



HAL
open science

Trame verte et bleue : quelle approche spatiale pour quel réseau écologique ?

Ruppert Vimal, Cyril Bernard, Aurélien Letourneau, Amélie Bernier, John Thompson

► To cite this version:

Ruppert Vimal, Cyril Bernard, Aurélien Letourneau, Amélie Bernier, John Thompson. Trame verte et bleue : quelle approche spatiale pour quel réseau écologique ?. [Rapport de recherche] CEFE-CNRS, 1919 route de Mende, Campus du CNRS, 34293 Montpellier 5. 2011, 65 p. hal-02454034

HAL Id: hal-02454034

<https://univ-tlse2.hal.science/hal-02454034>

Submitted on 24 Jan 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

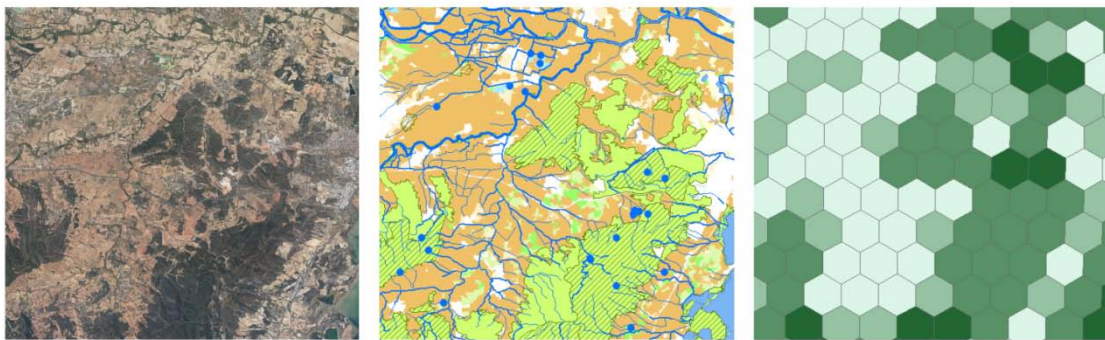


Trame verte et bleue : quelle approche spatiale pour quel réseau écologique ?

Ruppert Vimal, Cyril Bernard, Aurélien Letourneau, Amélie Bernier, John Thompson

Juin 2011

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE), CNRS, 1919 route de Mende,
34293 Montpellier cedex 5



Partenaires financiers

Le travail réalisé a été soutenu financièrement par la Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement ainsi que par la Région Languedoc Roussillon.



Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble des porteurs de données et associations naturalistes de la région et notamment, le Conservatoire des Espaces Naturels, le Conservatoire Botanique Nationale Méditerranéen et l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Ce travail a été réalisé dans le prolongement d'une thèse, et se fonde donc sur des travaux de recherche réalisés en collaboration avec de nombreuses personnes que nous remercions à nouveau.

La méthode proposée s'inspire largement d'observations, de discussions et d'échanges avec de nombreux acteurs. Nous tenons particulièrement à citer le programme Diva corridor de l'UMR Ecobio, le projet IPAMAC d'identification du réseau écologique du Massif central, les travaux du CETE Méditerranée menés par Elise Dulac et Alain Guglielmetti et enfin les expérimentations des parcs naturels de la Narbonnaise en Méditerranée, des Pyrénées Catalanes ainsi que des cinq Parcs de la région Provence Alpes Côtes d'Azur.

Pour citer ce rapport

Vimal Ruppert, Bernard Cyril, Letourneau Aurélien, Bernier Amélie, Thompson John (2011). Trame verte et bleue : quelle approche spatiale pour quel réseau écologique ? Rapport réalisé au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CNRS), Montpellier.

Résumé du propos

Nous proposons ici une méthode d'analyse spatiale pour accompagner la démarche trame verte et bleue (TVB) et la mise en place du Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE). Deux constats majeurs ont fondé les bases de notre proposition. D'une part, la complexité intrinsèque des dynamiques et des interdépendances écologiques ainsi qu'une incertitude inhérente à leur étude, limite les possibilités de matérialisation cartographique de la fonctionnalité écologique. D'autre part, la dimension territoriale de la TVB met en avant l'enjeu social de l'adhésion des acteurs au cadre d'action publique proposé plus que celui technique. Sur la base de ces constats, notre étude vise à proposer un cadre technique concernant l'utilisation de l'information spatiale pour appréhender les enjeux de biodiversité de manière globale et intégrative tout en positionnant l'outil spatial en accompagnement au collectif d'acteurs en charge de la politique TVB. Notre proposition s'articule autour de cinq principes :

- L'utilisation de données agrégées à l'échelle d'un maillage du territoire prédéfini permet d'appréhender la fonctionnalité au travers de la matrice et en évitant de se fixer sur les éléments de biodiversité en tant que tels.
- Le croisement entre biodiversité et pressions permet d'affiner la hiérarchisation des enjeux de biodiversité.
- Si certains indicateurs peuvent être spécifiques à certains enjeux, l'ensemble des indicateurs proposés doit permettre une approche globale des enjeux de biodiversité sur le territoire considéré.
- Il n'existe pas une solution optimale ou un indicateur unique. L'utilisation de l'information spatiale dépend de la question posée et de la politique publique considérée.
- La prise en compte de la fonctionnalité passe par une appréhension des enjeux à différentes échelles et à différents niveaux d'organisation du territoire. Il ne s'agit pas d'identifier les échelles pertinentes pour matérialiser les interdépendances écologiques mais plutôt les échelles pertinentes de mise en œuvre des politiques publiques. La méthode proposée n'a de sens que si elle est positionnée en accompagnement au collectif d'acteurs chargés de définir la politique TVB. Cela signifie qu'elle doit s'adapter au territoire considéré, être en évolution permanente, et permettre non seulement de hiérarchiser mais aussi de caractériser les enjeux de biodiversité.
- Au-delà de cette méthode globale, des développements méthodologiques et techniques à part entière seront nécessaires notamment pour identifier à différentes échelles des continuités d'habitat potentiellement utiles ou pour identifier des enjeux de connectivité entre certains cœurs de nature.

Ainsi, puisque la TVB est aujourd'hui présentée comme un instrument d'action publique, nous proposons, au travers l'enjeu majeur de la place de l'information spatiale, de mettre à disposition un outil qui permette d'intégrer à plusieurs échelles spatiales et administratives les enjeux de conservation de la biodiversité au sein des politiques publiques.

SOMMAIRE

PARTIE I - RÉSEAU ÉCOLOGIQUE : DES FONDEMENTS À L'ENJEU DE L'APPROCHE SPATIALE	1
La prise en compte du réseau écologique : vers la gestion de l'ensemble du territoire	1
Le rôle clé de l'information spatiale	3
Le contexte régional.....	3
PARTIE II - LA MÉTHODE PROPOSÉE	5
Des indicateurs agrégés	5
Le croisement biodiversité/pression.....	6
Une vision exhaustive des enjeux de biodiversité	6
Une information adaptée aux politiques publiques	8
Une approche multi échelle et multi niveau	9
Une méthode au service du collectif	12
Des développements méthodologiques complémentaires	13
PARTIE III - UNE BASE D'INDICATEURS POUR UNE VISION EXHAUSTIVE DES ENJEUX DE BIODIVERSITÉ AU NIVEAU RÉGIONAL	14
Des indicateurs de biodiversité.....	14
Des indicateurs de pression	19
PARTIE IV : DÉTAILS ET ENJEUX TECHNIQUES.....	23
Le calcul des indicateurs	23
Les logiciels utilisés	31
Le croisement des indicateurs de pression et de biodiversité	31
Le classement des valeurs	33
Hiérarchisation et caractérisation.....	33
Biais, coefficients, arbitrages.....	35
RÉFÉRENCES.....	37

PARTIE I - RESEAU ECOLOGIQUE : DES FONDEMENTS A L'ENJEU DE L'APPROCHE SPATIALE

La prise en compte du réseau écologique : vers la gestion de l'ensemble du territoire

Historiquement, le droit de l'environnement en France, comme ailleurs, repose sur la délimitation de territoires spécifiques qui serviront de cadre à l'application de règles adaptées à la gestion des espèces et des milieux. Cette protection repose sur trois grandes approches. Tout d'abord, la délimitation réglementaire d'espaces à protection stricte (cœurs de parcs nationaux, réserves naturelles et arrêté préfectoraux de protection de biotope). Deuxièmement, l'acquisition foncière des terrains pour protéger le littoral soumis à de fortes pressions (Conservatoire du Littoral), par les Conseils Généraux via la taxe départementale sur les espaces naturels sensibles, et par les Conservatoires Régionaux d'Espaces Naturels. Enfin, ce zonage a évolué vers des modes de protection contractuelle qui intègrent les usages humains et des espaces de production, et où l'espace protégé reste en interaction avec son territoire et les populations locales (Natura 2000 en est l'exemple). On observe ainsi une expansion et les tentatives de mise en réseau des espaces protégés qui se sont traduits par l'intégration de propriétés privées et d'espaces productifs et une concertation entre les différentes parties prenantes (élus, acteurs traditionnels du monde rural, associations de protection de la nature, différents usagers). Il s'agit des débuts d'une socialisation des objectifs de conservation de la biodiversité. Cependant, ces politiques impliquent une protection qui s'applique toujours aux espaces et à des périmètres bien délimités.

Bien qu'indispensable dans une stratégie de conservation de la biodiversité, la création de ces aires protégées ne suffit pas à fournir une protection efficace. Les enjeux de conservation dépassent les périmètres des espaces protégés et il convient désormais d'adopter des stratégies de gestion à l'échelle des territoires pour inclure l'ensemble des milieux qui permettent d'assurer la conservation, les déplacements des espèces et le bon fonctionnement des écosystèmes. En effet, loin d'être des systèmes isolés, les espaces protégés ne contiennent souvent pas la surface nécessaire - en termes d'aire vitale, et de fonctionnement des écosystèmes (Grumbine, 1997) - pour assurer la dynamique des systèmes écologiques ni pour protéger un ensemble représentatif de la diversité (Scott *et al.*, 2001). Il est par ailleurs bien connu que la diversité en espèces et la dynamique des populations dans un site donné porte

autant l'empreinte des processus régionaux (dispersion des espèces, l'histoire) que des conditions écologiques *in situ* (Hanski, 1999). Ainsi l'évolution des connaissances suppose que le maintien de la biodiversité passe par la prise en compte des processus écologiques et évolutifs (Smith *et al.*, 1993; Balmford *et al.*, 1998; Poiani *et al.*, 2000). Tant au niveau scientifique que politique, on reconnaît implicitement l'existence d'un réseau écologique, constitué des interdépendances qui lient les systèmes naturels et participent de leur intégrité à toutes les échelles spatiales et temporelles. On constate que les changements d'usages des terres, et la fragmentation¹ des habitats naturels qui les accompagnent sont la cause primordiale de l'érosion de la biodiversité à l'heure actuelle (Sala *et al.*, 2000). Limiter les impacts négatifs de la fragmentation nécessite de gérer la biodiversité dans son ensemble à des échelles multiples : les écosystèmes de taille variable (mares temporaires, grands ensembles de garrigues et forêt, bassins versants, ...), les mosaïques paysagères mêlant agriculture et milieux semi-naturels, les entités paysagères, ... « *La biodiversité ne pourra être maintenue que par la gestion de l'ensemble des territoires* » (Mougenot, 2003, p.12).

Face à l'accroissement des préoccupations environnementales, au développement du multi-usages de l'espace rural, à l'augmentation des conflits d'accès aux ressources, à la diversité des échelles spatiales et administratives d'intervention, il s'agit donc de faire du territoire un espace de décision où les individus puissent sentir qu'ils jouent un rôle, que leur espace est doté de pouvoir et que les enjeux ne se décident pas ailleurs. Il s'agit d'intégrer les stratégies de conservation dans l'espace de la société (Mathevet et Poulin, 2006). La mise en œuvre d'une stratégie de conservation intégrée de la biodiversité passe donc par une relocalisation des réflexions, des politiques, une redéfinition des relations de pouvoir du local au global, l'autonomie, et la réappropriation de la gestion de la nature (Rodary *et al.*, 2004). Dans ce contexte, la gouvernance est identifiée comme un outil, un moyen pour établir un lien entre développement durable et territoire (Pimbert et Pretty, 1997; Mormont *et al.*, 2006). Il convient alors d'organiser le processus social qui permette d'établir un compromis entre savoirs dits scientifiques, connaissances locales et diversité des intérêts socio-économiques. L'enjeu est de prendre en charge la complexité, l'étendue et l'incertitude des connaissances qui caractérisent le réseau écologique, tout en réconciliant les besoins et opinions des différents acteurs afin de promouvoir une vision partagée de la durabilité des territoires. Il

¹ On définit la fragmentation comme la transformation d'une surface importante d'habitat naturel en plusieurs fragments de taille variable, dont la surface totale est inférieure à celle de l'habitat original et qui sont plus ou moins isolées les uns des autres par une matrice environnante différente de l'originale

s'agit de penser la place et le rôle de l'expertise dans le processus d'animation de sorte que la stratégie définie soit socialement robuste et scientifiquement pertinente.

Le rôle clé de l'information spatiale

L'information spatiale, au travers de l'exercice de cartographie, joue un rôle déterminant dans la mise en place de stratégies de réseau écologique notamment parce que la prise en compte du réseau écologique nécessite son intégration aux documents d'aménagement du territoire. Dans ce contexte, la volonté de représenter spatialement le réseau écologique en tant que tel, en s'appuyant notamment sur le modèle taches/corridors/matrice, mène à une certaine forme d'hégémonie de l'expertise technique limitant non seulement la mobilisation des savoirs, la mise en avant des controverses scientifiques et donc la pertinence du résultat produit, mais aussi la place du dialogue social et donc l'acceptabilité des orientations stratégiques (Vimal, 2010; Vimal *et al.*, 2011 ; Vimal et Mathevet, 2011). Partant du constat des difficultés voir de l'impossibilité de matérialiser le réseau écologique, c'est-à-dire d'identifier spatialement ce qui est sensé le constituer, nous proposons de positionner l'expertise technique et donc la cartographie comme outil d'accompagnement et ainsi de favoriser avant tout le dialogue social et son articulation avec les connaissances scientifiques et les données disponibles. Le rôle attribué à la cartographie ne s'en retrouve pas amoindrie pour autant. Il s'agit de faire en sorte que la carte soit à la fois un objet médiateur, permettant d'initier la réflexion et de créer le débat et un objet médias, transmettant les priorités d'actions définies collectivement et acceptées par le plus grand nombre.

Le contexte régional

La région Languedoc-Roussillon qui couvre une superficie d'environ 27 400 Km² au sud de la France et à l'ouest de la vallée du Rhône est un véritable carrefour biogéographique d composantes principalement méditerranéennes mais aussi atlantiques, continentales et alpines. Le territoire abrite plus de 2/3 des espèces connues en France et avec, à titre d'exemple, 131 des 429 espèces végétales protégées sur le plan national. Il incombe donc à la région une très forte responsabilité en termes de protection du patrimoine naturel français. La Stratégie Régionale pour la Biodiversité définie en 2008 reflète la volonté du Conseil régional de préserver cet environnement exceptionnel, qui au-delà d'un patrimoine biologique, représente aussi un atout considérable d'attractivité et de développement économique. Les principaux paysages rencontrés sont constitués de falaises, d'étangs paludéens et de plages de sable sur la côte, de garrigues, vignes et autres cultures dans l'arrière pays et dans la plaine, de pelouses et

prairies, de plateaux calcaires et de vallons et parois de granite du Massif Central et des Pyrénées.

Il convient cependant de préciser que si notre travail s'inscrit largement dans l'étude et la caractérisation des enjeux en milieu méditerranéen, il a aussi vocation à être généralisé à d'autres entités biogéographiques. En ce sens, le territoire méditerranéen nous paraît tout à fait opportun pour développer des outils et méthodes qui seront par la suite adaptés à d'autres régions où les milieux naturels peuvent parfois n'apparaître que résiduels. En effet, la diversité des paysages méditerranéens, la présence de grands espaces agro-pastoraux et forestiers, l'importance de la mosaïque paysagère, le lien encore très prégnant entre activité humaine et maintien de la biodiversité (Thompson, 2005; Blondel *et al.*, 2010) et les variations de pression humaine du littoral au Massif Central offrent un cadre de travail pertinent pour produire une méthode qui sera *de facto* plus facilement extrapolable et qui interdit une approche trop schématique et réductrice du fonctionnement des systèmes écologiques et sociaux et de leur interdépendance.

PARTIE II - LA METHODE PROPOSEE

Cette étude préalable avait pour objectif la définition d'une méthode spatiale permettant d'accompagner la mise en place du SRCE en région Languedoc Roussillon. Le résultat ne correspond donc pas à des indicateurs finalisés ni à un atlas de cartographies à intégrer dans le document stratégique mais bien plus à une méthode de travail. Partant de là, les paragraphes qui suivent présentent point par point les principes qui fondent notre approche et qui permettront d'appréhender le positionnement de l'outil spatial au sein du processus d'élaboration concertée du SRCE.

Des indicateurs agrégés

La matérialisation sur un territoire donné de la fonctionnalité écologique ou du réseau écologique, par l'identification d'infrastructures naturelles en tant que telles ne semble pas suffisante pour rendre compte des interdépendances écologiques et des processus sous jacents.

Nous proposons pour cela de travailler sur des données agrégées au travers d'un maillage du territoire. La figure 1 illustre ici notre propos avec l'exemple du réseau de cours d'eau et le passage de la cartographie de chaque cours d'eau à une donnée agrégée de densité de cours d'eau au sein de chaque maille (en l'occurrence des communes).

Ici la donnée agrégée est donc un moyen de hiérarchiser les priorités d'action à l'échelle de maille prédéfinie. Si cette approche peut aboutir in fine à des actions ciblées sur des éléments de biodiversité, elle offre surtout l'occasion d'appréhender la fonctionnalité en agissant plutôt sur la matrice au sein de laquelle ces éléments prennent place. Ainsi, si nous ne matérialisons pas la fonctionnalité écologique, nous créons les conditions pour qu'elle soit prise en compte : si une maille est supposée abriter une biodiversité importante du fait de sa densité en éléments hydrographiques et que ces éléments se répartissent de manière homogène, alors les actions de préservation (par évitement pour un aménagement donné) ou au contraire de gestion proactive y deviennent prioritaires. A titre d'exemple, des actions en matière de politique agricole pourront permettre de maintenir la qualité des cours d'eau (réduction des intrants, réseau de haie, etc).

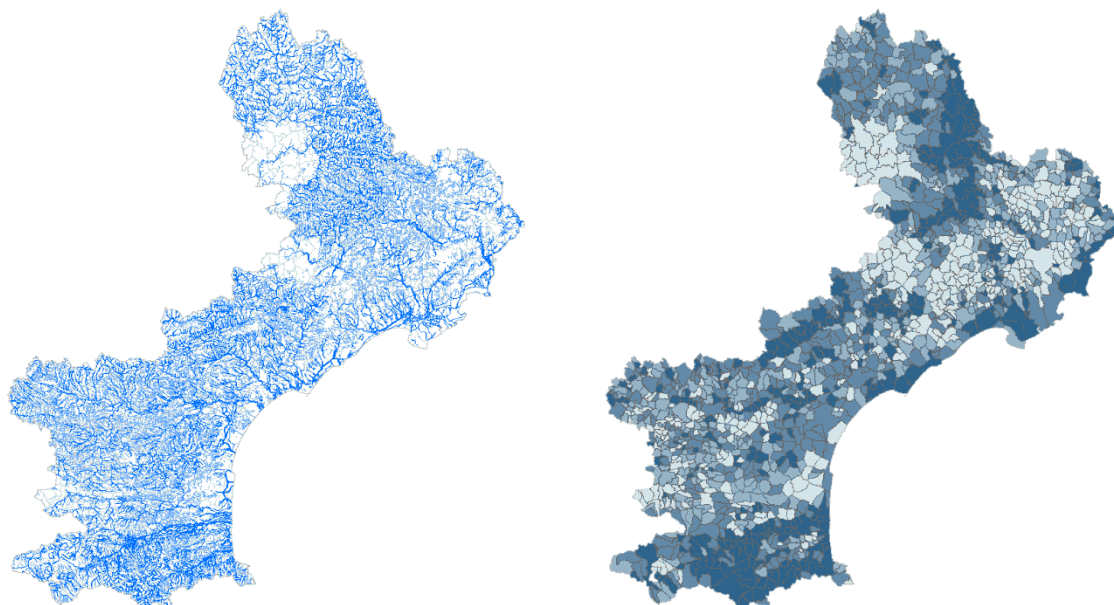


Figure 1 - Agrégation de la densité de cours d'eau au niveau de mailles communales

Le croisement biodiversité/pression

L'information concernant la biodiversité au sens strict ne suffit pas pour organiser sa conservation. L'intégration des pressions qui s'exercent sur les écosystèmes pourra permettre dans bien des cas, d'affiner la hiérarchisation des enjeux ou simplement leur caractérisation.

En termes de conservation, le croisement entre des indicateurs de biodiversité et des indicateurs de pression sur la biodiversité permet d'identifier des zones à enjeux. Il convient cependant de préciser que ce croisement est dépendant des questions posées. Si l'on cherche à investir dans des mesures de gestion proactive, le croisement d'indicateur de biodiversité et de pression permettra de mettre en exergue les espaces qui combinent à la fois une forte biodiversité et une forte pression. S'il s'agit d'éviter les zones d'intérêt majeur pour la biodiversité lors de la construction d'un aménagement routier par exemple, alors l'information concernant la pression ne sera pas nécessairement utile si ce n'est pour évaluer la pression actuelle qui s'exerce déjà sur le site.

Une vision exhaustive des enjeux de biodiversité

La prise en compte du réseau écologique nécessite d'appréhender les enjeux de biodiversité de manière systémique. Il s'agit dès lors d'identifier les éléments d'information spatiale permettant d'évaluer les enjeux de biodiversité au sein de chaque maille. Au vu du paragraphe précédent, nous proposons ici d'utiliser à la fois des indicateurs permettant

d'évaluer la biodiversité et à la fois des indicateurs permettant d'évaluer la pression sur la biodiversité. Il est alors nécessaire d'utiliser pour la construction des indicateurs des données homogènes à l'échelle du territoire.

Les indicateurs de biodiversité

L'enjeu est de proposer, pour le niveau d'organisation considéré (le niveau régional par exemple), une approche non réductrice de ce que sous entend la notion de biodiversité. Ici nous illustrerons notre propos pour le niveau régional et proposerons pour cela une base de 4 indicateurs : la naturalité, la diversité spécifique patrimoniale, la diversité paysagère et l'hydrographie (voir Partie III). L'ensemble de ces 4 indicateurs peut être combiné en un indicateur unique et, à l'aide de coefficients, des poids différents peuvent leur être attribués.

