

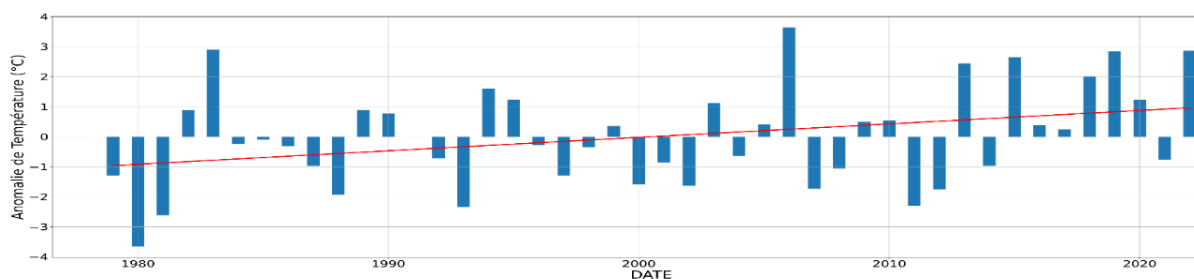
AXE DE LONG TERME (GESTION STRATÉGIQUE) :

CARACTÉRISATION DES PRAIRIES



Cet axe aborde l'impact des changements climatiques sur les systèmes pastoraux. Il s'agit dans un premier temps de construire un indicateur permettant de suivre l'évolution de la production fourragère pour la période actuelle et de l'actualiser annuellement. Cet indicateur sera mis en perspective de l'évolution durant les années passées. Il serait enfin souhaitable de proposer des scénarios d'évolution à l'horizon 2050.

L'analyse des données Agri4Cast montrent une tendance à la hausse des températures et des précipitations, tendances à considérer avec prudence en raison de la forte variabilité interannuelle en particulier pour les précipitations.



Anomalies de température sur la période 1979-2022 pour le PNR Causses du Quercy, par rapport à la moyenne de la période. En rouge, tendance linéaire de pente 0.045 °/an soit + 1,97° entre 1979 et 2022

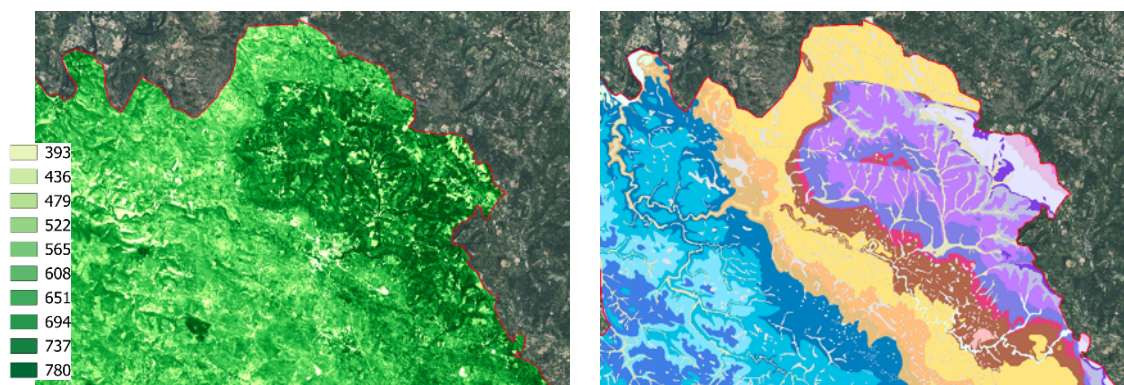


Anomalies de précipitations sur la période 1979-2022, par rapport à la moyenne de la période. En rouge, tendance linéaire de pente 1.58 mm/an soit + 60 mm entre 1979 et 2022

Afin de préparer de futur travaux sur l'impact des changements climatiques sur la production fourragère, nous avons cherché à caractériser différentes classes de prairies au travers de leur indice de végétation. En effet, les prairies du PNR ont probablement des réponses différentes aux différents stress en raison de conditions locales différentes, comme par exemple la nature et la profondeur du sol.

