

➤ PARMENIDE

➤ PAysages Ruraux en Mosaïque Et Nouveaux Indicateurs de Diversité Ecoacoustique

Métaprogramme BIOSEFAIR

Bilan de projet : 2024 - 2026

Février 2026

Les paysages ruraux tempérés se sont profondément transformés depuis l'après-guerre sous l'effet cumulé des changements climatique et d'usage des sols. Pour mieux quantifier les dynamiques socio-écologiques à l'origine de ces changements, il est nécessaire d'utiliser des métriques intégratives rendant compte de la complexité des relations entre pratiques agricoles, hétérogénéité du paysage et biodiversité. La dimension sonore de la biodiversité a fait l'objet d'avancées conceptuelles et méthodologiques importantes avec l'émergence depuis une dizaine d'années de l'écoacoustique des paysages et l'utilisation de métriques de diversité acoustique permettant de quantifier simultanément les sons d'origine biologique (biophonie) et anthropique (anthropophonie). Dans le projet PARMENIDE, nous avons testé l'hypothèse que la diversité acoustique des paysages ruraux est favorisée par l'hétérogénéité de composition et de configuration des mosaïques paysagères et les systèmes de production tendant vers l'extensification des pratiques de gestion (notamment agriculture biologique).

Pour tester cette hypothèse, nous avons mobilisé un réseau de paysages-ateliers en France issus des réseaux de sites INRAE (Sebiopag, UREP, UE St Laurent de la Prée), CNRS (Zones Ateliers Armorique, Arc Jurassien et Pyrénées-Garonne) et Parcs Naturels Régionaux (Baronnies Provençales, Pyrénées Ariégeoises). En articulant des approches issues de l'écoacoustique et de l'écologie du paysage, nous avons testé l'effet de la proportion de différents types de couverts (biologiques ou non, pérennes ou non) dans le paysage sur des indices de diversité acoustique, ainsi que l'effet du degré de naturalité du paysage environnant à des échelles spatiales multiples allant jusqu'à 1km autour des capteurs.

Au niveau national, nos résultats montrent que l'hétérogénéité du paysage et l'extensification des pratiques à large échelle sont des facteurs clés de la diversité acoustique. En particulier, la quantité de prairies permanentes, la quantité d'agriculture biologique dans le paysage et le degré de naturalité favorisent la biophonie, tandis que la techno-anthropophonie domine dans les paysages ruraux les plus fragmentés. Au niveau régional, on voit que les effets du type d'agriculture biologique et de l'hétérogénéité du paysage peuvent varier en fonction de la composition locale des communautés d'oiseaux mesurée par la complexité acoustique des chœurs, en réponse à des pratiques agricoles issues des filières de production localement dominantes dans le paysage. Ces résultats ouvrent des perspectives nouvelles pour l'étude de la diversité acoustique des paysages ruraux en mosaïque au sein desquels la multiplicité des sources de sons rend leur analyse à la fois complexe mais aussi intégratrice des dynamiques socio-écologiques. Les perspectives du projet PARMENIDE sont actuellement explorées dans le cadre du projet Biosefair qui lui a succédé, FARMSOUND, dans lequel nous élargissons les métriques de réponse à celles issues des communautés acoustiques d'oiseaux identifiées par apprentissage profond (BirdNET) et les variables géomatiques à celles décrivant les paysages historiques avant et juste après le remembrement agricole d'après-guerre. Ces deux approches permettent de plus d'élargir notablement la dimension interdisciplinaire des recherches entamées dans PARMENIDE en accentuant la mise en commun de concepts et de méthodes issues de la géomatique et de l'intelligence artificielle avec celles déjà mobilisées issues de l'écologie du paysage, de l'écoacoustique et de l'agro-écologie.

Résultats détaillés

Les données acoustiques proviennent de 10 clusters régionaux de sites répartis dans 7 régions administratives françaises (Figure 1). Ces données acoustiques ont été collectées sur chaque site pendant plusieurs jours consécutifs au printemps (pendant la principale période de vocalisation des oiseaux) à l'aide d'enregistreurs passifs, entre 2020 et 2025.