Il importe de comprendre que les « substituts » de biodiversité présentés ici reflètent la complexité de la notion de biodiversité. En effet, chaque élément considéré, un cours d'eau par exemple, joue un rôle i) d'habitat et il faut dès lors évaluer les interdépendances qui permettent son maintien, ii) d'élément d'interdépendance et de fonctionnalité et il faut dès lors le préserver pour assurer le maintien de certains habitats.

Les indicateurs de pression

Afin d'évaluer la pression sur la biodiversité au sein de chaque maille, nous proposons aussi une base composée de 3 indicateurs de pression locale : le réseau de transports, le bâti et un indicateur liés à l'intensification agricole ainsi que d'un indicateur de pression globale : la densité humaine (voir Partie III). De la même manière que pour la biodiversité, un indicateur combiné peut être mis en place. L'utilisation de coefficients de pondération pour chaque pression prend ici toute son importance. A titre d'exemple, la pression agricole ne peut être considérée au même titre que la pression du réseau de transport ou du bâti.

L'ensemble des indicateurs de pression et de biodiversité proposé forme une base pour une prise en compte globale des enjeux de biodiversité au niveau régional. Si chacun d'eux concerne la biodiversité dans son ensemble, il ne s'agit cependant pas forcément d'utiliser des indicateurs génériques mais plutôt que l'ensemble des indicateurs utilisés permettent d'appréhender les enjeux de biodiversité au sens large.

Notons la place particulière des espaces agricoles qui se retrouvent à la fois dans les indicateurs de biodiversité et dans les indicateurs de pression. Ceci reflète le fait que l'agriculture participe du maintien de la biodiversité, d'une part, dans la mesure où certaines

pratiques agro pastorales ont largement contribué à façonner la biodiversité régionale et méditerranéenne et d'autre part que les mutations et l'intensification agricoles sont de fait facteurs de pression sur cette biodiversité.

Il va de soi que d'autres indicateurs peuvent être proposés que ce soit au niveau régional et pour des enjeux plus spécifiques (avifaune ou espèces de milieux ouverts par exemple) ou à d'autres niveaux d'organisation du territoire (scot, communes, etc.) où des données nouvelles pourraient être utilisées. C'est bien la complémentarité des indicateurs proposés à différents niveaux d'organisation du territoire qui permettra une approche exhaustive des enjeux de biodiversité.

Une information adaptée aux politiques publiques

Si le croisement entre l'indicateur combiné de biodiversité et l'indicateur combiné de pression semble être le résultat le plus synthétique, c'est bien le questionnement posé qui définit les attentes en termes d'information spatiale et donc le choix des indicateurs.

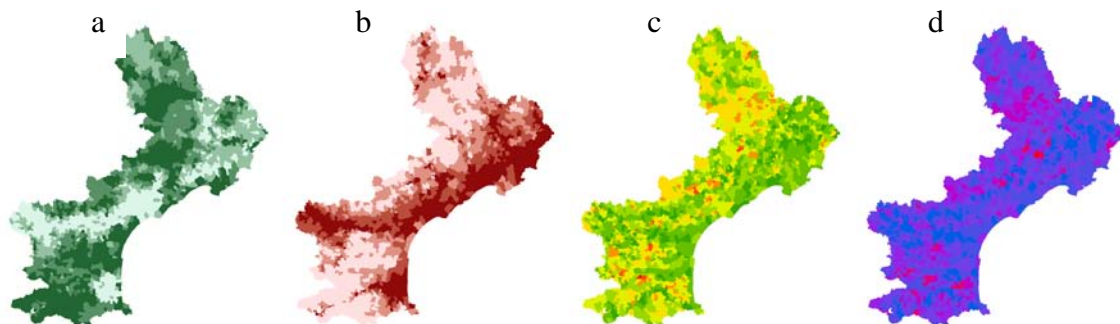


Figure 2 - Croisement (d) des indicateurs combinés de biodiversité (a) et de pression (b) agrégés au niveau de mailles communales. Les mailles apparaissant en rouge (d) sont les mailles à enjeux. Au-delà des valeurs de biodiversité et de pression, l'évaluation des enjeux prend aussi en compte la corrélation spatiale à l'intérieur des mailles choisies entre les éléments de biodiversité et de pression (c).

L'exemple ci-dessous montre comment l'information spatiale peut être utilisée de manière différente selon les objectifs fixés. Il s'agit d'identifier les communes prioritaires pour la réalisation d'études préalables à la mise en place de passages à faune. On croise ainsi l'indicateur de diversité spécifique patrimoniale avec l'indicateur de pression du réseau

routier.

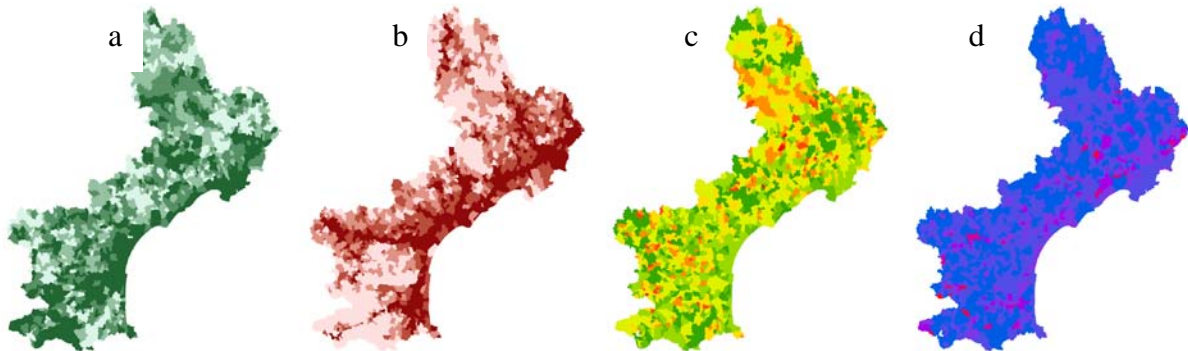


Figure 3 - Croisement (d) des indicateurs combinés de biodiversité (a) et de pression (b) agrégés au niveau de mailles communales. Les mailles apparaissant en rouge (d) sont les mailles à enjeux. Au-delà des valeurs de biodiversité et de pression, l'évaluation des enjeux prend aussi en compte la corrélation spatiale à l'intérieur des mailles choisies entre les éléments de biodiversité et de pression (c).

Une approche multi échelle et multi niveau

Une approche fonctionnelle de la biodiversité nécessiterait d'appréhender le fonctionnement du vivant sur une infinité d'échelles spatiales. Si notre postulat consiste à dire que dans bien des cas il s'avère difficile de matérialiser la fonctionnalité, l'outil proposé doit cependant permettre de la prendre en compte de manière implicite.

La technique d'agrégation répond en partie à cette question en offrant l'occasion de travailler à l'échelle de mailles et donc de la matrice. Il faut cependant admettre que le choix de la maille est ici arbitraire et s'il est évident, pour reprendre l'exemple du réseau hydrographique, que la qualité du cours d'eau dépend d'interaction à l'échelle d'une maille communale, elle est aussi liée à des processus perceptibles à d'autres échelles, une infinité d'échelle en somme.

Dans ce contexte, il s'agit d'identifier les échelles pertinentes non pas des processus écologiques mais plutôt de mise en œuvre des politiques publiques. Partant de la difficulté à matérialiser le réseau écologique, nous proposons donc de le prendre implicitement en compte en travaillant sur des données agrégées aux différentes échelles d'actions et de questionnements des politiques publiques pour un niveau d'organisation territoriale donné. Au niveau régional par exemple, l'information agrégée à la maille communale peut permettre d'orienter les communes vers tel ou tel choix, mais une information plus fine, correspondant à

une maille de 2km par exemple, pourra aussi être utile lors de tracés d'infrastructures de transport par exemple.

Afin d'illustrer notre propos, nous proposons ici 4 mailles différentes : la commune, l'entité paysagère, la maille de 2km et la maille de 500m. Notons que la nature des mailles dépend des questions traitées. Les mailles correspondant à des échelles administratives (communes mais aussi Scot, pays, etc.) seront pertinentes en termes de communication et d'interaction avec les niveaux infra-régionaux. Les mailles de type unités paysagères sont des unités de reconnaissance par les acteurs du territoire et un niveau d'organisation donné, comme le niveau régional, peut avoir un intérêt à mettre en place certaines politiques publiques à cette échelle. Enfin les mailles de taille arbitraire, comme la maille de 2km, répondent à la nécessité d'une appréhension à plus fine échelle des enjeux de conservation pour certaines politiques publiques.

L'exemple ci-dessous montre ainsi comment l'information concernant l'indicateur combiné de biodiversité peut être agrégée à différentes mailles.

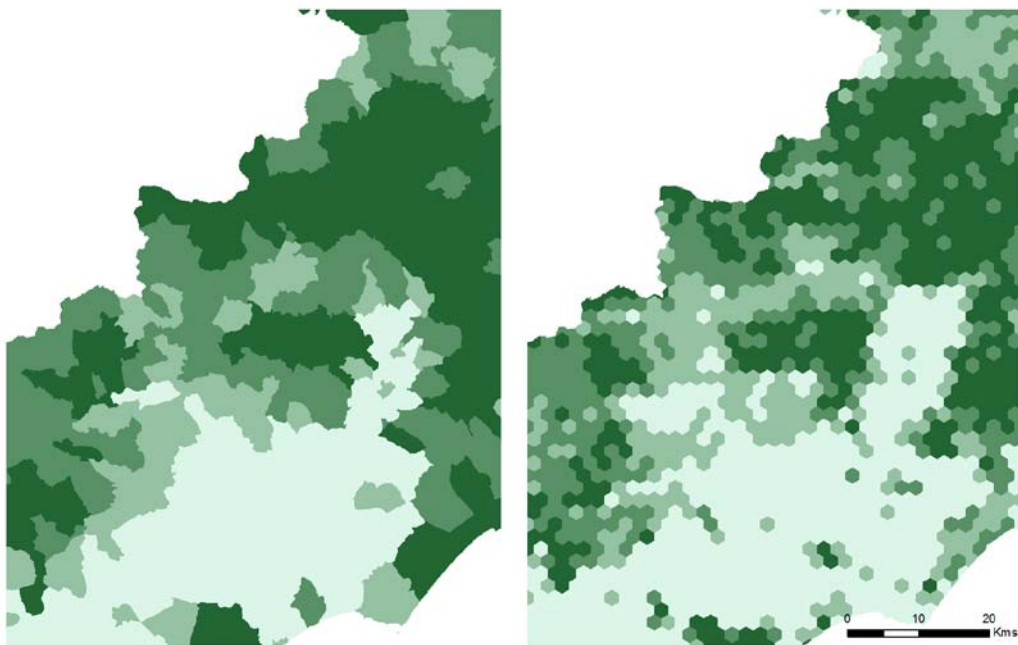


Figure 4 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau de mailles communales (à gauche) et de mailles de 2km (à droite).

Nous avons à présent proposé que, pour un niveau d'organisation donné, régional en l'occurrence, plusieurs échelles soient appréhendées en fonction des politiques publiques considérées. En toute logique, l'étape suivante consiste à reproduire la même approche au travers de nouveaux territoires d'organisation. L'exemple suivant montre comment l'information spatiale peut être traitée en fonction de la question posée et du niveau

d'organisation considéré. Dans le cas du Scot du Biterrois, la figure 5 montre que la majorité des communes font partie des 25% les moins riches (classement par quantiles) d'après l'indicateur combiné de biodiversité utilisé dans cet exemple. Grace à cette information, au niveau du territoire Scot, les acteurs pourront ainsi évaluer l'importance des différentes communes pour le territoire régional. Quelques communes semblent à ce titre figurer dans les 25% les plus riches de la région pour l'indicateur considéré. Mais sans considérer le niveau régional, le classement des communes peut aussi être établi de manière relative au territoire du Scot. La figure 6 met ainsi en avant les communes qui font partie des 25% les plus riches du Scot. Le même principe peut ainsi être appliqué pour toutes les échelles et tous les niveaux d'organisation du territoire. Par exemple, l'information agrégée à 2km peut être classée relativement au territoire régional, au Scot, puis à chaque commune qui le compose.

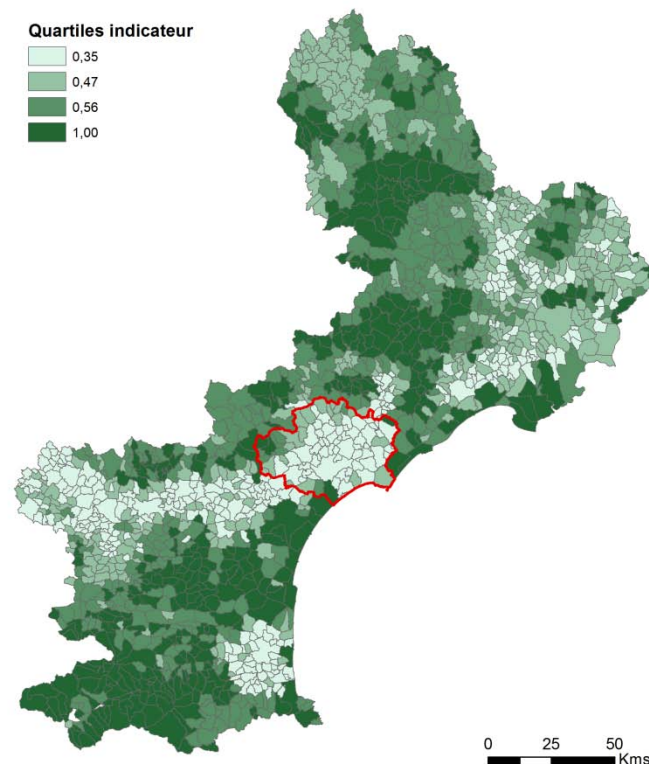


Figure 5 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau de mailles communales. Le territoire délimité en rouge représente le Scot du Biterrois.

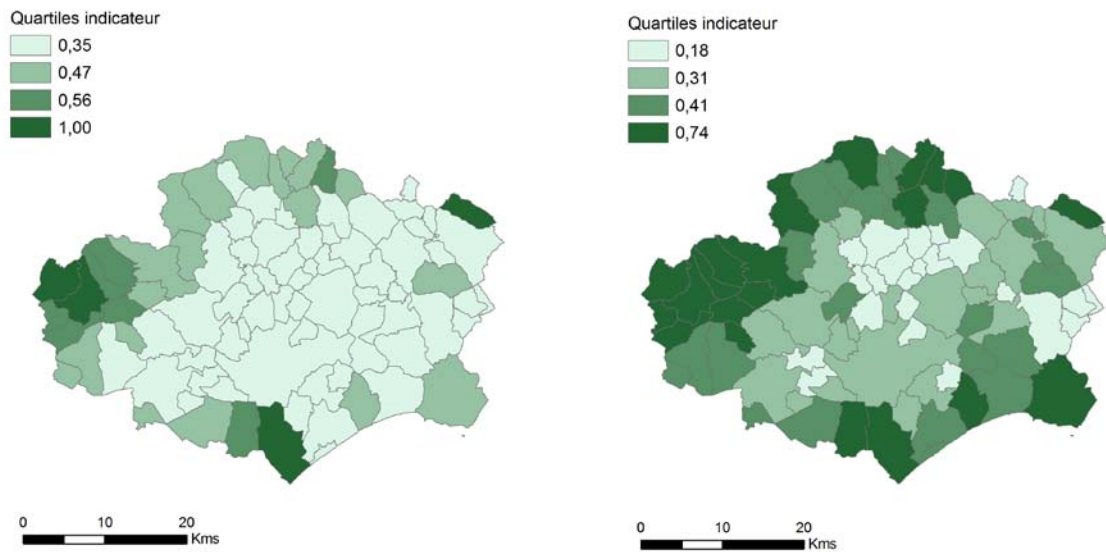


Figure 6 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau de mailles communales et classé relativement au territoire régional (à gauche) ou au territoire du Scot du Biterrois (à droite).

Ainsi notre méthode consiste bien à prendre en charge la fonctionnalité écologique en optimisant l'information spatiale pour intégrer les enjeux de biodiversité aux politiques publiques. Elle passe par la définition des enjeux pour différentes politiques publiques à différentes échelles et pour tous les niveaux d'organisation du territoire.

Une méthode au service du collectif

Ce dernier point, qui semble à présent tout à fait logique au vu des développements précédents, est de loin le plus important. Il signifie que pour être utile et efficace, la méthode développée ici doit être totalement intégrée au processus d'animation et de mobilisation du collectif d'acteurs.

Si nous présentons ici l'architecture d'une méthode, il va de soi que l'ensemble des indicateurs peut être amendé et modifié, notamment une fois confronté aux réalités du territoire et aux dires d'expert ou selon l'évolution des données disponibles.

Par ailleurs, la méthode est conçue de manière suffisamment flexible pour s'adapter aux territoires considérés. Chaque territoire doit être en mesure de se l'approprier en fonction des questionnements posés et des orientations politiques qui lui sont propres. Notons que la

présence de certaines données dans certains territoires pourra justement permettre la mise en place de nouveaux indicateurs. A titre d'exemple, le Scot du Biterrois dispose de données concernant le réseau de haies bocagères. Un indicateur de connectivité en milieu agricole (densité de haies) pourrait dès lors être mis en place.

Enfin, si le sens premier de cette méthode est d'accompagner le collectif en charge de définir la politique de TVB, deux fonctions majeurs non exclusives peuvent lui être attribuées. C'est en effet à la fois un outil médiateur, dont la fonction est de sensibiliser, de créer le débat, et de mettre en discussion certains attributs du territoire et à la fois un outil médias, permettant de définir et de hiérarchiser stratégiquement et spatialement les zones à enjeux.

Des développements méthodologiques complémentaires

Il nous semble important de préciser que d'autres développements méthodologiques qui ne rentrent pas dans le cadre global que nous présentons ici semblent aujourd'hui sont à considérer dans cette dynamique « Trame verte et bleue ». Il s'agit notamment de l'identification de continuités d'habitat ou de sous trames (MEEDDM, 2010) suprarégionales, régionales ou plus locales, qui peuvent en effet jouer un rôle dans la dynamique des populations de certaines espèces et dans la fonctionnalité globale des écosystèmes. En outre, un travail supplémentaire et en lien avec la Stratégie de création d'aires protégées pourra être utile dans le cadre de la démarche TVB. Dans cette approche de la connectivité entre des « cœurs de nature », l'analyse des similarités en termes de composition spécifique pourra permettre de hiérarchiser les choix et d'identifier les espaces de connectivité à établir.

PARTIE III - UNE BASE D'INDICATEURS POUR UNE VISION EXHAUSTIVE DES ENJEUX DE BIODIVERSITE AU NIVEAU REGIONAL

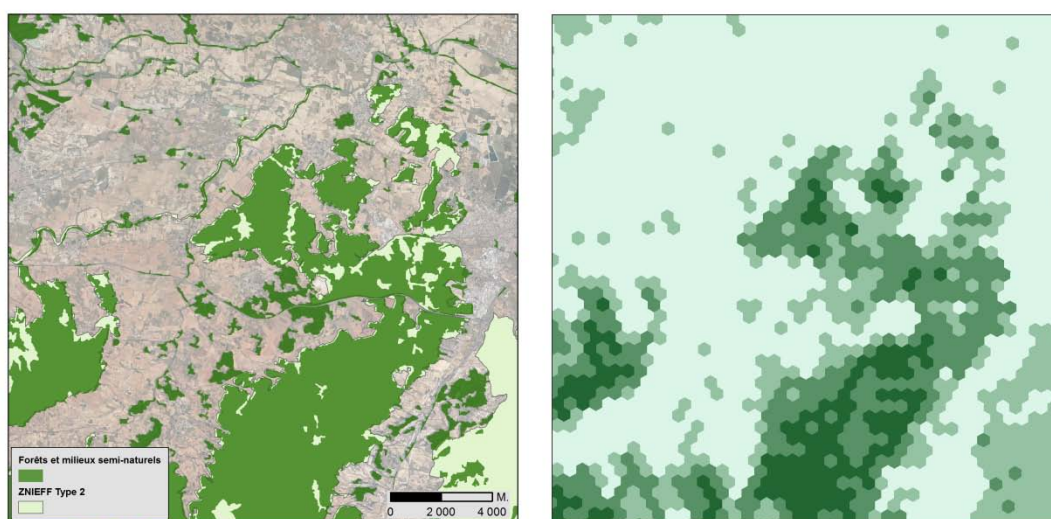
Dans cette partie, nous présentons les données utilisées pour le calcul des indicateurs au niveau des mailles de 500m. Si pour cette maille (la plus petite), les indicateurs se basent essentiellement sur la densité d'éléments considérés, nous verrons dans la partie suivante, que les calculs aux mailles supra prennent aussi en compte la répartition de ces éléments au sein de chaque maille.

Des indicateurs de biodiversité

La « Naturalité »

Les milieux naturels sont les premiers indicateurs de biodiversité du fait des processus qu'ils abritent mais aussi de leur rôle d'habitat pour de nombreuses espèces.

L'indicateur proposé ici combine deux aspects. D'une part la proportion d'habitats naturels calculée sur la base de classes d'occupation des sols appropriées (prairies, forêts, milieux à végétation arbustive ou herbacées, espaces ouverts sans ou avec peu de végétation). D'autre part la proportion de Znieff de type 2. L'intégration de ces dernières permet en effet d'affiner l'indice en tenant compte de l'intégrité écologique du territoire considéré (voir à ce propos Elissalde-Videment *et al.*, 2004).



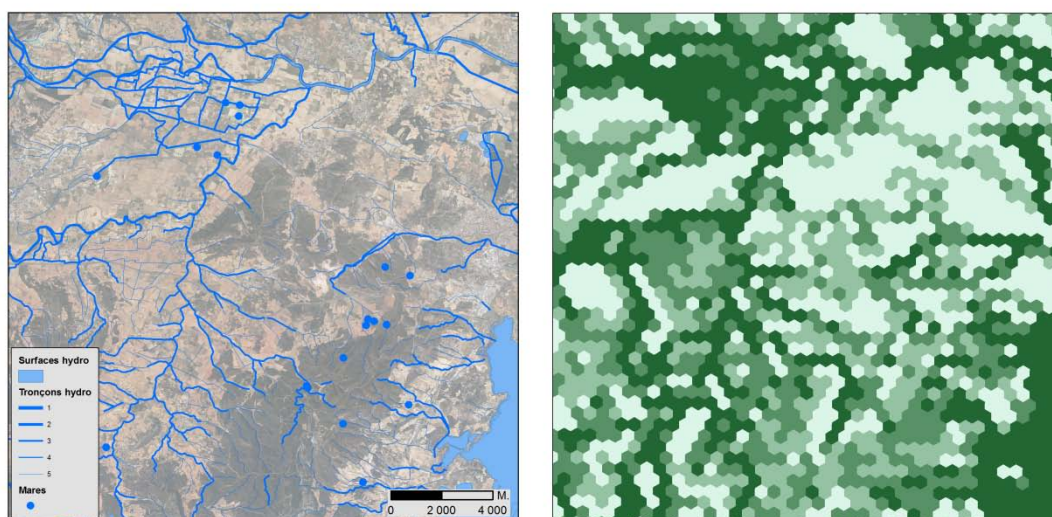
e 7 - Création de l'indicateur « Naturalité » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

Figur

L'hydrographie

La dynamique hydrographique est un élément clé du fonctionnement des écosystèmes. Les milieux d'interface terre/eau, le rôle de conduit biotique ou abiotique ou simplement l'habitat ou la ressource aquatique en tant que tels sont autant d'éléments qui favorisent ou permettent le maintien de la biodiversité. La présence de masses d'eau ou de cours d'eau semble donc être un indicateur pertinent pour évaluer la biodiversité.