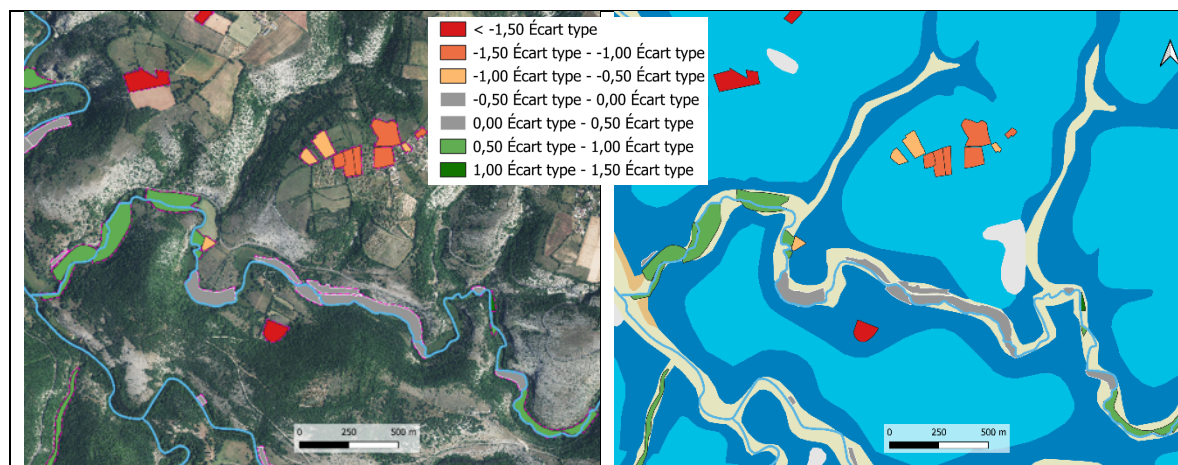
Nous avons exploité les données Sentinel 2 de niveau 3A^{1,2}. Les produits de niveau 3A fournissent des synthèses mensuelles des réflectances de surface issues des produits de Niveau 2A de Theia. La synthèse est réalisée à partir d'une moyenne pondérée des observations claires. Ce niveau 3 permet d'éliminer la quasi-totalité des nuages et réduit également le volume d'informations à traiter.

Pour chaque année de la période 2018-2023 nous avons calculé les valeurs minimales, maximales, moyennes du NDVI, les dates de ces valeurs ainsi que l'amplitude du NDVI pour l'ensemble du PNR (et non pas seulement les prairies). Nous avons également calculé les minimum, maximums, moyennes et amplitudes pour l'ensemble de la période. La figure ci-dessous met en regard l'indice de végétation moyen pour la période 2018-2023 avec la carte géologique du BRGM. L'indice de végétation est plus élevée dans les formations géologiques qui favorisent la réserve utile³, comme les sols profonds, et l'humidité du sol comme les fonds de vallée.



Indice de végétation moyen sur la période 2018-2023 (à gauche) et carte géologique du BRGM

Une autre manière de représenter l'impact de la pédologie consiste à calculer l'indice de végétation moyen et l'écart-type autour de cette moyenne pour toutes les parcelles de prairies, de 2018 à 2023, puis à positionner chaque parcelle en fonction de son écart à la moyenne exprimé en fraction d'écart-type. Ce calcul a été fait pour l'ensemble du PNR, la figure ci-dessous présente le résultat sur une petite zone.



Ecart à la moyenne du NDVI 2018-2023 par parcelle, représenté à gauche sur fond de photographie aérienne de l'IGN, à gauche sur fond de carte géologique du BRGM. Les parcelles situées sur les alluvions de fonds de vallée (jaune clair) ont un indice de végétation moyen égal ou supérieur à la moyenne des indices de végétation des prairies du parc. Les parcelles sur le sol calcaire (bleu) des versants et plateaux ont un indice de végétation moyen inférieur voire très inférieur à la moyenne. L'indice de végétation est un bon indicateur de la productivité des prairies.

¹ <https://labo.obs-mip.fr/multitemp/les-syntheses-mensuelles-de-niveau-3a-de-theia/>

² <https://zenodo.org/records/1401360>

³ Le Réservoir en Eau Utilisable d'un sol (RU), souvent appelé « Réserve Utile », représente la quantité d'eau maximale que le sol peut contenir et restituer aux racines pour la vie végétale.

