâtures des Alpes du Nord, Fiches techniques pour le diagnostic et la conduite des prairies, 144 p.
- Halliez G., Renault F., Vannard E., Farny G., Lavorel S., Giraudoux P. (2015). Historical agricultural changes and the expansion of a water vole population in an Alpine valley. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 212, 198–206.
- Keller A. B., Walter C. A., Blumenthal D. M., Borer E. T., Collins S. L., DeLancey L. C., Hobbie S. E. (2023). Stronger fertilization effects on aboveground versus belowground plant properties across nine US grasslands. *Ecology*, 104(2), e3891.
- Kopp R. (1988). Les choix alimentaires de la forme fouisseuse du campagnol terrestre (*Arvicola terrestris* scherman): essais en terrarium. *EPPO Bulletin*, 18(3), 393–400.
- Le Bagousse-Pinguet Y., Liancourt P., Berdugo M., Allan E., Martin R., Penone C., Saiz H., Soliveres S., Gross, N. (2025). Thresholds of functional trait diversity driven by land use intensification. *Nature Ecology & Evolution*, 1–10.
- Lisse H., Buronfosse M., Sobczyk-Moran G., Jaquet C., Ramadier E., Benoit E., Lattard V., Pinot A. (2022). Biologie du campagnol terrestre en Auvergne, *Phytoma*, 754, 26–30.
- Lisse H., Jacquet C., Sobczyk-Moran G., Buronfosse M., Fournoux A., Lattard V., Ramadier E. & Pinot A. (2026). Is water vole diet consistent with the plant hypothesis for explaining population fluctuations? Article accepté chez ECOSPHERE, sous presse.
- Michelin, Y., Vidal, S., Pinot, A. (2025). Un nouveau dispositif de surveillance des Campagnols terrestres. *Phytoma* 783, 12–17.
- Morilhat C., Bernard N., Bournais C., Meyer C., Lamboley C., Giraudoux P. (2007). Responses of *Arvicola terrestris* scherman populations to agricultural practices, and to *Talpa europaea* abundance in eastern France. *Agriculture, ecosystems & environment*, 122(3), 392–398.
- Morilhat C., Bernard N., Foltête J.C., Giraudoux P. (2008). Neighbourhood landscape effect on population kinetics of the fossorial water vole (*Arvicola terrestris* scherman). *Landscape ecology*, 23(5), 569–579.
- Pélosi C., Goulard M., Balent G. (2010). The spatial scale mismatch between ecological processes and agricultural management: Do difficulties come from underlying theoretical frameworks?. *Agriculture, ecosystems & environment*, 139(4), 455–462.
- Petit S., Fleury P., Vansteelant J.Y. (2005) : Agriculture, prairies de fauche et environnement dans le Massif jurassien. Outil de diagnostic et conseil. Guide technique, parc naturel régional du Haut-Jura – GIS Alpes du Nord, Lajoux - Chambéry.
- Pinot A. (2025). Le campagnol, les prairies et les pullulations, *Bulletin des G.T.V.* 118, pp.63–68.
- Quéré J.P., Garel J.P., Rous C., Pradier B., Delattre P. (1999). Estimer les dégâts du Campagnol terrestre en prairie naturelle, *Fourrages* 158, 133–147.
- Saucy F. 1988. Dynamique de population, dispersion et organisation sociale de la forme fouisseuse du Campagnol terrestre (*Arvicola terrestris* scherman). Ph. D. thesis, Neuchâtel: 1–366.
- Socher S., Prati D., Boch S., Müller J., Baumbach H., Gockel S., Hemp A., Schöning I., Wells K., Buscot F., Kalko E., Linsenmair K.E., Schulze E., Weisser W., Fischer M. (2013). Interacting effects of fertilization, mowing and grazing on plant species diversity of 1500 grasslands in Germany differ between regions. *Basic and Applied Ecology* 14, 126–136.
- Viel J.F., Giraudoux P., Abrial V., Bresson-Hadni S. (1999). Water vole (*Arvicola terrestris* scherman) density as risk factor for human alveolar echinococcosis, *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 61(4), 559–565.
- Wang J., Rich P.M., Price K.P., Kettle W. D. (2005). Relations between NDVI, Grassland Production, and Crop Yield in the Central Great Plains, *Geocarto International*, 20(3), 5–11.
- Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review, *Agronomy for Sustainable Development* 29, 503–515.