L'indicateur est calculé ici sur la base de la présence dans une maille d'éléments aquatiques linéaires (ruisseau, rivières, fleuves), surfaciques (zone humides, marais, étang, lac, etc.), et ponctuels (mares et point d'eau). Des coefficients sont utilisés pour pondérer le poids de chaque variable.



Figure

8 - Création de l'indicateur « hydrographie » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

La diversité paysagère

La biodiversité de la région Languedoc-Roussillon est caractérisée par l'importance de la mosaïque paysagère. De nombreuses études ont en effet montré que la diversité d'occupation des sols, l'alternance notamment entre espace agricole, pâturé et boisé, est facteur de biodiversité. Ce point est ici central car il met directement en avant l'enjeu de préserver un paysage hétérogène mosaïqué et complémentaire plutôt que de s'attacher aux continuités d'habitats. L'importance de la diversité paysagère est soutenue par diverses hypothèses. D'une part, à l'échelle des populations, de nombreuses espèces dans la région utilisent une grande diversité d'habitats ou des milieux d'interface (lisière d'un bois par exemple). D'autre part, à l'échelle des communautés d'espèces, il existe un lien évident entre le nombre d'habitats différents et la diversité des espèces présentes.

L'indicateur que nous proposons ici se base sur l'ensemble des données d'occupation du sol (à l'exception des milieux artificiels). Il tient compte, pour une maille donnée, du nombre de types d'occupation du sol différents ainsi que de leur équitabilité en termes de proportion.

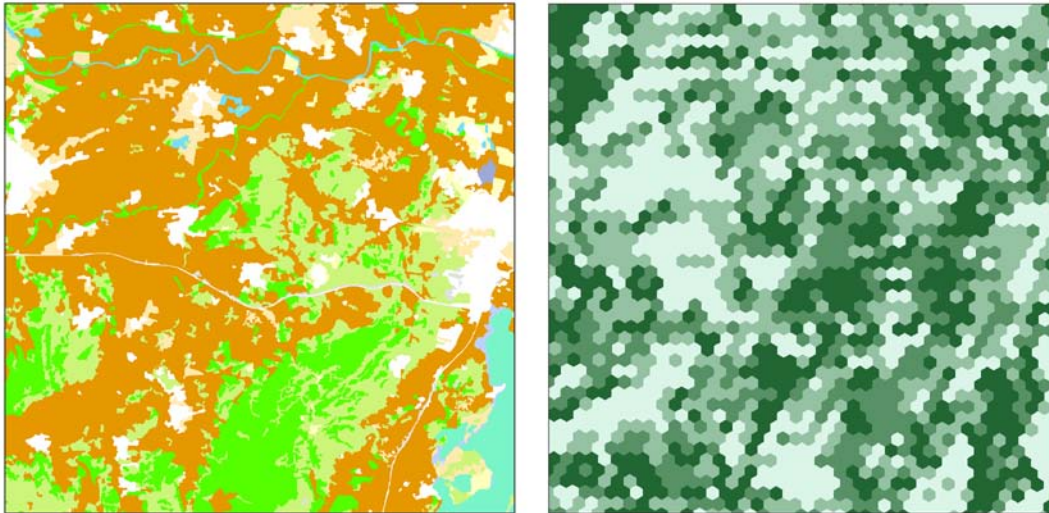


Figure 9 - Création de l'indicateur « Diversité paysagère » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

La diversité spécifique patrimoniale

Les espèces sont évidemment l'indicateur de biodiversité le plus utilisé. Il paraît dès lors indispensable d'intégrer cette dimension pour une approche globale de la biodiversité.

Ici nous basons notre indicateur sur l'inventaire des Znieff de type 1 et donc sur les espèces rares et/ou pour lesquelles la région a une responsabilité importante. En effet, c'est aujourd'hui, au niveau régional, l'inventaire qui semble le plus complet et le moins biaisé possible. L'indicateur intègre à la fois la surface de Znieff de type 1 présente dans une maille et l'importance de la Znieff au vue de sa composition spécifique.

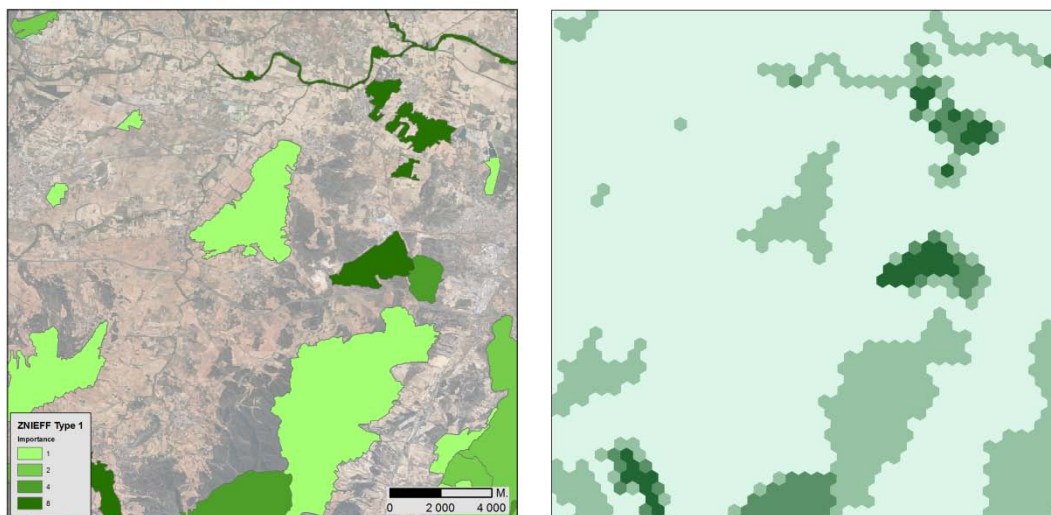


Figure 10 - Création de l'indicateur « Diversité spécifique patrimoniale » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

Un indicateur combiné de biodiversité

L'ensemble de ces 4 indicateurs peut être combiné en un indicateur unique et, à l'aide de coefficients, des poids peuvent dès lors leur être attribués.

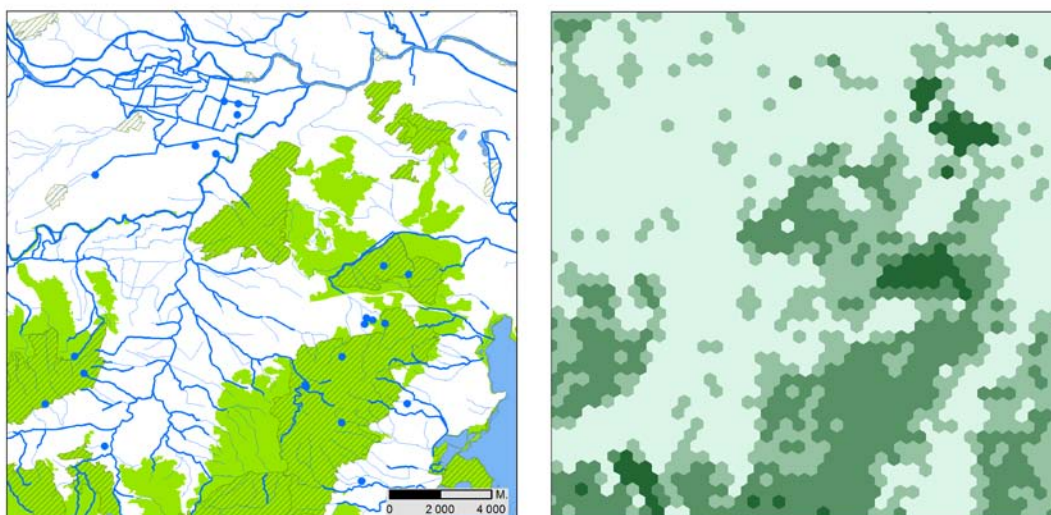


Figure 11 - Création de l'indicateur combiné de biodiversité par combinaison des 4 indicateurs de biodiversité au niveau de mailles de 500m.

Figure

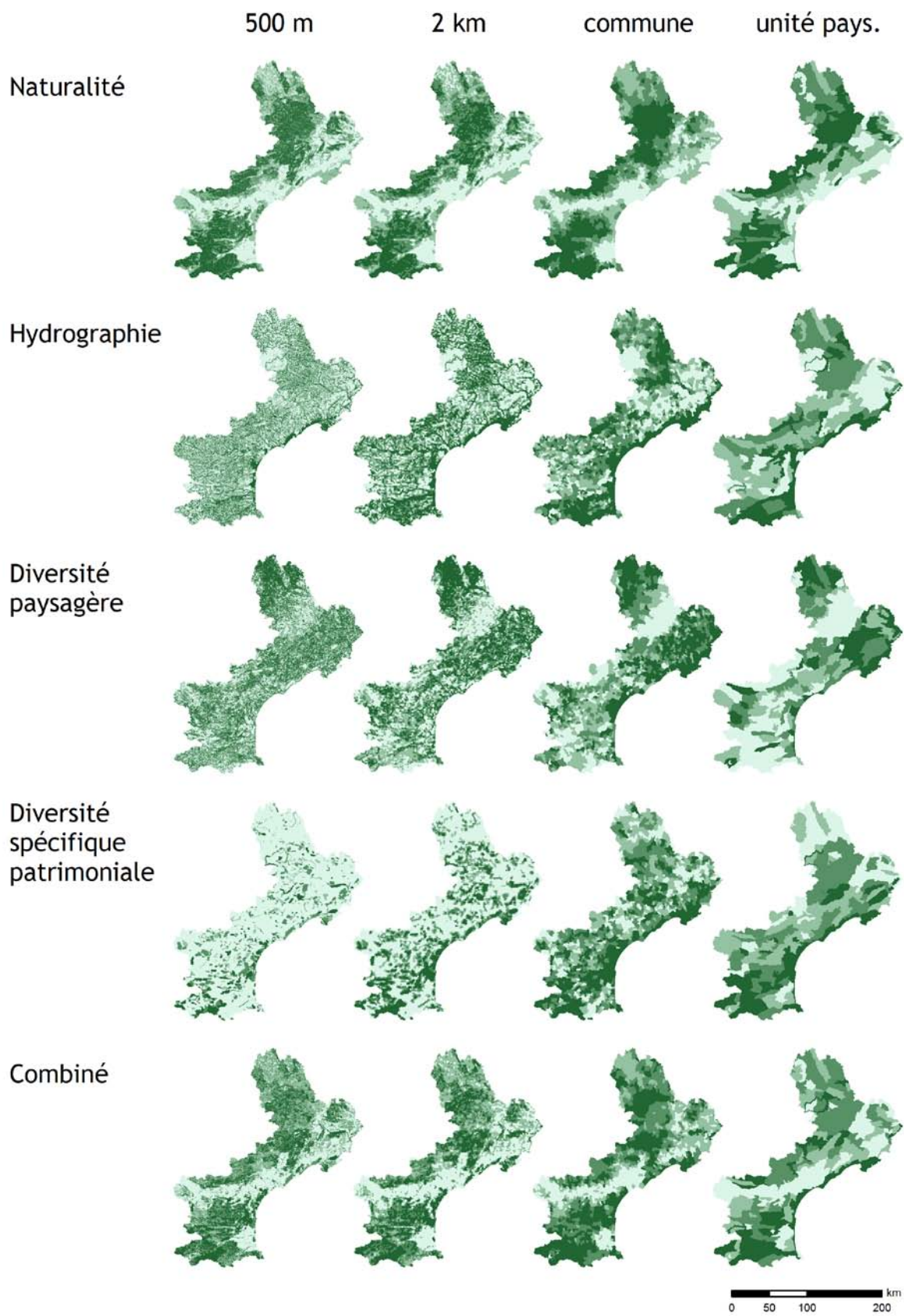


Figure 12 - Les indicateurs de biodiversité au niveau régional agrégés au niveau de 4 mailles différentes (plus la couleur est foncée, plus la valeur de l'indicateur est grande).

Des indicateurs de pression

Le réseau de transports

Les routes et les chemins de fer ont un impact sur la biodiversité en termes notamment de fragmentation des milieux, de consommation d'espace, de pollution sonore locale. L'indicateur est ici calculé en amont à l'échelle d'une maille de 100 x 100 mètres. En tenant compte de la nature de la route présente dans la maille (autoroute, nationale, etc), nous effectuons un lissage spatial sur une distance de deux kilomètres permettant de prendre en compte le fait que la pression diminue avec la distance à la source. A partir de ce travail à fine échelle, nous calculons les valeurs moyennes aux mailles supra considérées (commune par exemple). Cette technique permet ainsi d'éviter les effets de bord du aux limites des mailles.

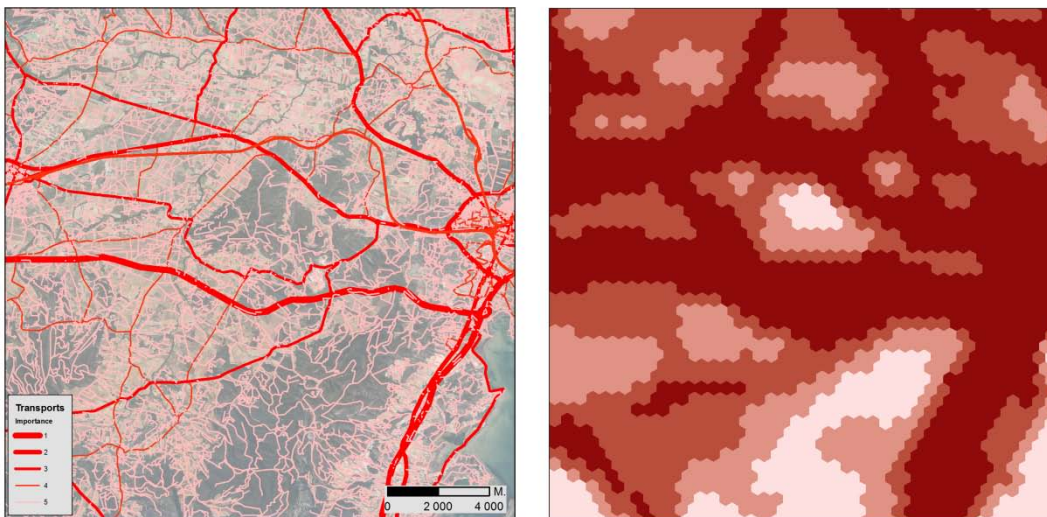
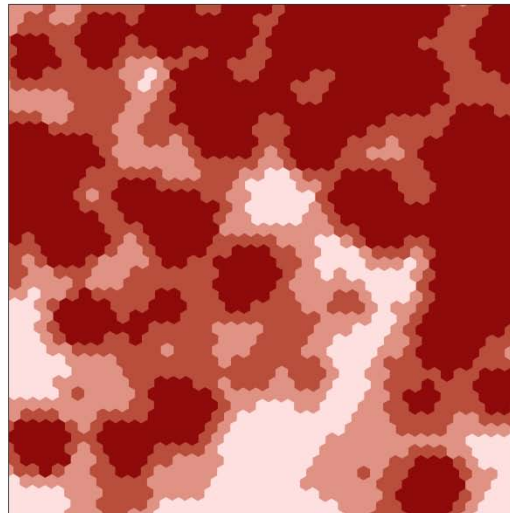
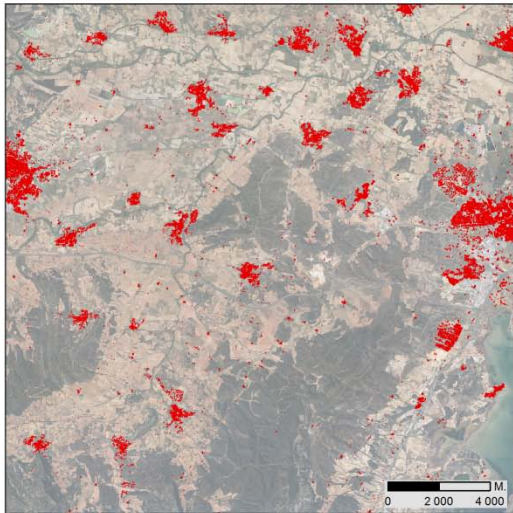


Figure 13 - Création de l'indicateur « Réseau de transports » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

Le bâti

Au delà de la consommation d'espace, le bâti est un indicateur de potentiels dérangements pour les milieux environnant. La pollution sonore mais aussi le déplacement des individus ou des animaux domestiques peuvent avoir des effets néfastes sur la biodiversité. La technique de calcul utilisée ici est la même que pour les routes et tient compte de la surface bâti dans une maille de 100 x 100 m.

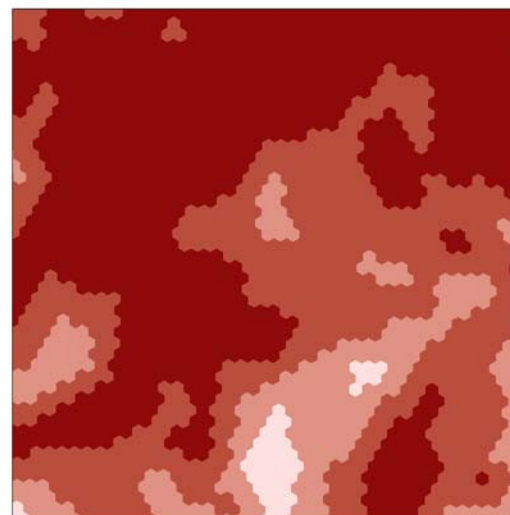
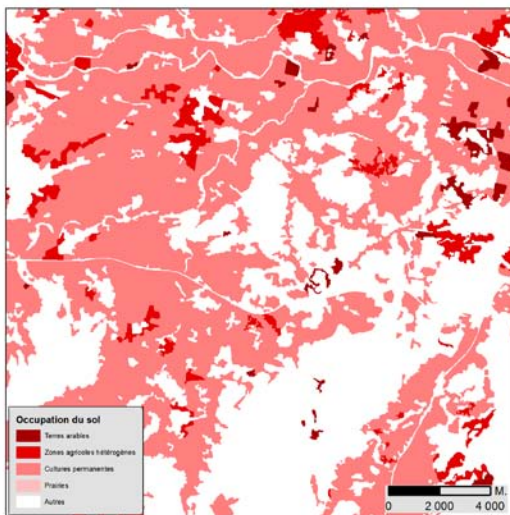


Figure

e 14 - Création de l'indicateur « Bâti » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

L'agriculture intensive

S'il est évident que l'agriculture a été au sein de la région méditerranéenne française un facteur primordial de structuration du paysage et de la biodiversité, il est logique de considérer que l'intensification de l'activité agricole a plutôt un négatif pour la biodiversité (pollution chimique, artificialisation des terres ou encore effet de fragmentation). L'indicateur tient compte du type d'agriculture (cultures permanentes, prairies, terres arables, etc.) présent dans une maille de 100 x100 m.



Figure

15 - Création de l'indicateur « Agriculture intensive » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

La densité humaine

Les indicateurs présentés ci-dessus tiennent compte de pressions « locales ». Il existe pourtant des facteurs de pression sur la biodiversité dépendant de dynamique à plus grande échelle. Suivant la même technique que pour les trois premiers indicateurs, nous lissons ici la population communale sur 50km afin d’appréhender la pression globale induite par la densité humaine dans une région donnée.

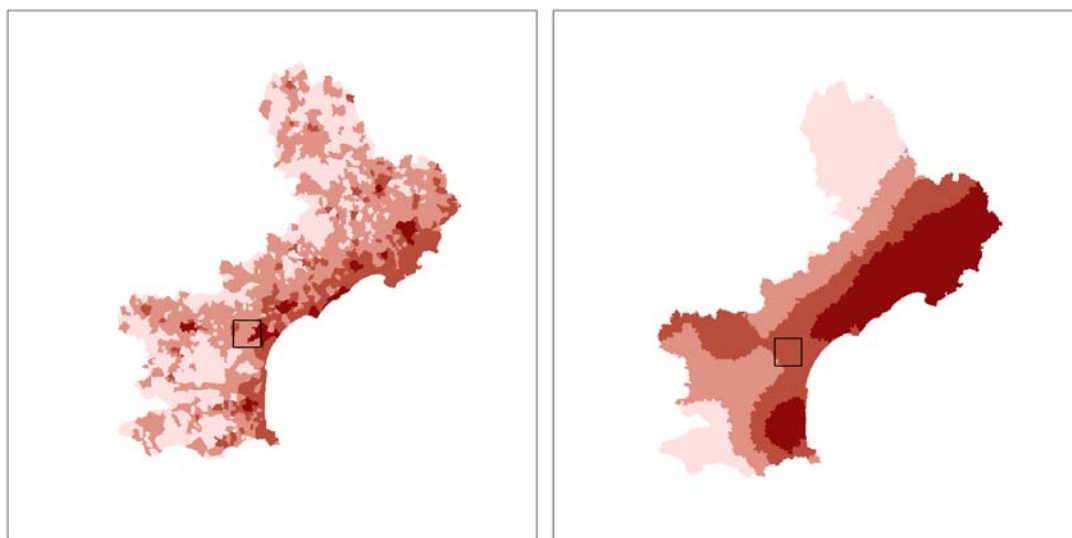


Figure 16 - Création de l’indicateur « Densité humaine » par agrégation au niveau de mailles de 500m.

Un indicateur combiné de pression

L’ensemble de ces 4 indicateurs peut être combiné en un indicateur unique et, à l’aide de coefficients, des poids peuvent dès lors leur être attribués.