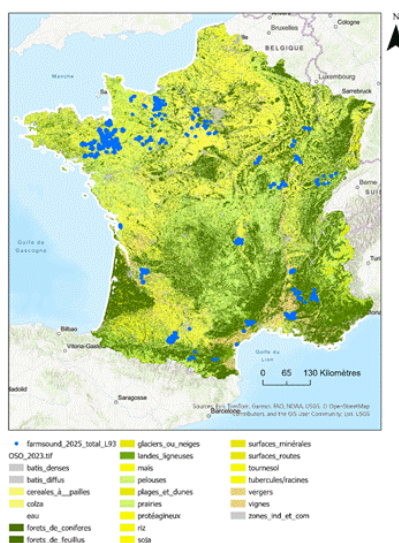


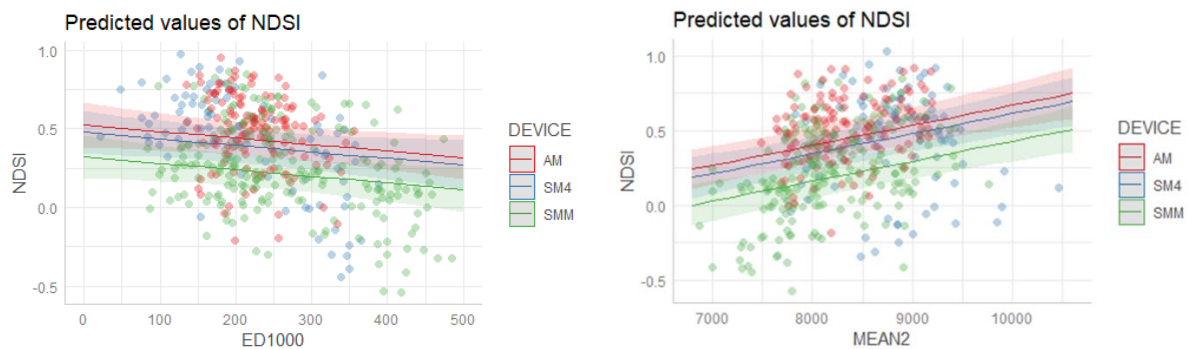
Figure 1. Localisation des 780 points potentiels d'enregistrement en France.

Au total, 4 indices acoustiques moyennés sur l'ensemble de la période d'enregistrement et sur 24 heures ont été calculés pour chaque site après avoir découpé chaque fichier audio original en périodes standard d'une minute. Nous avons également calculé un jeu de métriques paysagères issues de plusieurs sources géomatiques complémentaires (OSO, CartNat, CartoBio) à 4 distances de buffers croissantes (100, 250, 500 et 1000 m) autour des enregistreurs.

Effet de la fragmentation *sensu stricto* sur le ratio biophonie/anthropophonie

A l'échelle de l'ensemble des données analysées (N = 428 soundscapes), nous avons mis en évidence un effet significatif de la fragmentation proprement dite (*sensu* Fahrig et al. 2026) sur le ratio biophonie/anthropophonie mesuré par le NDSI, indépendamment des types d'habitats dominants de la mosaïque paysagère.

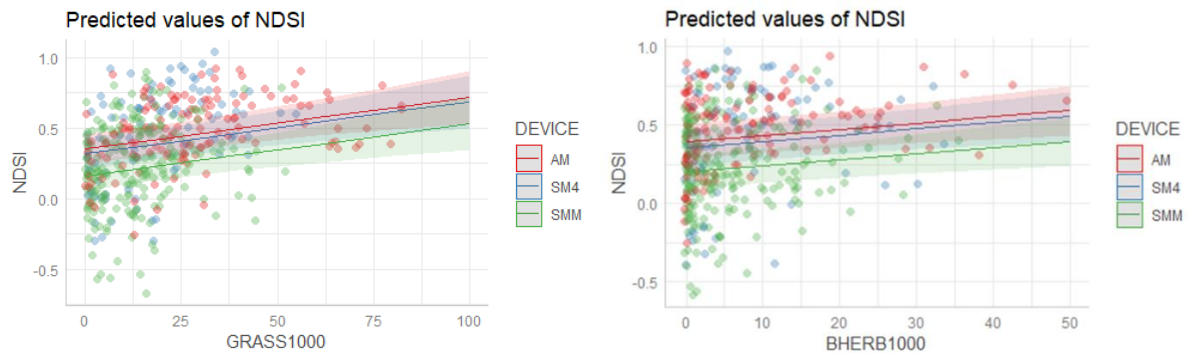
Ce résultat confirme l'hypothèse selon laquelle le niveau de biophonie est inversement corrélé (i) à celui de la techno-anthropophonie et (ii) à celui de la fragmentation *sensu stricto* du paysage acoustique (mesurée par la densité d'écotones dans un rayon d'1 km autour des capteurs). Nous avons trouvé également une relation significativement positive entre le NDSI et la valeur moyenne du layer2 de la carte de naturalité en France publiée par l'UICN, mesurant la spontanéité des processus naturels en relation inverse avec l'anthropisation mesurée par la densité du bâti et du réseau routier (Guetté et al. 2021).