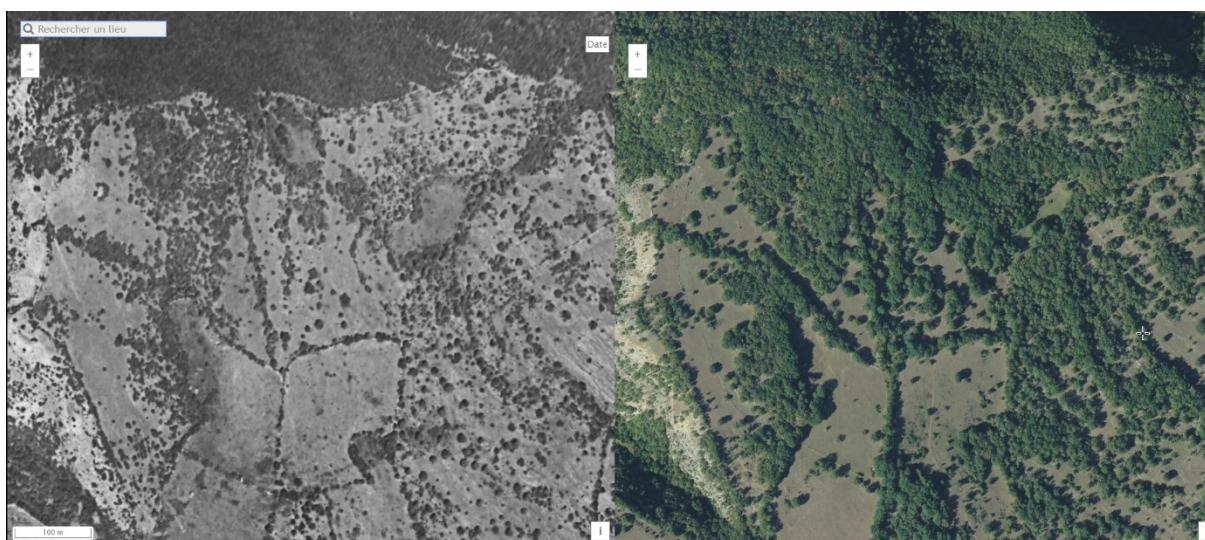
<https://www.gissol.fr/thematiques/reserve-utile-en-eau-des-sols-18>

Cette analyse révèle comme attendu l'importance du facteur sol pour comprendre la productivité des prairies et leur comportement face aux stress, en particulier les stress hydriques. La réserve utile des sols est la principale variable à connaître pour modéliser la productivité végétale, en climat actuel ou en climat perturbé. Malheureusement la cartographie de cette variable est encore imparfaite. En première analyse, le jeu de données « Réservoir utile des sols de la France métropolitaine »⁴ publié en 2021 marque un net progrès mais les incertitudes semblent encore élevées, surtout pour traiter des parcelles de petite taille (1,7 ha en moyenne sur le PNR).

1.1.1 Travaux exploratoires : caractérisation du couvert arbustif et arboré

La caractérisation du couvert arbustif et arboré présent au sein des milieux de types prairies, pelouses sèches et landes est apparue important pour au moins deux raisons :

- Nous avons constaté que les polygones du RPG définis lors des déclarations PAC contiennent assez souvent des arbres en limite et au sein même des parcelles ce qui perturbe la détection des dates de fauche et le suivi de l'indice de végétation de l'herbe.
- Les chargés de mission du PNR Causses du Quercy ont mis en avant le besoin d'une meilleure connaissance de milieux en transition, pelouses sèches et prés-bois. Cette question est commune à l'ensemble des PNR partenaires.



Exemple de fermeture de milieux dans le PNR Causses du Quercy (entre Rocamadour et Gramat). A gauche photographie aérienne des années 1950-1965, à droite photographie récente (Source : [IGN remonter le temps](https://remonter.letemps.ign.fr/))