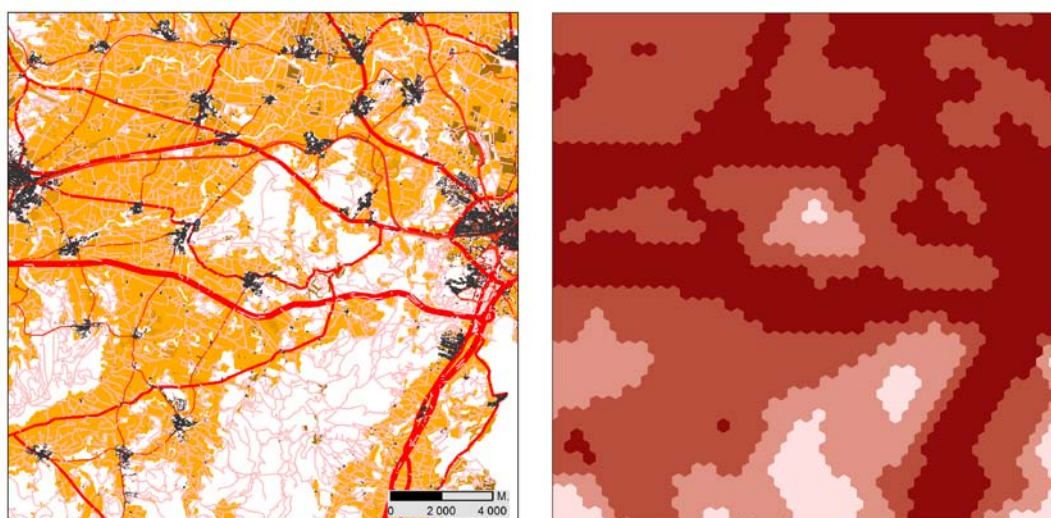


Figure 17 - Création de l’indicateur combiné de pression par combinaison des 4 indicateurs de pression au niveau de mailles de 500 m.

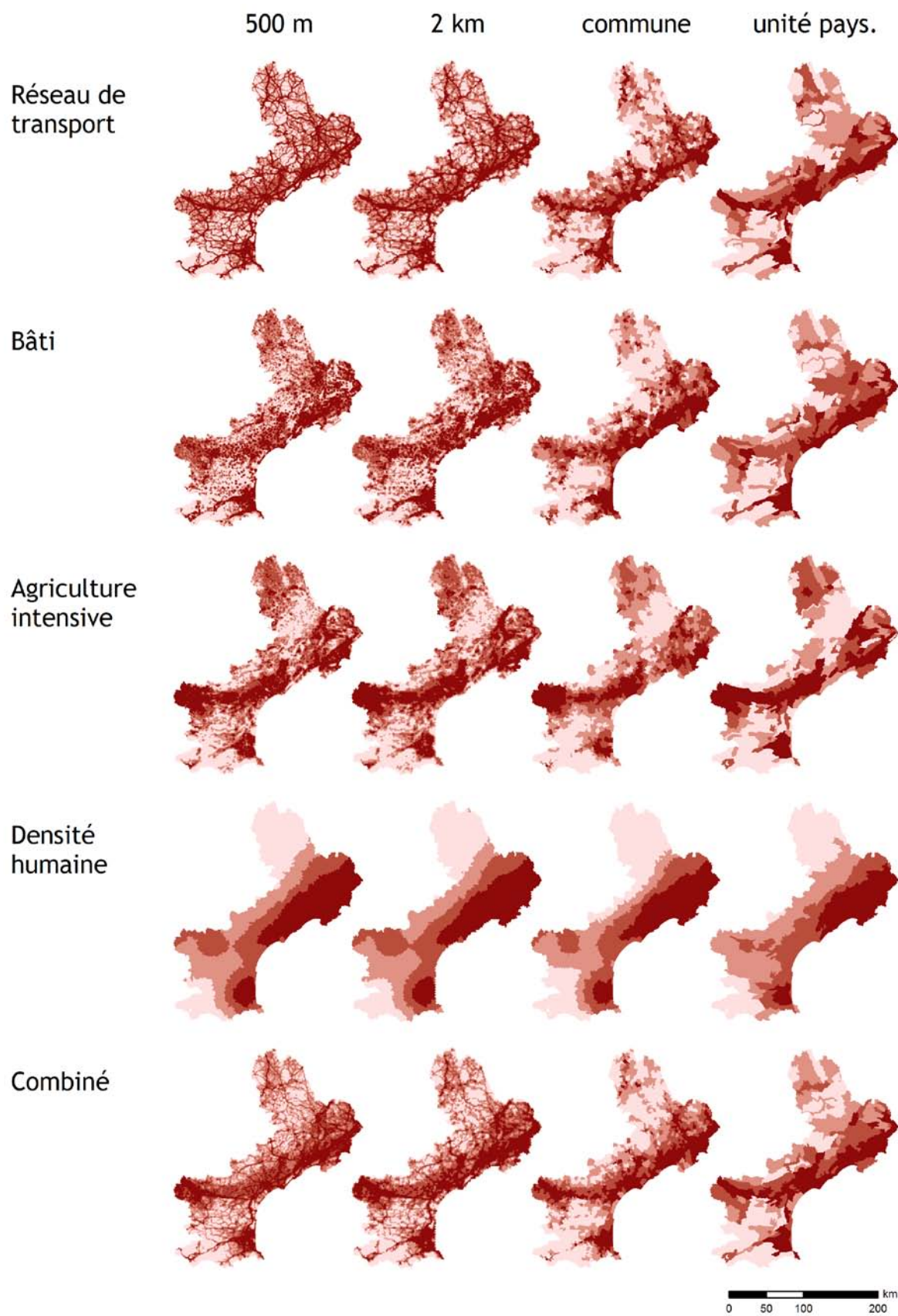


Figure 18 - Les indicateurs de pression au niveau régional agrégés au niveau de 4 mailles différentes (plus la couleur est foncée, plus la valeur de l'indicateur est grande).

PARTIE IV : DETAILS ET ENJEUX TECHNIQUES

Le calcul des indicateurs

Telle que nous l'avons conçue, la méthode d'agrégation a ici pour objectif la mise en place de stratégies à l'échelle des mailles considérées. Il s'agit donc de faire en sorte que l'indicateur (I) prenne en compte à la fois la densité (D) d'éléments considérés mais aussi, pour les mailles de superficie plus importante, la répartition (R) de ces éléments dans la maille.

Ainsi pour les mailles de 500m : $I = D$

Pour les mailles >500m : $I = D \times R$

Calcul de la densité D

Les indicateurs de biodiversité

- Naturalité (D_{NAT})

$$D_{NAT} = \frac{S_{ZN2}}{S_{TOT}} + 2 \times \frac{S_{Nat}}{S_{TOT}}$$

Où S_{ZN2} est la superficie de Znieff de type 2 d'une maille, S_{Nat} la superficie de forêts et milieux semi-naturels d'une maille et S_{TOT} la superficie de la maille.

Données utilisées

Base de données OCSOL v1.1 (données 2006) et inventaire des Znieff de type 2 deuxième génération (2009).

Remarques

Pour être sommées, les proportions de Znieff de type 2 et d'occupation du sol sont normalisées sur une échelle de 0 à 1. Ici un coefficient est ajouté pour donner plus de poids à l'occupation du sol dans l'analyse. Les zones humides et les surfaces en eau ne sont pas prises en compte dans cet indicateur car des données plus fines pour caractériser ces milieux sont utilisés dans l'indicateur « hydrographie ».

Biais

Concernant l'occupation du sol, l'indicateur proposé souffre de deux biais potentiels. D'une part, il ne prend pas en compte les milieux agricoles qui jouent pourtant un rôle important pour la biodiversité. D'autre part, il ne permet pas de prendre en compte la nature du milieu naturel considéré. Afin de remédier à ces biais, nous proposons donc d'utiliser des coefficients permettant de pondérer le poids des différents types d'occupation du sol et ainsi d'intégrer les milieux agricoles dans le calcul avec un coefficient moindre. Ces coefficients, nécessairement fixés à dire d'expert, permettront de rendre compte du potentiel de biodiversité de chaque maille (voir à ce titre le travail d'IPAMAC). Une autre possibilité consisterait à n'utiliser que l'information concernant les Znieffs de type 2. L'indicateur reflèterait alors pleinement la notion d'intégrité écologique.

- Hydrographie (D_{HYDRO})

$$D_{HYDRO} = 5 \times \frac{L_{LINEAIRES}}{S_{TOT}} + 5 \times \frac{S_{MASSES}}{S_{TOT}} + 1 \times \frac{N_{MARES}}{S_{TOT}}$$

Où $L_{LINEAIRES}$ est la longueur de cours d'eau dans la maille, S_{MASSES} la superficie surfaces en eau, N_{MARES} le nombre de mares et S_{TOT} la superficie de la maille.

Données utilisées

Base de données CARTHAGE (2010) et base de données mares (CEN/EPHE - 2010).

Remarques

Pour être sommées, les trois variables constituant l'indicateur sont normalisées sur une échelle de 0 à 1. Pour le calcul de longueur des linéaires, des coefficients sont utilisés pour rendre compte du facteur « importance » des cours d'eau mentionnés dans la base (10 pour les linéaires d'importance 1, 7 pour ceux d'importance 2, 5 pour ceux d'importance 3, 1.5 pour ceux d'importance 4, 0.5 pour ceux d'importance 5).

Ici les mares bénéficient d'un coefficient moindre du fait qu'elles ont un impact surfacique moins important et surtout parce que les données associées ne sont pas homogènes sur tout le territoire.

Biais

Il semble que la base de données *Carthage* ne soit pas suffisamment précise concernant les zones humides côtières notamment. L'intégration de données plus fines, centralisées au

niveau des agences de l'eau notamment, pourra être utile. En matière d'évaluation des pressions, il conviendra d'ajouter aux indicateurs proposés un indicateur spécifique concernant les barrages en tant qu'éléments de fragmentation (Données ONEMA).

- Diversité paysagère (D_{PAYS})

$$D_{PAYS} = - \sum_{i=0}^n p_i \ln p_i$$

Où p_i est la proportion de la superficie d'une classe i dans la maille (superficie de la classe i divisée par la superficie totale de la maille à laquelle on soustrait la superficie des territoires artificialisés) et n est le nombre de classes d'occupation du sol dans la maille (en excluant les classes de territoires artificialisés).

Données utilisées

Niveau 2 de la base de données OCSOL version 1.1 (données 2006).

Remarques

La formule proposée ici correspond à l'indice de Shannon, un indice utilisé en écologie afin d'évaluer une diversité spécifique. L'indicateur prend en compte le nombre de types d'occupation du sol ainsi que leur équitabilité en termes de proportion.

Notons que cet indicateur ne permet pas de prendre en compte l'importance des différents types d'occupation du sol pour la biodiversité tout simplement car ce n'est pas son objectif. Les autres indicateurs sont dès lors complémentaires.

Nous travaillons ici sur le niveau de détail intermédiaire de la base de données OCSOL, ce qui signifie sur le plan écologique que nous ne faisons pas de différences par exemple entre les forêts de feuillus et les forêts de conifères. Il s'agit ici d'un compromis car l'intégration du niveau le plus fin de la base de données pose aussi problème du fait que l'indicateur ne permette pas de considérer la « distance écologique » entre types de milieu (or on ne peut pas donner la même valeur en termes de diversité d'occupation du sol à une maille composée de forêts de feuillus et de conifères et à une maille composée de forêts de feuillus et de prairies). Cela dit, nous avons testé les deux formules et le résultat est sensiblement le même.

Les milieux artificiels sont exclus de l'analyse et les proportions de chaque type d'occupation du sol sont calculées relativement à la surface de la maille une fois la surface de milieu artificiel déduite. Cela signifie que l'indicateur rend compte de la diversité d'occupation du sol dans la partie non artificielle de la maille. Une maille artificialisée à 90% peut ainsi avoir une valeur de diversité paysagère élevée.

- Diversité spécifique patrimoniale (D_{ESP})

$$D_{ESP} = \left(\sum_{i=0}^n IR_i \times S_{ZNI1} \right) / S_{TOT}$$

Où S_{ZNI1} est la superficie de Znieffs de type 1 d'une maille, S_{TOT} la superficie de la maille, IR le coefficient d'irremplaçabilité d'une Znieff i et n le nombre de Znieffs dans la maille.

Données utilisées

Inventaire Znieff de type 1 deuxième génération (2009).

Remarque

L'irremplaçabilité est un concept largement utilisé dans la littérature scientifique sur la planification de la conservation notamment en matière d'aires protégées (Margules et Pressey, 2000). Des objectifs en termes de pourcentage de la distribution de chaque espèce déterminante sont fixés et un algorithme sélectionne les sites qui sont les plus complémentaires pour atteindre ces objectifs à moindre coût (ici le coût est estimé en nombre de sites). La valeur d'irremplaçabilité correspond ainsi au nombre de fois que chaque site a été sélectionné sur l'ensemble des solutions proposées par l'algorithme (ici le processus est réitéré 1000 fois). Le coefficient d'irremplaçabilité utilisé ici est basé sur une valeur d'irremplaçabilité issue du chapitre 5 de la partie 1 de la thèse de Ruppert Vimal (2010). Ce coefficient est égal à 1 pour une valeur de 0, 2 pour une valeur comprise entre 1 et 399, 4 pour une valeur comprise entre 400 et 899, 8 pour une valeur comprise entre 900 et 1000. Notons que cette valeur d'irremplaçabilité peut permettre de faire le lien entre le SRCE et la SCAP qui cible spécifique certaines espèces et repose sur l'identification de site pour la création de nouvelles aires protégées. Nous sommes cela dit conscients des difficultés techniques qui peuvent être rencontrées pour calculer cette valeur d'irremplaçabilité. La prise en compte de

la richesse spécifique ou de tout indicateur permettant de considérer, au delà de la surface de znieffs, l'originalité en termes de composition spécifique pourra se substituer à la valeur d'irremplaçabilité.

Cet indicateur rend compte de la diversité spécifique patrimoniale uniquement. Il n'existe à l'heure actuelle pas de bases de données suffisamment complètes permettant de mettre en place un indicateur pour la diversité spécifique globale.

Les indicateurs de pression

- Pression locale (D_{TRANSP} , D_{BATI} , D_{AGRI})

La méthode utilisée ici est un peu différente de celle utilisée dans le cadre des indicateurs de biodiversité. L'unité de base est une maille de 100 mètres. Pour chaque type de pression (réseau de transport, bâti et agriculture intensive), une valeur intermédiaire est renseignée au niveau de la maille.

Pour le transport, les coefficients affectés sont les suivants :

- valeur de 1.0 pour les routes et voies ferrées d'importance 1 (LGV),
- valeur de 0.6 pour les routes d'importance 2,
- valeur de 0.35 pour les routes et voies ferrées d'importance 3 (2 voies ou plus),
- valeur de 0.15 pour les routes d'importance 4,
- valeur de 0.05 pour les routes d'importance et voies ferrées 5 (1 voie).

Pour l'agriculture, les coefficients affectés sont les suivants :

- une valeur de 1.0 pour les entités de type 'Terres arables' (nomenclature OCSOL : 21)
- une valeur de 0.65 pour les entités de type 'Zones agricoles hétérogènes' (nomenclature OCSOL : 24)
- une valeur de 0.4 pour les entités de type 'Cultures permanentes' (nomenclature OCSOL : 22)
- une valeur de 0.15 pour les entités de type 'Prairies' (nomenclature OCSOL : 23)

Ces coefficients ont été choisis dans le but de présenter la méthode mais devront évidemment faire l'objet de discussion avec les acteurs concernés.

Pour le bâti, la valeur correspond à la proportion de la maille qui est bâtie.

Pour une maille de 100 mètres, nous renseignons la valeur de l'élément le plus impactant (si dans une même maille passent une route d'importance 1 et une route d'importance 3, c'est la valeur de la route d'importance 1 qui est renseignée). Les valeurs de chaque maille sont

ensuite lissées sur une distance de 2km à l'aide d'une gaussienne ($e^{(-d^2/\sigma^2)}$ avec d la distance entre les mailles et $\sigma = 0.8$). Pour chaque maille de 100 m, la valeur de pression équivaut donc à la somme des valeurs lissées des mailles présentes dans un rayon de 2km. Les valeurs de pression sont ensuite agrégées aux mailles choisies par un calcul de la valeur de pression moyenne des mailles de 100 mètres.

On obtient D_{TRANSP} l'indicateur de pression du réseau de transports, D_{BATI} l'indicateur de pression du bâti et D_{AGRI} l'indicateur de pression agricole.

Données utilisées

Base de données OCSOL version 1.1 (données 2006) pour l'agriculture, et BD TOPO IGN (2008) pour réseau de transport et bâti.

Remarque

Nous aurions pu faire le choix d'agréger à l'échelle des mailles choisies, la densité d'éléments de pression. L'avantage de la méthode choisie ici est de fournir une information supplémentaire : la spatialisation des pressions sur une échelle très fine en tenant compte des effets indirects (lissage sur 2km). La donnée brute de l'indicateur (à la maille de 100 mètres) pourra donc être utilisée en tant que telle. Par ailleurs, dans son utilisation à des mailles supra et donc agrégées, cette méthode permet aussi d'appréhender les effets de bords d'autant plus importants à prendre en compte que la maille est petite (par exemple une maille de 500 mètres peut ne contenir aucune route mais en être entourée).

Concernant l'agriculture, on remarque que l'occupation du sol pourra aussi être utilisée pour l'indicateur « Naturalité » et « Diversité paysagère ». En effet, l'agriculture peut avoir un effet positif (relativement aux milieux artificiels comme c'est présenté dans l'indicateur naturalité) ou négatif.

Biais

La distance de lissage fixée à 2km ainsi que la forme de la courbe de lissage sont arbitraires et il conviendra d'évaluer la sensibilité de l'indicateur à ces arbitrages notamment pour utiliser la donnée brute à l'échelle des mailles de 100 mètres. Des premiers tests ont cependant montré que des variations dans la distance de lissage n'entraînaient que peu de différences dans la spatialisation des priorités.

Par ailleurs, le lissage de la pression ne tient pas compte ici des reliefs. Une pression donnée ne se diffusera pas de la même manière dans l'espace en fonction des reliefs alentours.

De nouveaux développements méthodologiques devraient permettre d'intégrer cette variable supplémentaire.

Concernant le bâti, la donnée utilisée se base uniquement sur la surface d'emprise au sol des constructions et ne permet donc pas de tenir compte de la densité d'habitants. Concernant l'agriculture, au-delà du manque de précision de la base de données OCSOL pour ce genre d'analyses, la mise en place de coefficients pour pondérer le poids des différents types d'occupation du sol est très complexe notamment du fait que les enjeux ne sont pas les mêmes en fonction des éléments de biodiversité considérés mais aussi parce qu'au sein d'un type d'occupation du sol, les pratiques peuvent varier. A titre d'exemple, le PNR de la Narbonnaise a identifié deux régions viticoles d'intensivité différentes sur son territoire. Il conviendra ici d'affiner les informations concernant l'occupation du sol par des dires d'expert ou de les croiser avec d'autres informations spatialisées (géomorphologie du territoire et pratiques agricoles recensées dans le RGA notamment).

- Pression démographique (D_{POP})

Pour construire l'indicateur de densité humaine, le nombre d'habitants par commune est lissé sur 50km. La maille de calcul initiale est donc la délimitation communale et la valeur de pression pour une commune équivaut à la somme des valeurs de population lissées des communes présentes dans un rayon de 50km ($e^{(-d^2/\sigma^2)}$ avec d la distance entre les mailles et $\sigma = 25$). C'est cette somme qui est ensuite agrégée à l'échelle des mailles choisies. On obtient D_{POP} la pression de densité humaine.

Données utilisées

Données INSEE année 2006.

Biais

Tout comme les pressions lissées sur 2km, cet indicateur ne tient pas compte de la géomorphologie du territoire et notamment de l'accessibilité des espaces considérés. Par ailleurs, alors que le tourisme induit une pression anthropique certaine, l'indicateur se base uniquement sur la population de résidents et ne tient pas non plus compte de l'intérêt touristique (même pour un tourisme local) des espaces. Il faudra peut être envisager de combiner l'indicateur proposé ici avec un indicateur spécifique couplant des informations

concernant la fréquentation touristique des espaces considérés et concernant les populations passagères non résidentielles.

En termes de développements méthodologiques ultérieurs, nous préconisons la mise en place d'indicateurs basés sur des données diachroniques. En effet, la prise en compte des dynamiques récentes est incontournable pour évaluer le potentiel de pression sur un espace donné. L'enjeu majeur est alors celui de la disponibilité des données qui ne sera effective, la plupart du temps, qu'à de larges échelles (données INSEE et RGA notamment à l'échelle communale).

Notons que l'ensemble des indicateurs de pression présentés ici ne tient pas compte de la présence de zonages et d'aires protégées. Ceux-ci devront dès lors être intégrés à posteriori. Si le croisement biodiversité/pression permet d'identifier des zones à enjeux, il conviendra avant toute hiérarchisation des actions à mener, de confronter cette répartition des enjeux à la délimitation des zonages de protection déjà existants.

Calcul de la répartition R

Pour mesurer la répartition spatiale pour les mailles de tailles supérieures à 500m, nous utilisons un indice d'uniformité dérivé de l'indice de diversité de Shannon que nous calculons à partir de l'indicateur de densité des mailles de 500m contenues dans la maille supra considérée:

$$R = \frac{-1 * \left(\sum_i^n \left[\left(\frac{D_i}{\sum D_i} \right) * \ln \left(\frac{D_i}{\sum D_i} \right) \right] \right)}{\ln(n_{[D>0]})}$$

Où D est la valeur normalisée de l'indicateur pour la maille de 500m, i la maille de 500m considérée, n_c le nombre de mailles 500m contenues dans la maille supra.

R varie entre 0 et 1 ; une valeur proche de 1 signifiant que l'indicateur considéré a une valeur homogène dans la maille alors qu'une valeur proche de 0 signifie que l'indicateur a des valeurs très hétérogènes dans la maille. Notons que l'indice de répartition n'est pas calculé pour la pression démographique. Ainsi $I_{POP} = D_{POP}$ pour toutes les mailles considérées.

Des indicateurs combinés de biodiversité ou de pression peuvent être calculés. A titre d'exemple, un indicateur combinant l'ensemble des indicateurs de biodiversité :

$$I_{BIODIV} = I_{NAT} + I_{HYDRO} + I_{PAYS} + I_{ESP}$$

Ou encore un indicateur combinant l'ensemble des indicateurs de pression :

$$I_{PRESSION} = 5 \times I_{TRANSP} + 5 \times I_{BATI} + 2 \times I_{AGRI} + 1 \times I_{POP}$$

Pour être combinées, les valeurs de chaque indicateur sont normalisées. Comme pour les indicateurs de biodiversité, il va de soi que des combinaisons spécifiques entre deux ou plusieurs indicateurs de pression peuvent être réalisées. Cela pourrait notamment permettre de dissocier la pression agricole, des pressions du réseau de transports et du bâti qui concernent une artificialisation de toute autre nature.