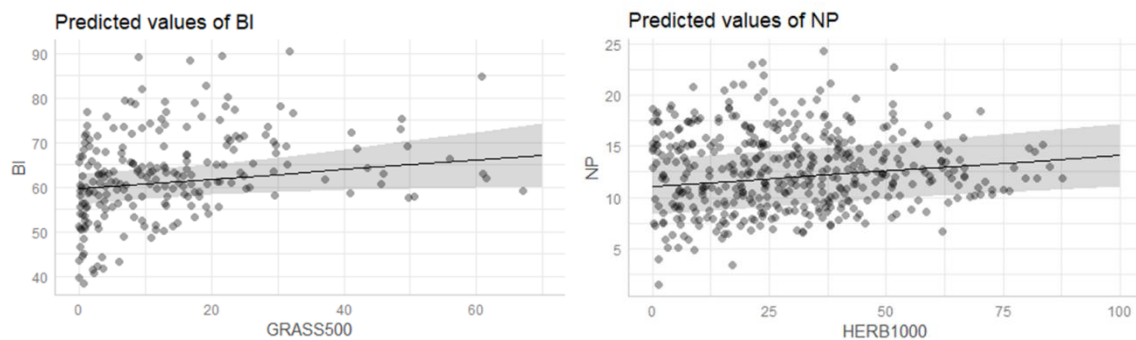
Figures 2a et b. Effets de la fragmentation *sensu stricto* (densité d'écotones) et de la naturalité du paysage environnant (inverse de la densité de bâti et de routes, layer2 CartNat) dans un rayon d'1 km autour des capteurs sur la proportion relative de biophonie (valeurs positives) et de techno-anthropophonie (valeurs négatives).

Effet de la quantité de prairies permanentes dans le paysage sur la biophonie

La proportion relative de biophonie sur la techno-anthropophonie (NDSI) dans les enregistrements augmente significativement avec la quantité de prairies semi-naturelles permanentes et de prairies permanentes et fourragères dans un rayon d'1 km autour des enregistreurs (Figure 3a). La proportion de parcelles herbagères permanentes et temporaires conduites en agriculture biologique dans un rayon d'1 km a également un effet positif sur le NDSI (Figure 3b). L'effet positif de la quantité de prairies semi-naturelles permanentes sur la biophonie est également décelable par deux autres indices acoustiques mesurant les niveaux de biophonie dans les enregistrements : le nombre de pics de fréquence (NP) et l'indice bioacoustique (BI). Ces deux indices montrent également une augmentation avec la quantité de prairies permanentes à 500 m (BI) et de prairies permanentes et fourragères à 1 km (NP) autour des capteurs (Figures 4a et b). A noter que cet effet n'est décelable pour l'indice bioacoustique que sur les enregistrements issus des SMM (N = 215).