Les logiciels utilisés

Toutes les analyses vectorielles et attributaires (découpages géométriques, calcul de longueur et de surface, requêtes spatiales et attributaires) ont été réalisées avec le système de gestion de base de données PostgreSQL 9.0 et son module spatial PostGIS 1.5.

Les données d'origine (la plupart au format Shapefile) ont donc été intégrées dans une base de données PostgreSQL / PostGIS avant traitement.

Pour lisser les données concernant la pression sur la biodiversité, nous les avons préalablement exportées dans un format raster. Nous avons utilisé ArcGIS / Spatial Analyst pour lisser les données tout en étudiant d'autres alternatives pour rester dans le monde libre (script sous Python / GDAL).

La cartographie a été réalisée avec ArcGIS 9.3.

Le croisement des indicateurs de pression et de biodiversité

Le croisement des indicateurs de pression et de biodiversité nous permet d'identifier des mailles à enjeux. Une maille à enjeux doit donc combiner une forte valeur de biodiversité et de pression sur l'ensemble de la maille. Bien que notre indice R permettent de prendre en compte, pour un indicateur donné la répartition des éléments considérés, il s'agit d'être en mesure de prendre en compte la corrélation spatiale entre des éléments de biodiversité et de pression. Pour cela nous proposons l'équation suivante pour calculer l'enjeu d'une maille supra (c).

$$ENJEUX_{(c)} = (I_{BIODIV_{(c)}} + I_{PRESSION_{(c)}}) * (COR(I_{BIODIV_{500m}} \sim I_{PRESSION_{500m}}) + 1)$$

Où $I_{BIODIV(C)}$ et $I_{PRESSION(C)}$ sont les valeurs de biodiversité et de pression calculée pour la maille supra considérée et $I_{BIODIV_{500m}}$, $I_{PRESSION_{500m}}$, les valeurs de biodiversité et de pression des mailles de 500m continues dans la maille supra.

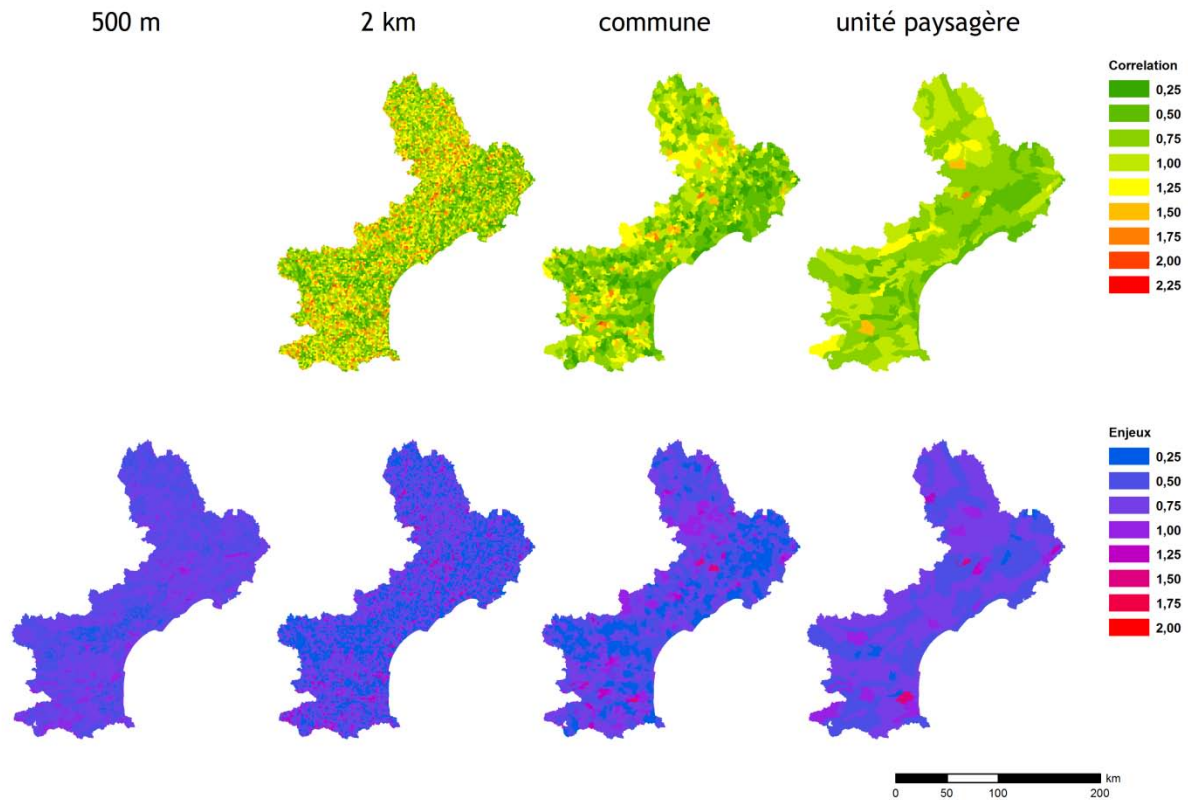


Figure 20 - Croisement des indicateurs combinés de pression et de biodiversité agrégés au niveau de 4 mailles différentes.

Notons qu'ici, l'indicateur d'enjeu calculé permet seulement d'identifier les mailles à forts enjeux mais il ne permet pas, par exemple, de distinguer deux mailles dont l'une aurait une valeur de biodiversité forte et une valeur de menace faible et inversement alors que ce sont deux situations opposées en matière d'enjeux de conservation.

Ici, nous faisons choix d'une évaluation quantitative de l'enjeu qui nécessite des arbitrages (le fait de sommer $I_{BIODIV(C)}$ et $I_{PRESSION(C)}$ puis de multiplier par la corrélation). Toutefois, il sera aussi possible de travailler sur la base de classes pour les trois éléments considérées. Ainsi les mailles à fort enjeu pourraient être identifiées via l'extraction des mailles qui cumulent de fortes valeurs pour les indicateurs de biodiversité, de pression et de corrélation.

Le classement des valeurs

Ce travail nous a amené à de nombreuses reprises à définir des classes pour représenter et visualiser les résultats de nos analyses. Ici seule les cartes « enjeux » sont issues d'un classement des valeurs par intervalles égaux. Pour le reste, la méthode de classification des mailles retenue est celle par quantile. Les quantiles sont des seuils permettant de délimiter les différentes classes définies non pas en fonction de la valeur de l'indicateur pour la maille mais en fonction de la proportion de mailles qui seront incluses dans la classe. Ainsi la classification par quantile permet par exemple de désigner les 20% de mailles les plus riches pour un indicateur donné. Il faut cela dit avoir conscience du fait qu'au sein d'une même classe on peut dès lors regrouper des mailles ayant des valeurs très différentes. L'utilisation de classes définies de manière manuelle ou à intervalles égaux pourra aussi être appropriée dans certains cas notamment pour tenir compte de la distribution des valeurs. La figure 19 illustre notre propos.

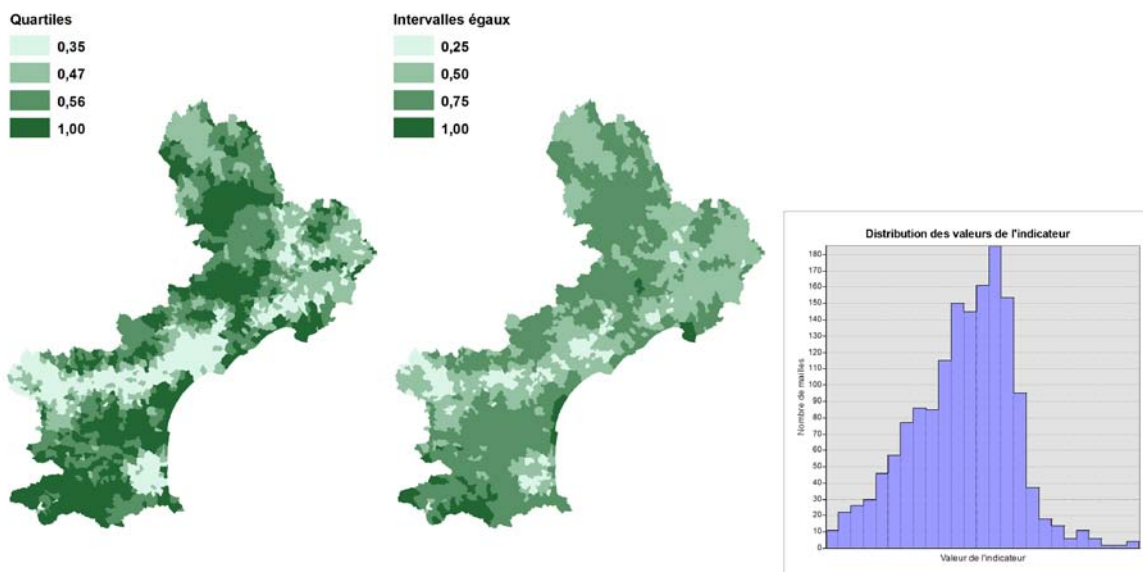


Figure 19 - Classement de l'indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau de mailles communales par quantiles (à gauche), par intervalles égaux (au milieu) et distribution des valeurs de l'indicateur (à droite).

Hierarchisation et caractérisation

Ici la volonté de hiérarchiser les priorités d'action publique nécessite d'aboutir à des résultats synthétiques qui passent par la confrontation des indicateurs au travers de méthodes de combinaison (par exemple l'indicateur combiné de biodiversité ou de pression) puis de croisement des indicateurs de pressions et de biodiversité. De nombreux éléments présentés dans cette partie du rapport montrent les difficultés inhérentes à ces deux étapes (choix des coefficients et définition des classes notamment). Si la recherche de priorités globales légitime ces arbitrages, il ne faut pourtant pas, dans cette optique d'accompagnement, sous estimer l'importance d'autres approches méthodologiques qu'il conviendra d'approfondir à la suite de ce travail. En effet, plutôt que de chercher à hiérarchiser les priorités d'action sur la base d'une analyse multicritère, des méthodes d'analyses multivariées permettront de caractériser les enjeux en identifiant des groupes de mailles similaires du point de vue des valeurs des critères considérés. La figure 21 illustre notre propos au travers l'exemple des unités paysagères.

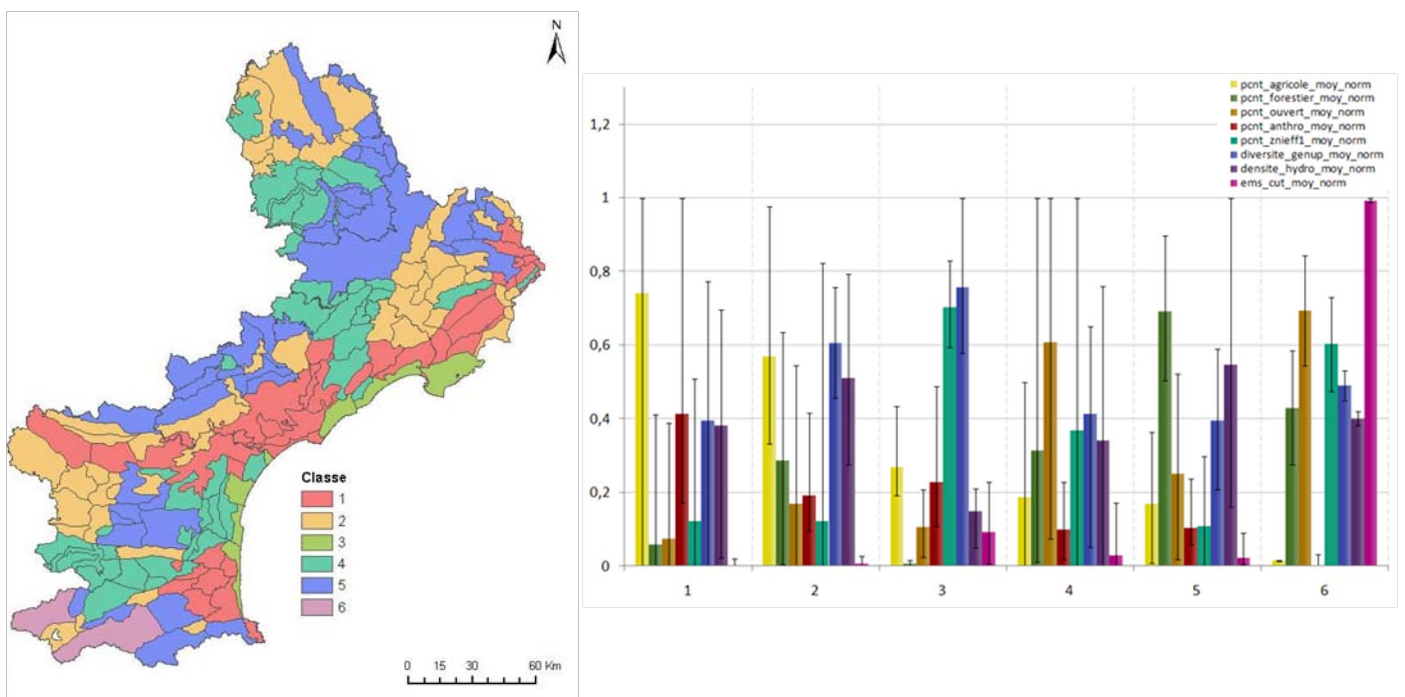


Figure 21 - Classement des unités paysagères en fonction de variables de pression et de biodiversité. A gauche, représentation cartographique des 6 classes. A droite, valeur moyenne des différentes variables pour chacune des 6 classes.

Notons que l'analyse multivariée prend en compte des critères de biodiversité et de pression. Les unités paysagères auraient très bien être classées en fonction des valeurs de pression ou de biodiversité uniquement.

Biais, coefficients, arbitrages

Le détail technique du contenu de chacun des indicateurs proposé ici ainsi que de leur combinaison, nous a permis d'illustrer les biais potentiels et les arbitrages nécessaires notamment concernant les coefficients utilisés pour pondérer le poids de certaines variables.

Mais la question des coefficients ou encore des données utilisées soulignent surtout la difficulté à produire des indicateurs i) génériques parce qu'il est rare qu'un élément spatial ait un effet homogène sur tous les attributs de biodiversité considérés. Par exemple, la vigne peut être un habitat pour certaines espèces et un élément de pression pour d'autres, ou les forêts de feuillus peuvent être facteur de biodiversité en termes de biodiversité fongique alors que les milieux ouverts seront préférés des oiseaux. ii) sur l'ensemble du territoire parce qu'un élément spatial donné n'aura pas forcément le même effet sur la biodiversité selon sa localité. Par exemple, on ne peut comparer les prairies de la basse plaine de l'Aude aux prairies des Pyrénées catalanes.

Ce constat nous mène à trois remarques :

Tout d'abord, il va de soi que les arbitrages seront d'autant plus approximatifs que le territoire sera vaste et hétérogène soulignant un peu plus l'enjeu de faire vivre la démarche TVB plutôt aux échelons locaux. Ensuite, nous insistons à nouveau sur le fait que les méthodes de calculs, les données utilisées et les coefficients proposés ici ne sont pas figés et leur définition, dépendante du contexte local et des questions posées, devra faire l'objet de discussion avec les acteurs appropriés. A titre d'exemple, concernant la pression agricole, un groupe de travail constitué d'experts écologues et agronomes pourra être mis en place pour affiner l'indicateur, identifier de nouvelles sources de données, définir les coefficients les mieux appropriés, voir même spatialiser les dires d'expert. Enfin, notre dernière remarque d'ordre plus global, pose une fois de plus la question du rôle de l'information spatiale. Tout ce que nous discutons ici montre bien que la technique ne peut prévaloir sur le dialogue social. Pour que les cartes produites servent de support à la réflexion, il s'agira d'être suffisamment transparent quant à la construction des indicateurs, au rôle qui leur sont attribués et aux biais qu'ils peuvent induire. L'utilisation de tels indicateurs sous forme d'une boîte noire desservirait non seulement la pertinence écologique des choix mais aussi leur robustesse sociale. De ce point de vue, si de nombreuses améliorations peuvent être apportées aux indicateurs proposés ici, il existe un seuil au delà duquel le perfectionnement technique des indicateurs mènera à une complexité trop grande et à un outil non approprié. Il y a selon nous

plus de marge de progrès dans l'intégration de la technique au dialogue social que dans le développement des indicateurs en tant que tel.

RÉFÉRENCES

- Balmford A., Mace G.M. et Ginsberg J.R., 1998. The challenges to conservation in a changing world: putting processes on the map. *Conservation Biology Series (Cambridge)* 1, 1-28.
- Blondel J., Aronson J., Bodiou J.-Y. et Boeuf G., 2010. *The Mediterranean Basin - Biological Diversity in Space and Time*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- Elissalde-Videment L., Horellou A., Humbert G. et Moret J., 2004. *Guide méthodologique sur la modernisation de l'inventaire des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. Mise à jour* Paris, France, Muséum National d'Histoire Naturelle.
- Grumbine R.E., 1997. Reflections on "what is ecosystem management?". *Conservation Biology* 11, 1, 41-47.
- Hanski I.A., 1999. *Metapopulation Ecology*, Oxford University Press, Oxford, UK.
- IMPAMAC, 2010. *Trame écologique du Massif central*. Rapport de synthèse. 56 pages.
- Margules C.R. et Pressey R.L., 2000. Systematic conservation planning. *Nature* 405, 6783, 243-253.
- Mathevet R. et Poulin B., 2006. De la biologie à la géographie de la conservation. *Bull. Ass. Géographes Français* 3, 341-354.
- MEEDDM, 2010. *Orientations nationales pour la préservation et la remise en bon état des continuités écologiques. Version provisoire*, Paris, France.
- Mormont M., Mougnot C. et Dasnoy C., 2006. La participation composante du développement durable: quatre études de cas. *VertigO* 7, 2.
- Mougnot C., 2003. *Prendre soin de la nature ordinaire*, Editions de la Maison des sciences de l'homme, Paris, France.
- Pimbert M.P. et Pretty J.N., 1997. Parks, people and professionals: Putting 'participation' into protected-area management, in Ghimire K. B. et Pimbert M. P. (Eds), *Social change and conservation. Environmental politics and impacts of national parks and protected areas*, Earthscan Publications Limited, London, UK.
- Poiani K.A., Richter B.D., Anderson M.G. et Richter H.E., 2000. Biodiversity conservation at multiple scales: Functional sites, landscapes, and networks. *Bioscience* 50, 2, 133-146.

- Rodary E., Castellamet C. et Rossi G., 2004. *Conservation de la nature et développement, l'intégration impossible?*, Karthala, Paris.
- Sala O.E., Chapin F.S., Armesto J.J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N.L., Sykes M.T., Walker B.H., Walker M. et Wall D.H., 2000. Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 5459, 1770-1774.
- Scott J.M., Murray M., Wright R.G., Csuti B., Morgan P. et Pressey R.L., 2001. Representation of natural vegetation in protected areas: capturing the geographic range. *Biodiversity and Conservation* 10, 8, 1297-1301.
- Smith T.B., Bruford M.W. et Wayne R.K., 1993. The preservation of process: the missing element of conservation programs. *Biodiversity Letters* 1, 6, 164-167.
- Thompson J.D., 2005. *Plant Evolution in the Mediterranean*, Oxford University Press, Oxford.
- Vimal R., Mathevet R., Thompson J.D., 2011. The changing landscape of ecological network. *Journal for Nature Conservation* In press.
- Vimal R., Mathevet R., 2011. La carte et le territoire : le réseau écologique à l'épreuve de l'assemblée cartographique. *Cybergéo*, In press.
- Vimal Ruppert (2010). *Des aires protégées aux réseaux écologiques : science, technique et participation pour penser collectivement la durabilité des territoires*. Thèse en sciences de l'environnement, Université Montpellier II, 297 pages.

Application de la méthode sur deux zones tests en région Languedoc Roussillon : Atlas cartographique

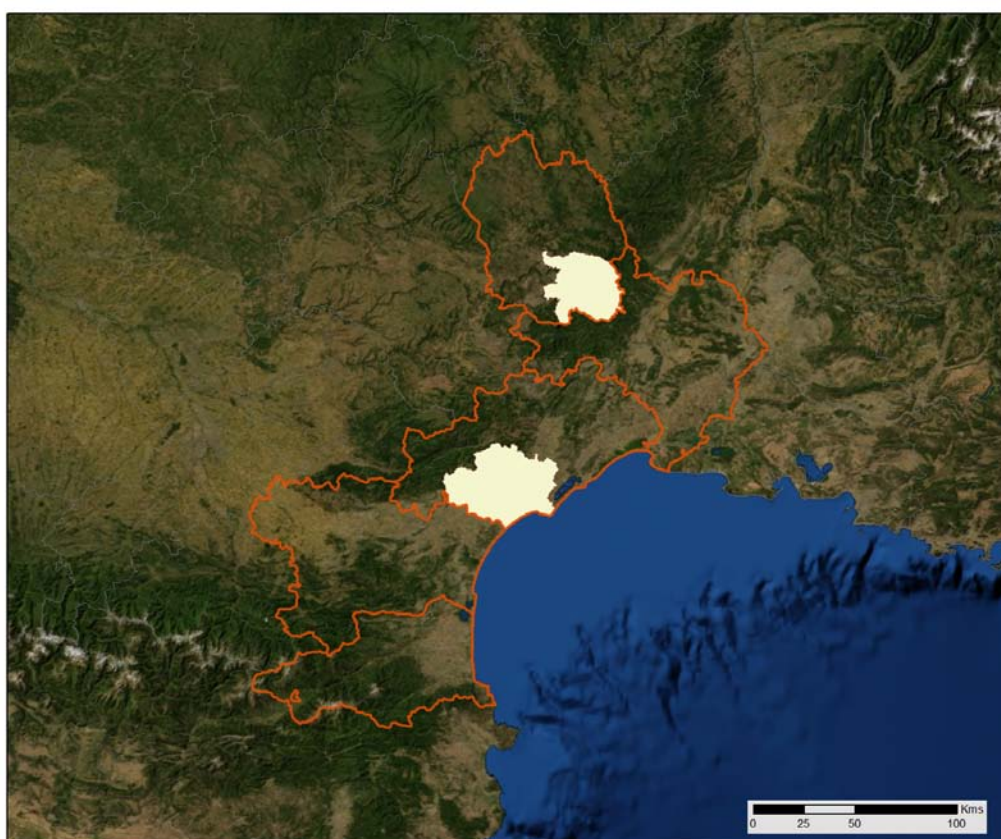


Figure 1 – Les deux territoires tests

Note technique : Ici les classements en quartiles sont bien effectués relativement au territoire considéré mais les valeurs des classes indiquées sont celles normalisées au niveau régional.