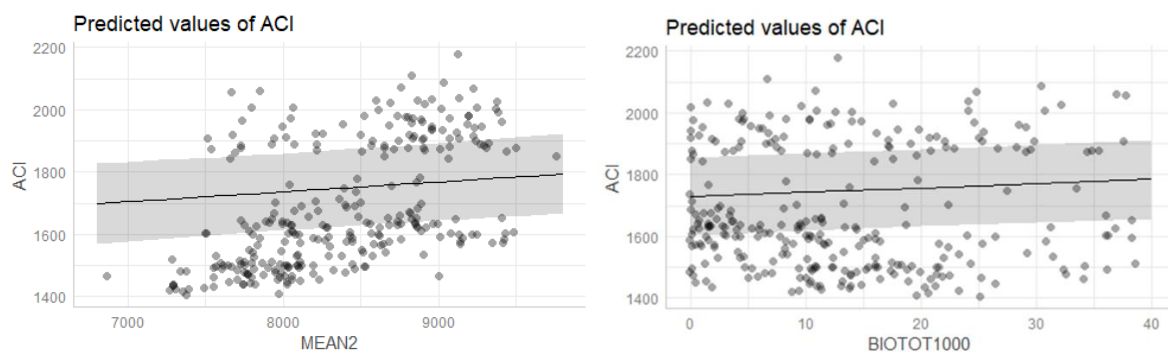
Figures 3a et b. Effets de la quantité de prairies permanentes et de prairies permanentes et fourragères conduites en agriculture biologique dans un rayon d'1 km autour des capteurs sur le NDSI.



Figures 4a et b. Effets de la quantité de prairies permanentes dans un rayon de 500m et de prairies permanentes et fourragères dans un rayon d'1 km autour des capteurs sur les niveaux de biophonie (BI: indice bioacoustique, NP: nombre de pics de fréquence).

Effet de la naturalité et de l'agriculture biologique sur la complexité acoustique

La complexité acoustique mesurée par l'indice ACI est également favorisée par la naturalité des processus et la quantité d'agriculture biologique dans le paysage environnant dans un rayon d'1 km autour des capteurs. Cependant, si cet effet est globalement significatif, il montre des magnitudes différentes selon les clusters régionaux et la composition locale des chœurs d'oiseaux chanteurs et devra donc être analysé regionalement pour mieux refléter les dynamiques locales des différentes productions agricoles sur la biophonie (Figures 5a et b).



Figures 5a et b. Effets de la naturalité (layer2) et de la quantité de parcelles en agriculture biologique dans un rayon d'1 km autour des capteurs sur la complexité acoustique (ACI).

Conclusion

Nos résultats confirment l'hypothèse selon laquelle le niveau de naturalité du paysage favorise la diversité acoustique. En particulier, les mosaïques paysagères peu fragmentées et avec

une forte proportion de prairies permanentes ainsi que les paysages tendant vers l'extensification des pratiques de gestion (notamment agriculture biologique) favorisent très clairement la biophonie.

Perspectives scientifiques.

En premier lieu, les effets paysagers observés sur la diversité acoustique et en particulier l'effet positif fort des prairies permanentes, nous questionne sur l'histoire du paysage et l'effet de sa stabilité du temps : quel est l'effet de la quantité historique de prairies permanentes dans le paysage sur la diversité acoustique ? Les paysages ayant subi le plus de changements (en lien avec la déprise agricole ou l'artificialisation) sont-ils ceux qui présentent le moins de diversité acoustique aujourd'hui ? Ou est-ce que ces changements se traduisent par un décalage temporel de réponse de la biodiversité acoustique ?

En second lieu, et au-delà de la diversité acoustique, nous cherchons à caractériser les communautés acoustiques d'oiseaux à partir des enregistrements sonores, en optimisant l'utilisation et la validation experte des détections par algorithmes d'apprentissage profond des vocalisations des espèces. Peut-on mesurer des interactions biotiques par le son, comme la coexistence de taxons prédateurs et leurs proies (oiseaux insectivores à fort enjeu de conservation et orthoptères proies comme le grillon champêtre *Gryllus campestris*, par exemple) ? Peut-on caractériser ainsi de manière standardisée les communautés acoustiques d'oiseaux et comment définir ce nouveau concept de communauté, sensiblement différent de celui utilisé depuis des décennies en écologie des communautés et de la conservation ?

Enfin, peut-on inférer de la composition des communautés d'oiseaux identifiées et validées par l'utilisation conjointe de l'IA et de l'expertise ornithologique humaine, des métriques de communautés qui traduiraient l'importance culturelle des chœurs d'oiseaux chanteurs et des ambiances sonores associées dans les paysages acoustiques ruraux en termes de perception et de bien-être humain, voire de santé mentale des habitants d'un territoire ?

Ces questionnements ont notamment conduit au dépôt du projet FARMSOUND qui constitue actuellement le prolongement naturel de PARMENIDE, ainsi qu'à la participation d'une partie du consortium au projet du PEPR Agro-écologie et numérique Biodicapt 2026-2029.