Le Scot du Biterrois

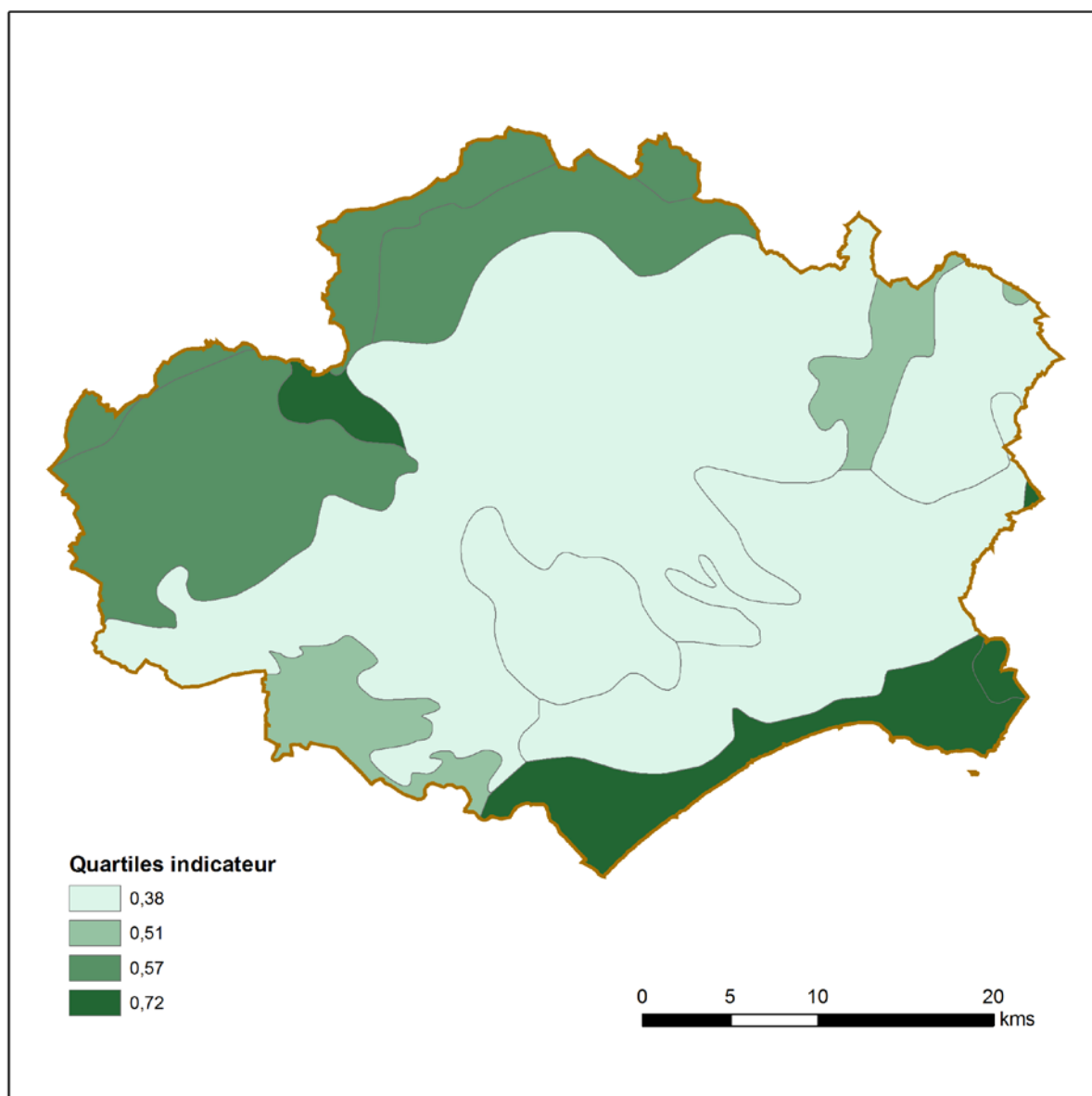


Figure 2 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des unités paysagères

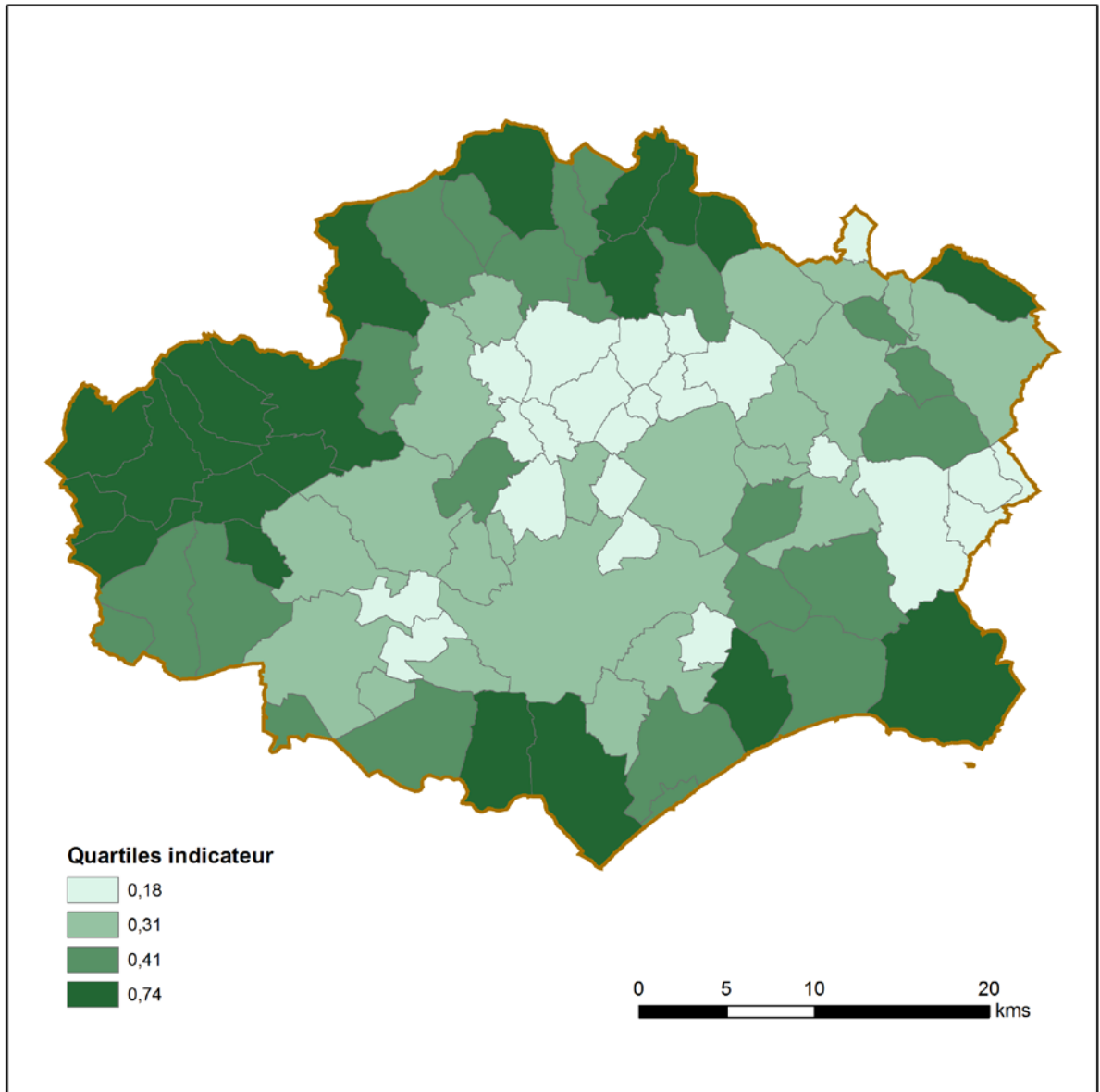


Figure 3 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des communes

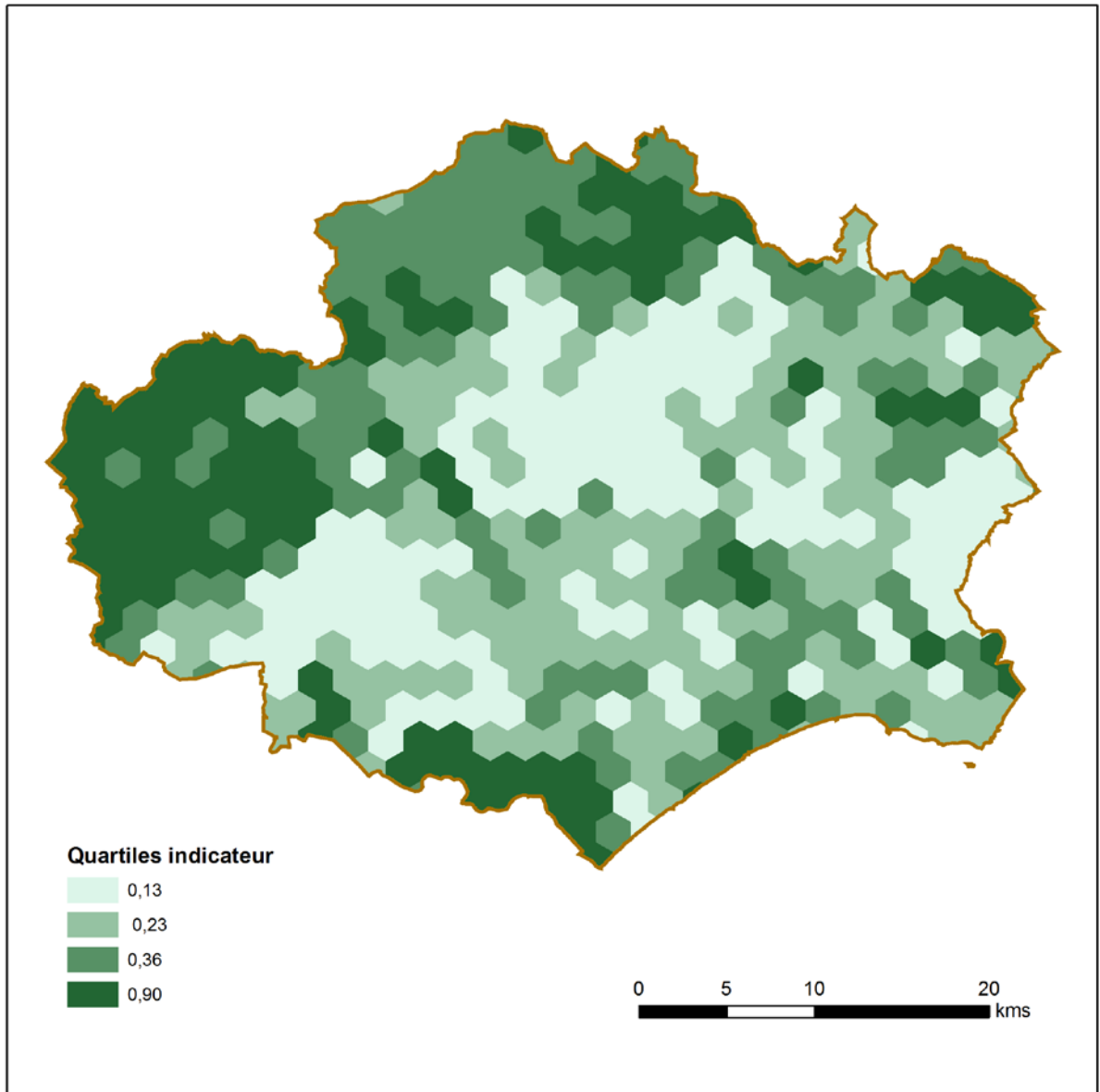


Figure 4 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des mailles de 2km

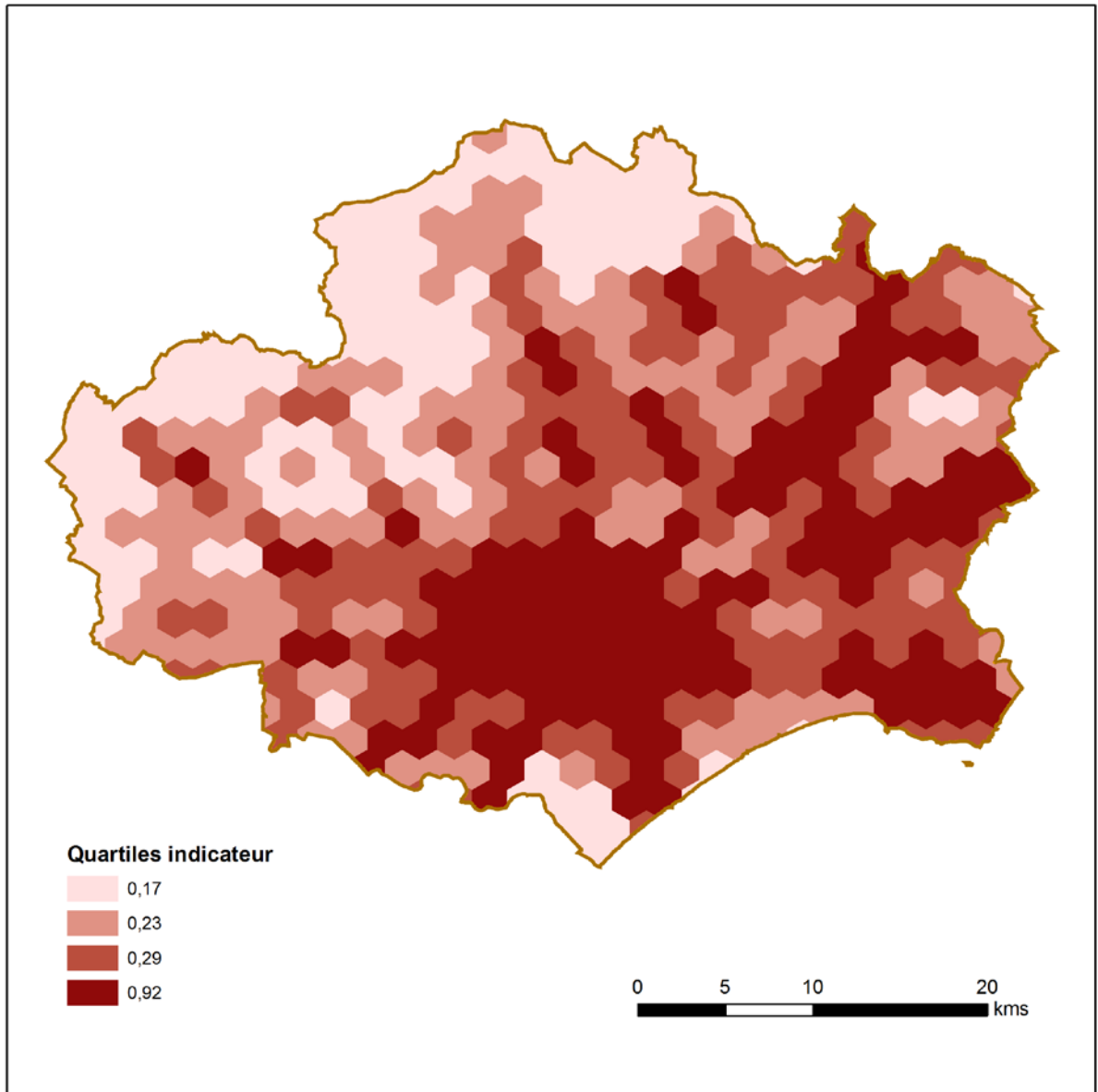


Figure 5 - Indicateur combiné de pression agrégé au niveau des mailles de 2km

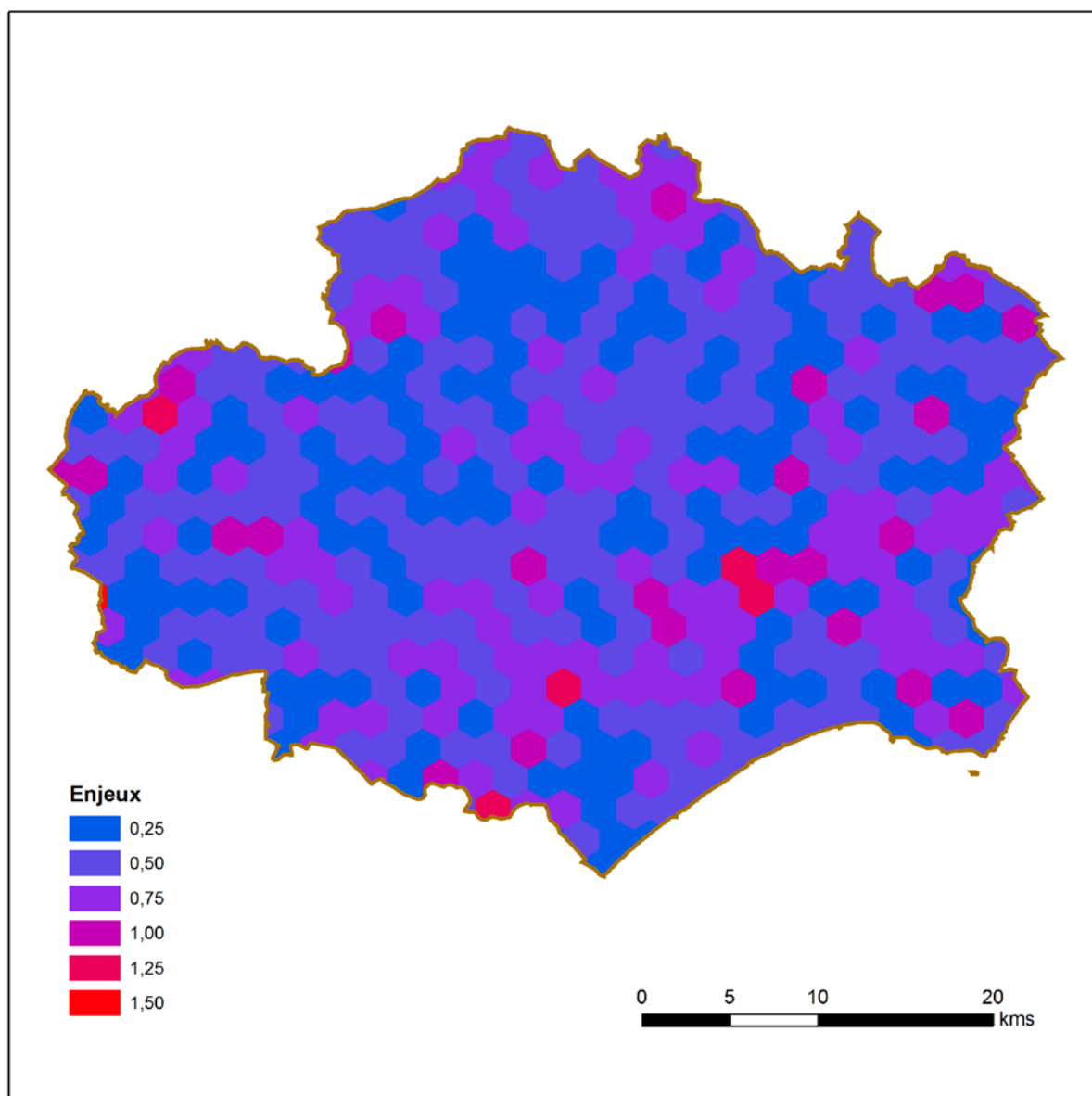


Figure 6 – Croisement des indicateurs combinés de biodiversité et de pression agrégés au niveau des mailles de 2km

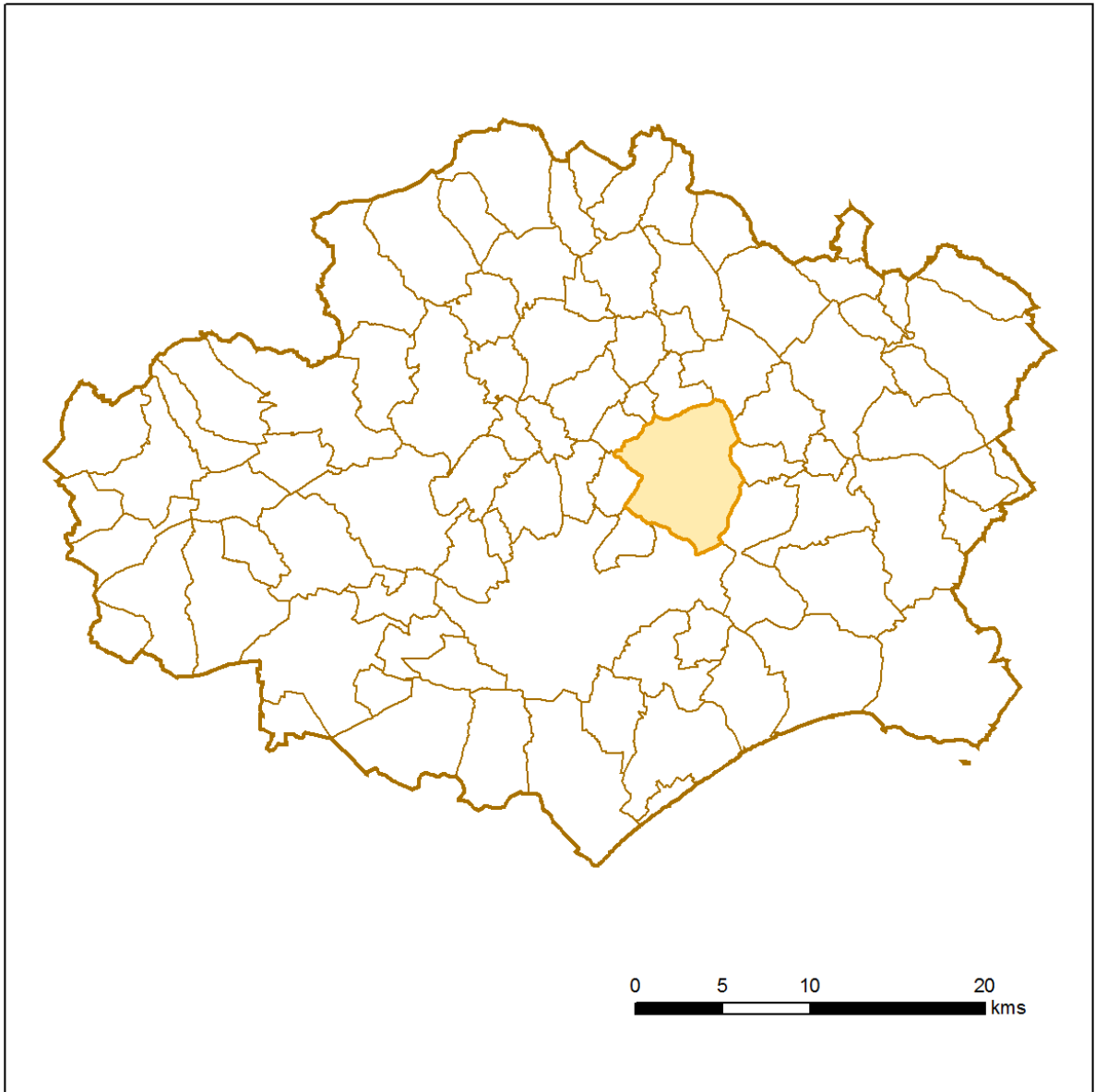


Figure 7 – Communes de Servian

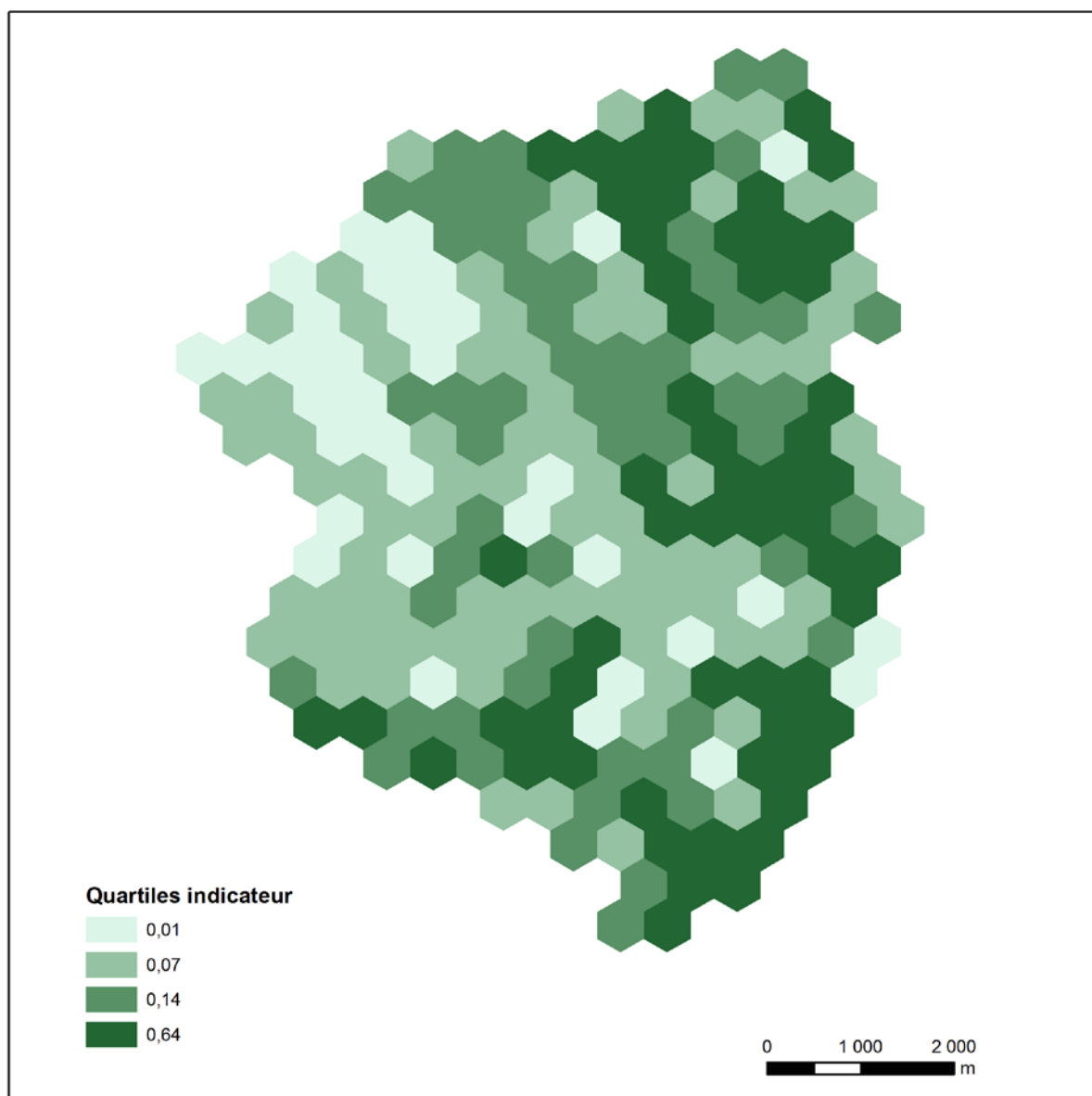


Figure 8 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des mailles de 500m

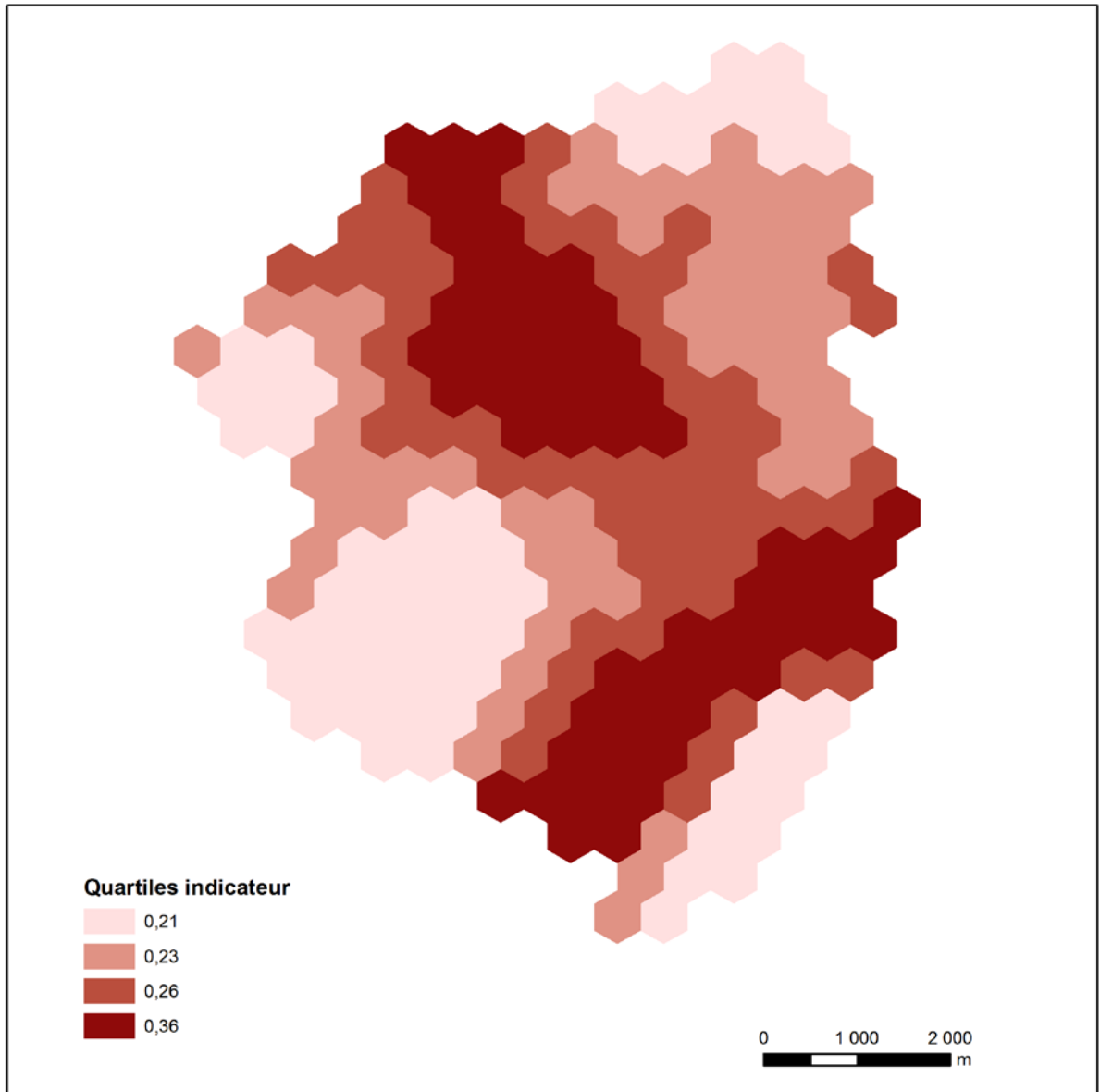


Figure 9 - Indicateur combiné de pression agrégé au niveau des mailles de 500m

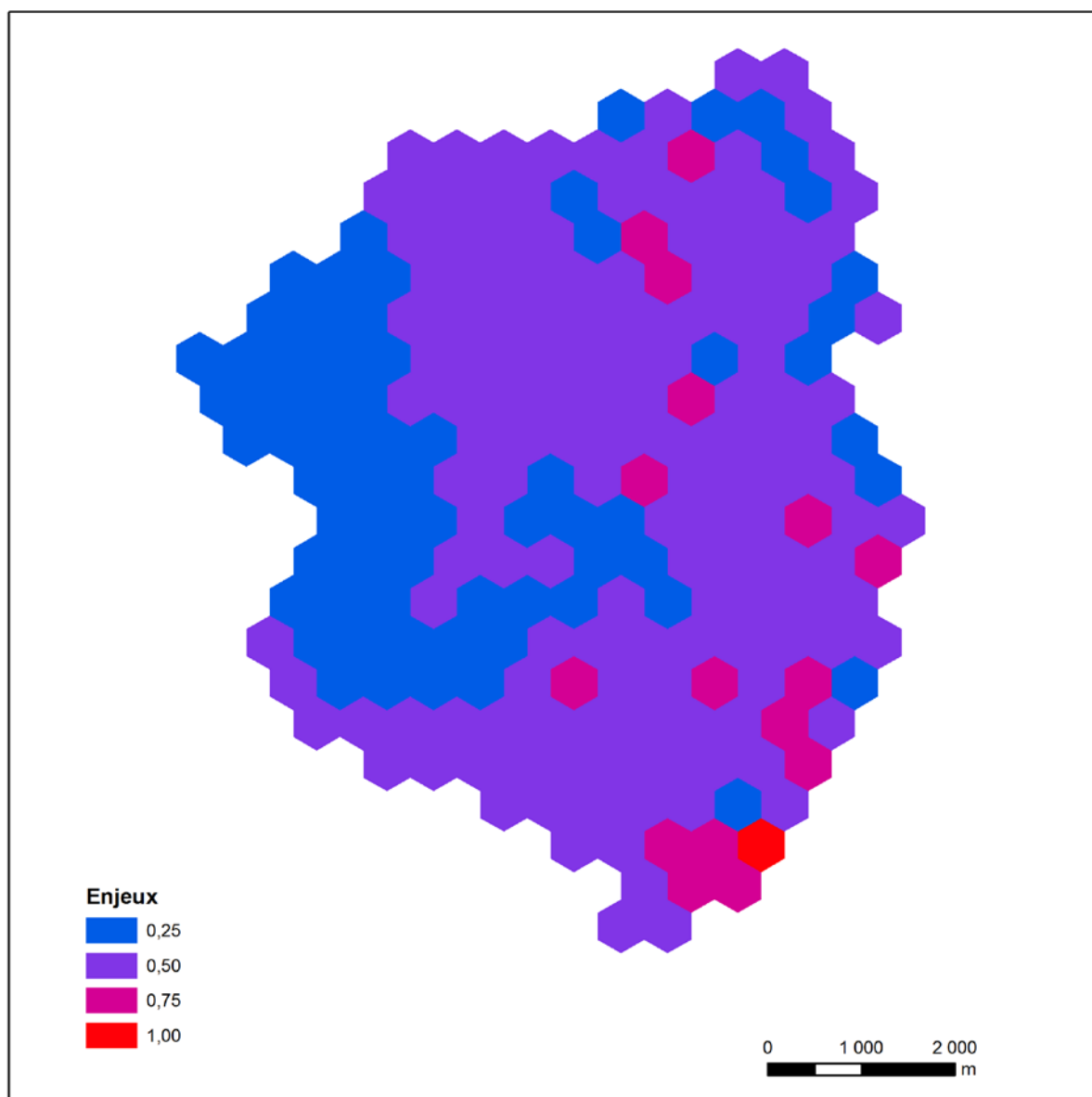


Figure 10 – Croisement des indicateurs combinés de biodiversité et de pression agrégés au niveau des mailles de 500m

Le territoire test de Lozère

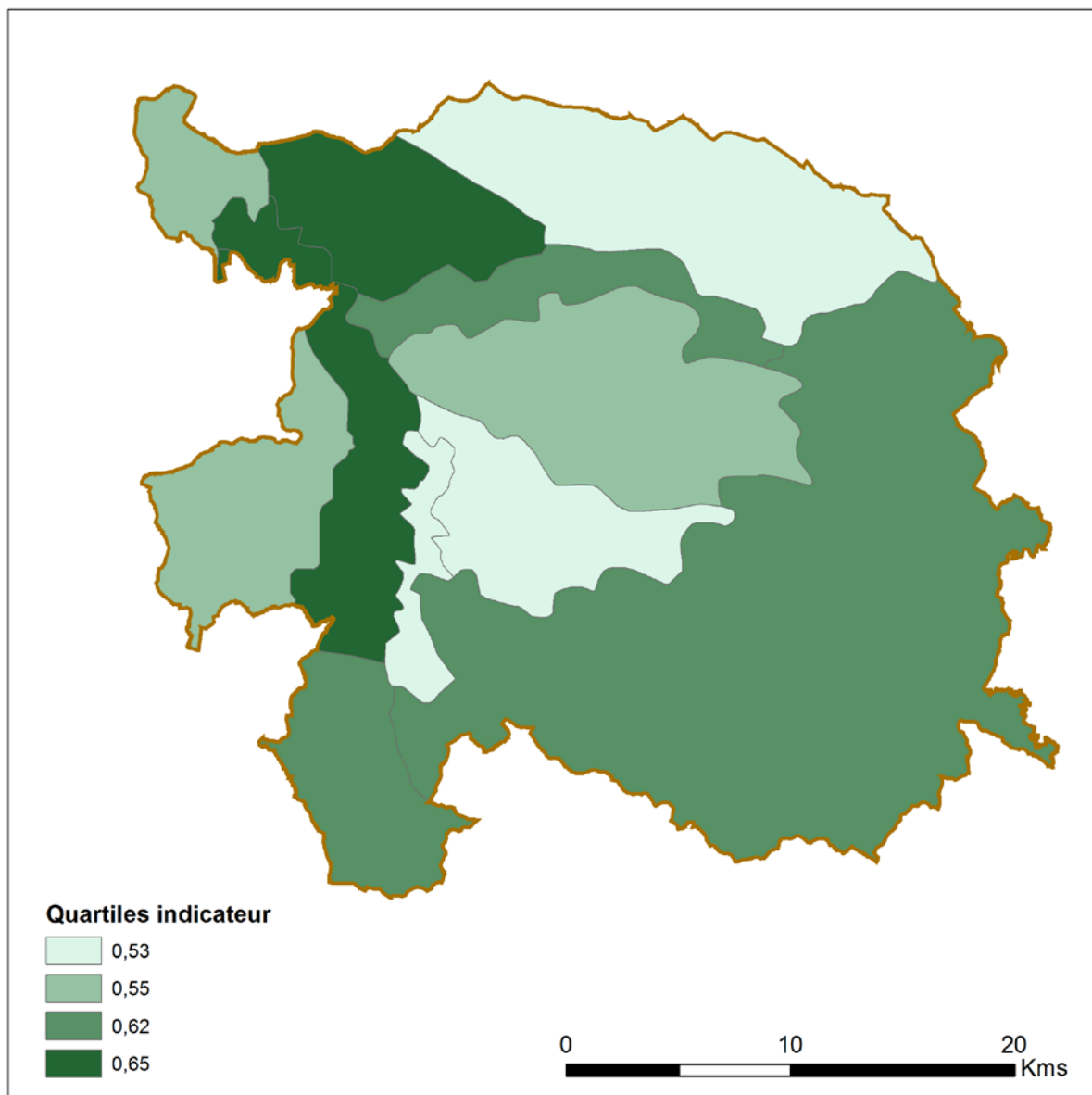


Figure 11 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des unités paysagères

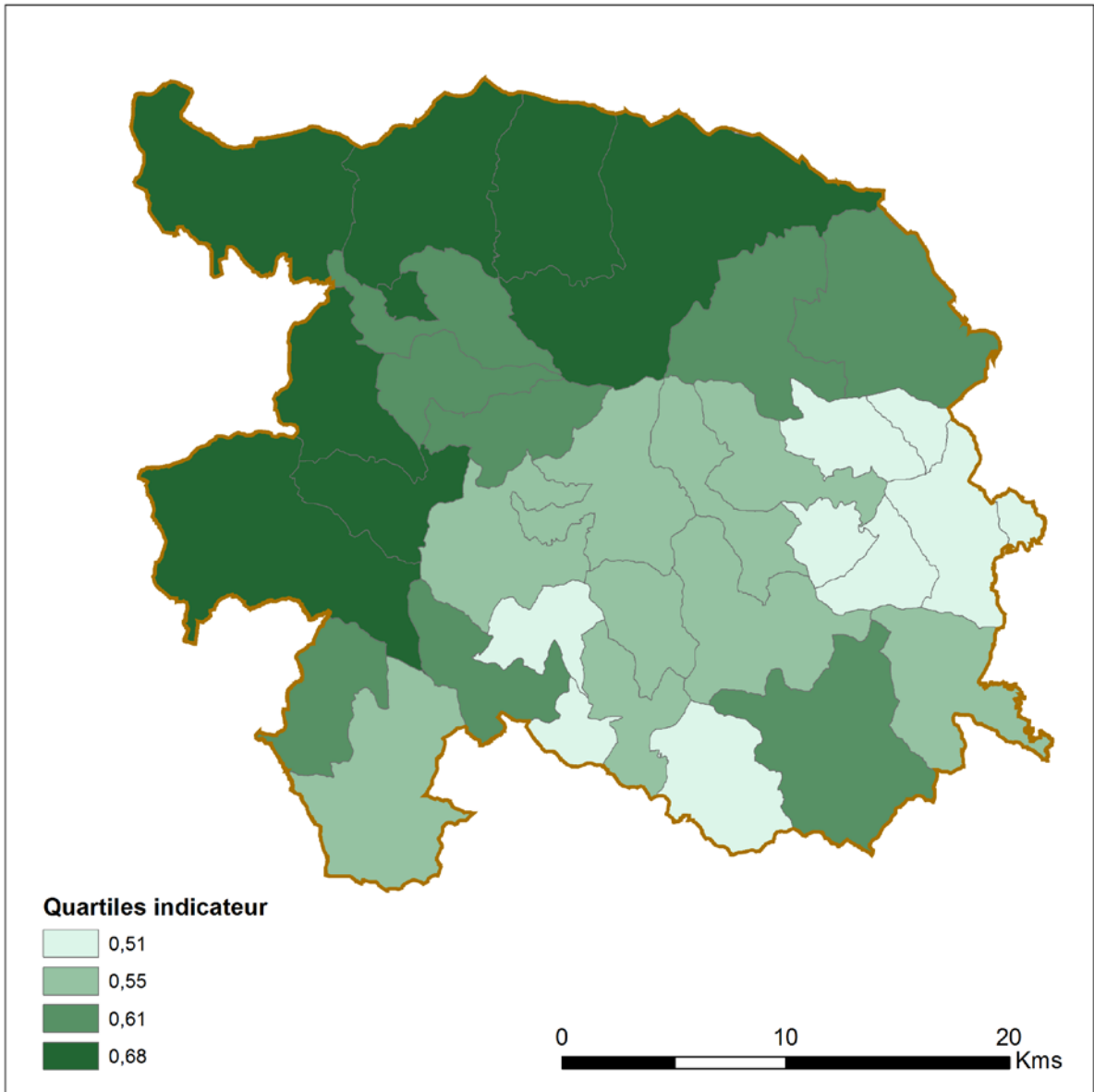


Figure 12 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des communes

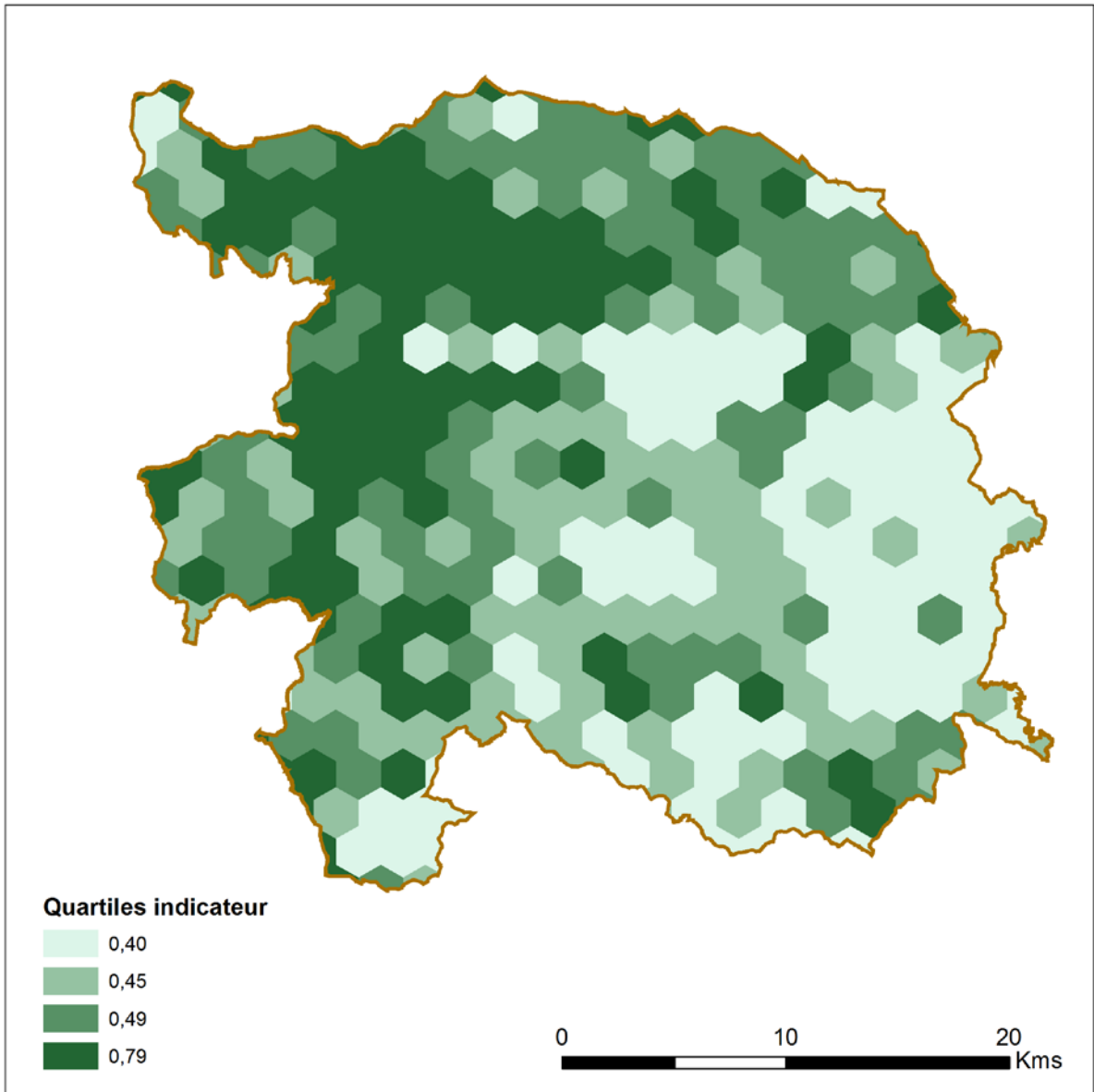


Figure 13 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des mailles de 2km

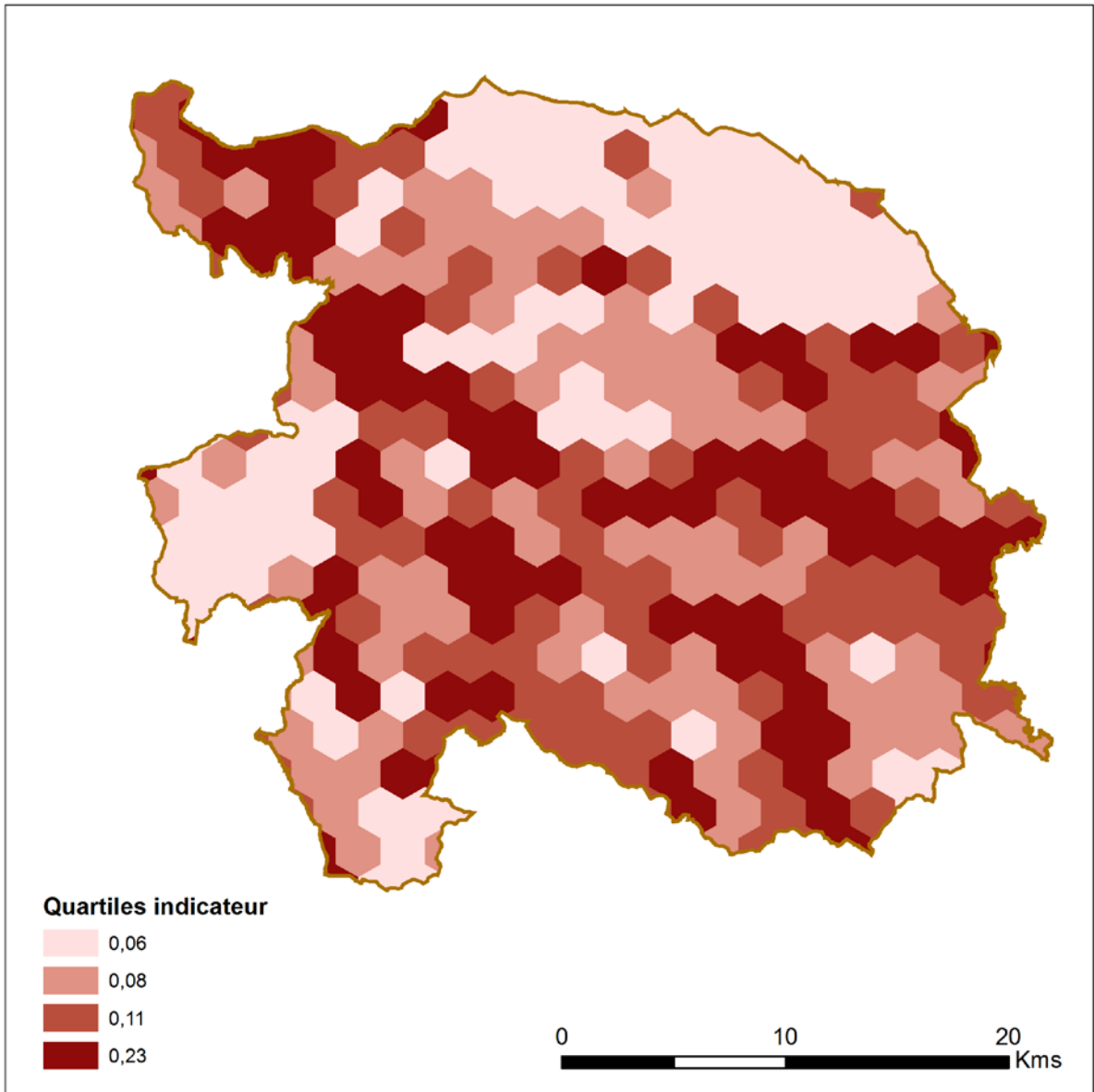


Figure 14 - Indicateur combiné de pression agrégé au niveau des mailles de 2km

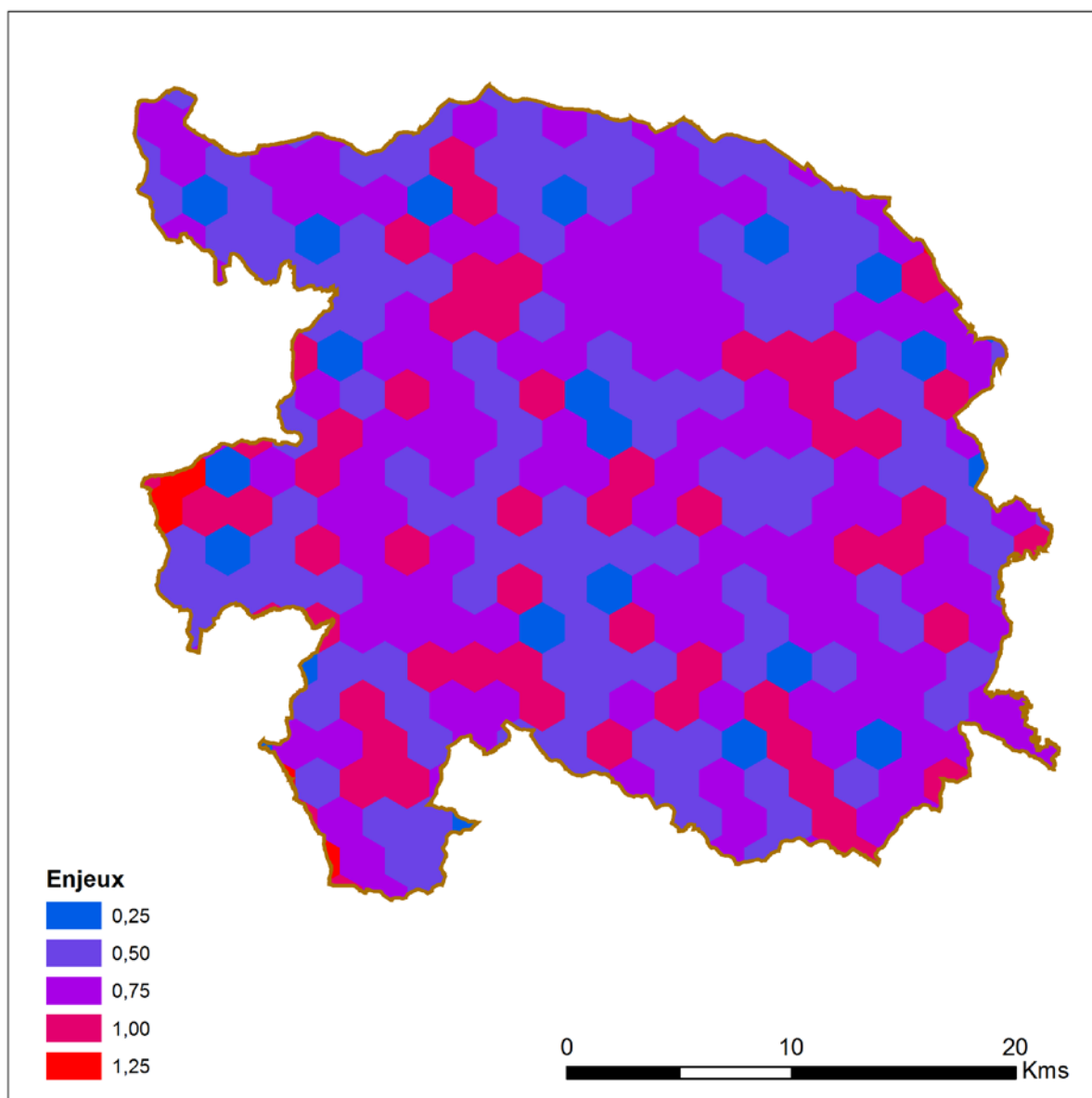


Figure 15 – Croisement des indicateurs combinés de biodiversité et de pression agrégés au niveau des mailles de 2km

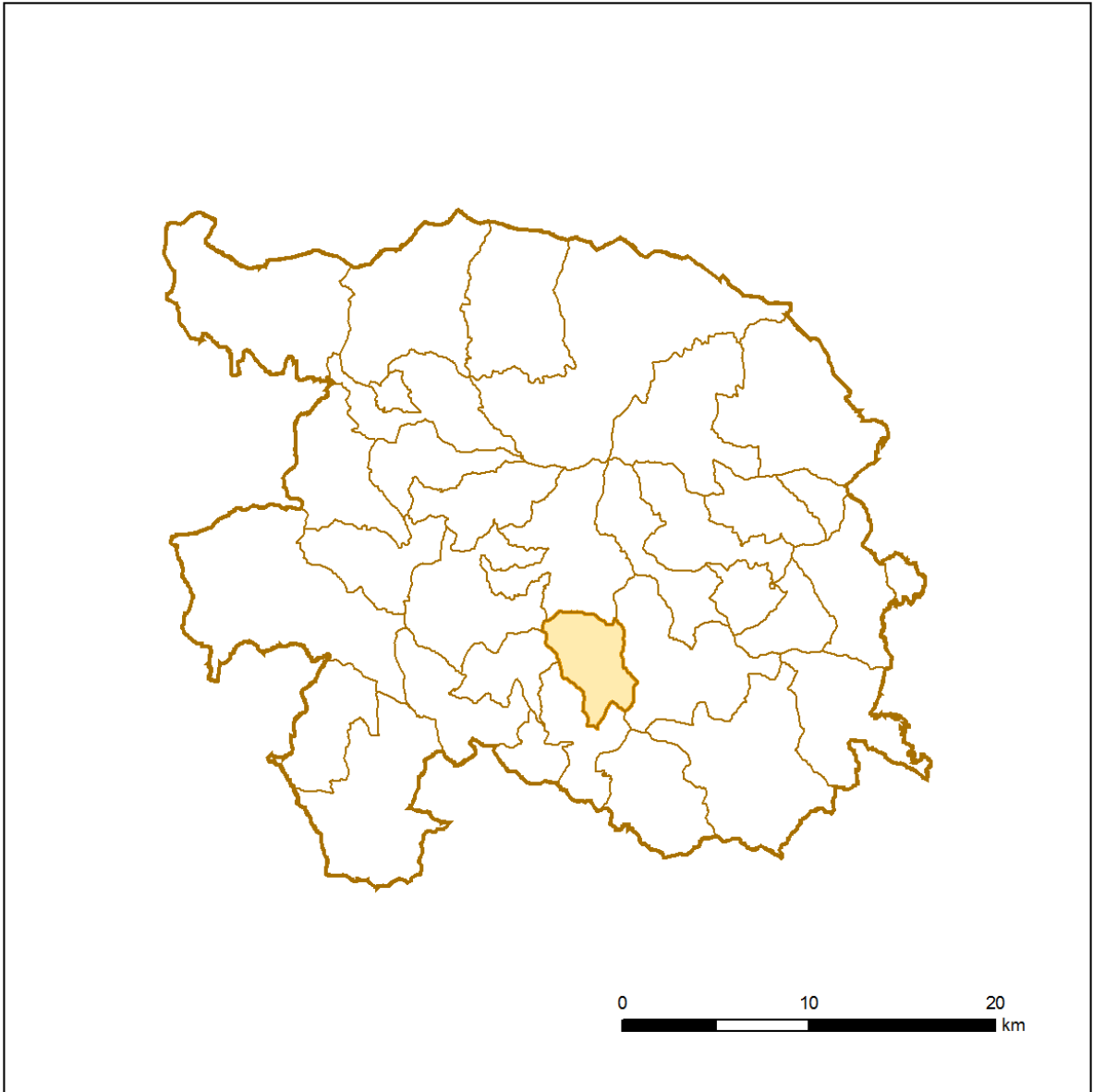


Figure 16 – Communes de Saint-Martin-de-Lansuscle

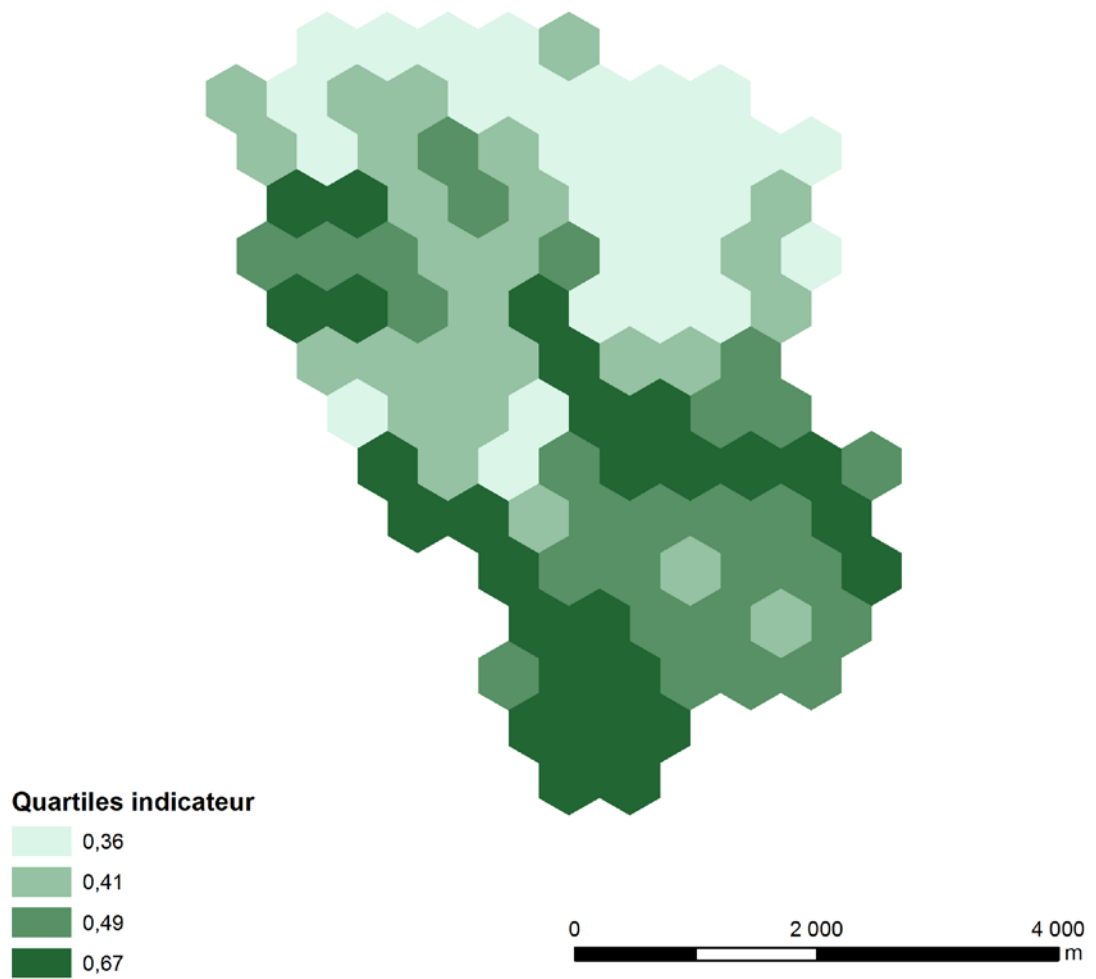


Figure 17 - Indicateur combiné de biodiversité agrégé au niveau des mailles de 500m

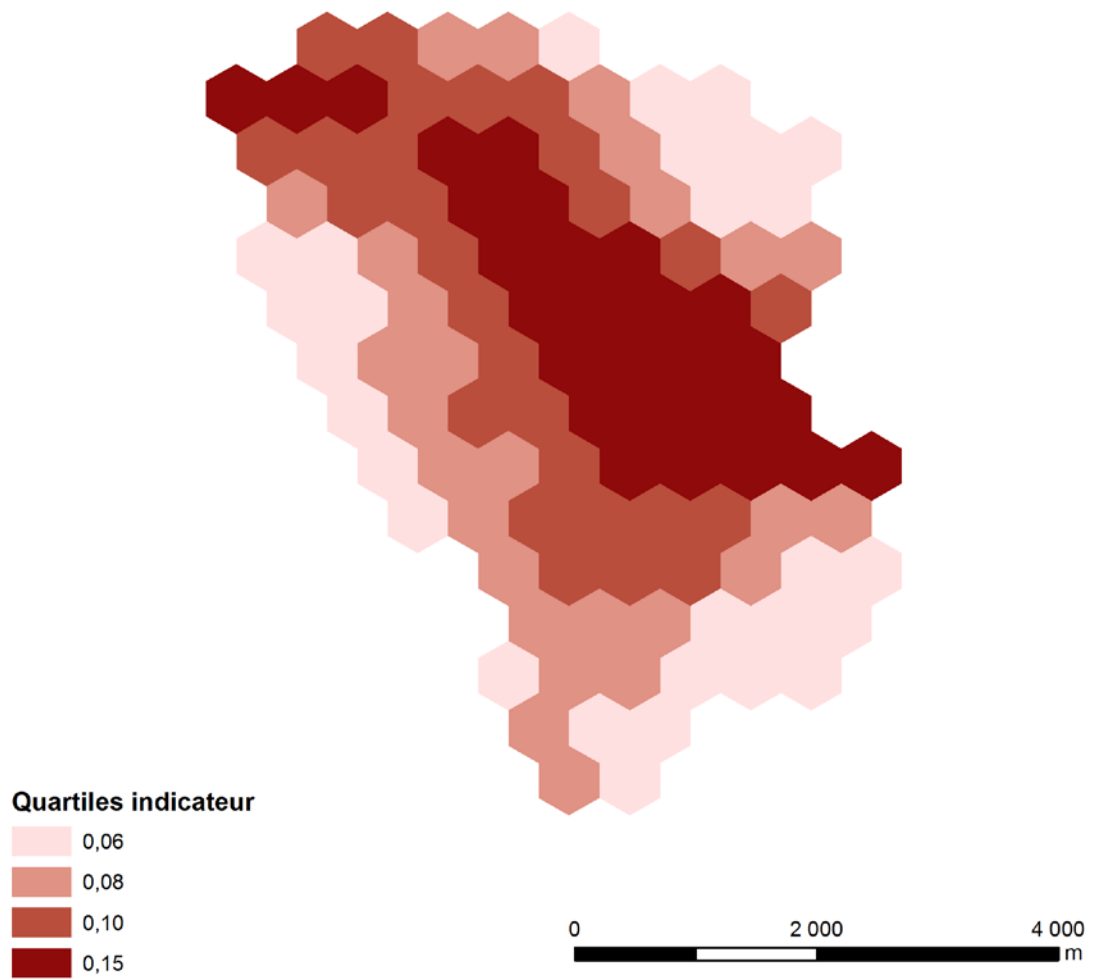


Figure 18 - Indicateur combiné de pression agrégé au niveau des mailles de 500m

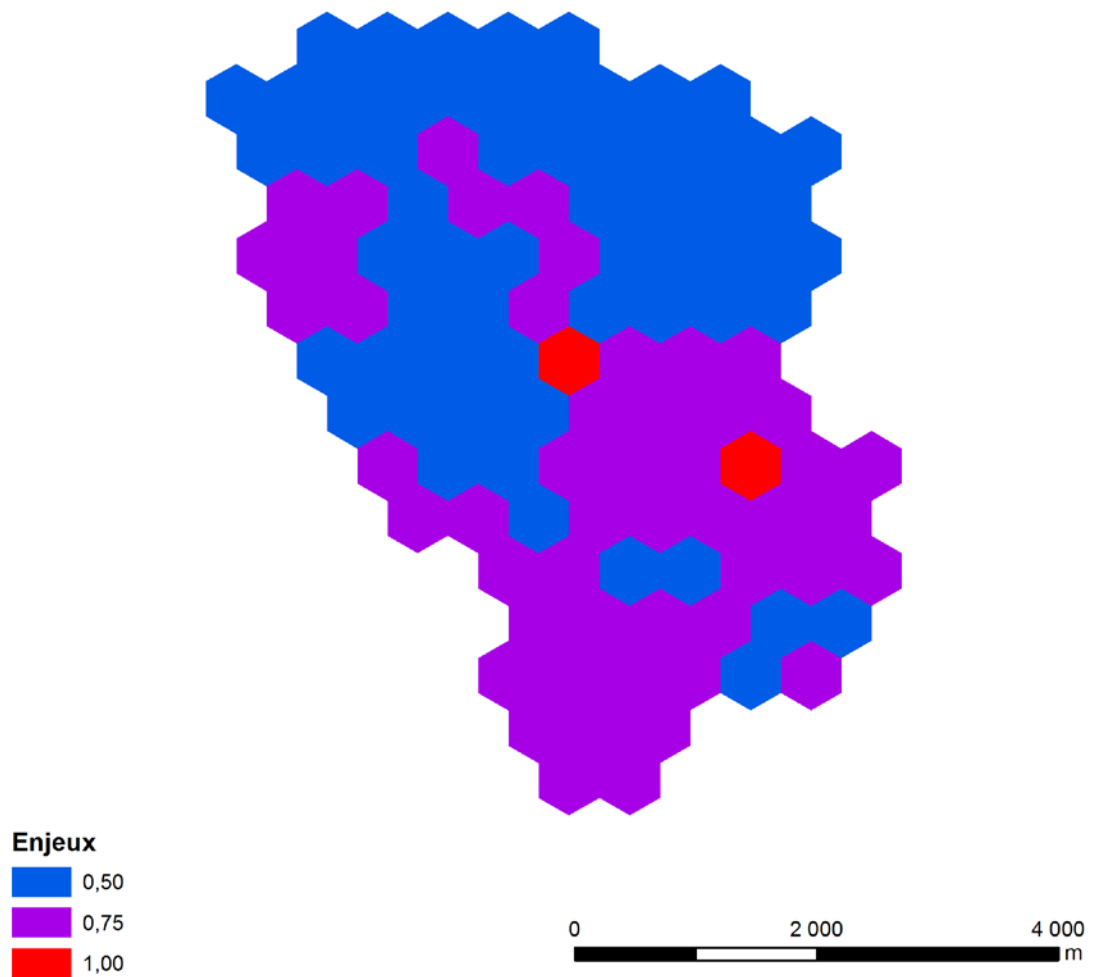


Figure 19 – Croisement des indicateurs combinés de biodiversité et de pression agrégés au niveau des mailles de 500m