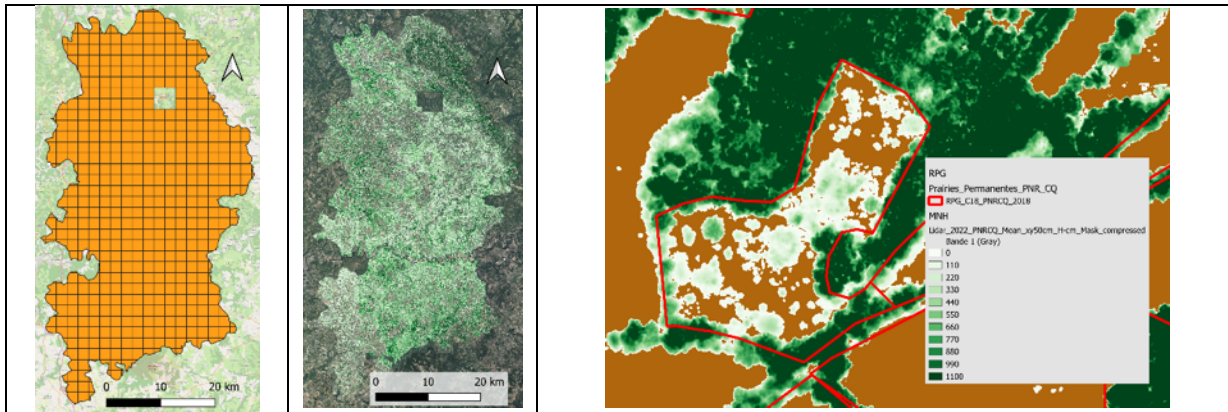
La fermeture de ces milieux en transition, c'est-à-dire la colonisation progressive des milieux ouverts dominés par la strate herbacée par des espèces végétales arbustives puis arborescentes, résulte principalement de la diminution du pastoralisme. Ce phénomène a des conséquences multiples : perte de biodiversité, perte de ressources fourragères, augmentation de l'intensité des feux, accroissement de la grande faune, diminution de l'attractivité des paysages... Le PNR des Causses du Quercy et les acteurs du territoire mènent de nombreuses actions pour préserver et restaurer ces milieux. Ils s'interrogent sur les impacts de l'évolution du climat sur des milieux déjà marqués par l'aridité, avec des questions sur la durabilité de l'élevage et de la biodiversité.

⁴ Roman Dobarco, Mercedes; Bourennane, Hocine; Arrouays, Dominique; Saby, Nicolas; Cousin, Isabelle; Martin, Manuel P., 2021, "Réservoir utile des sols de la France métropolitaine", <https://doi.org/10.15454/910ARJ> Recherche Data Gouv, V1

En outre les pratiques pastorales durant la sécheresse de 2022 ont montré l'intérêt de ces milieux de prés-bois pour l'alimentation en fourrage des troupeaux en raison de l'effet d'ombrage apporté par les arbres.

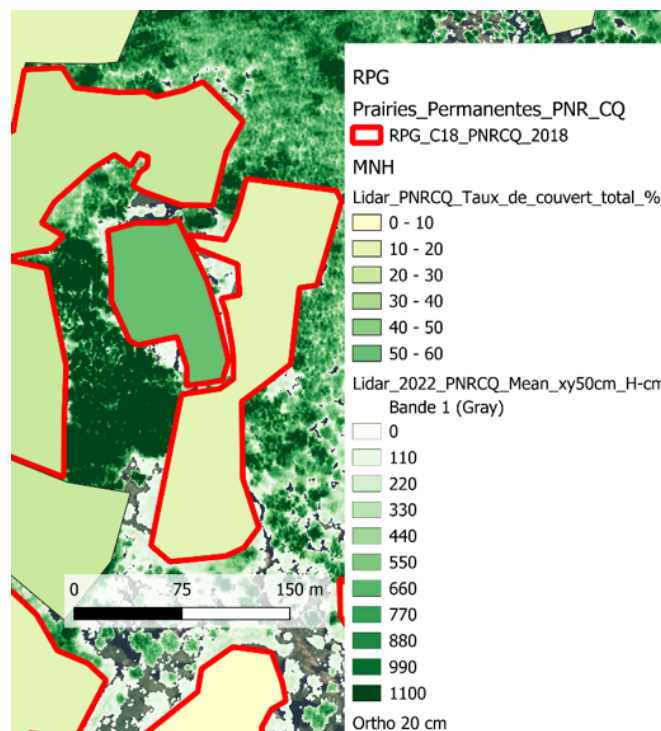
Dans un premier temps nous nous sommes focalisés sur l'exploitation des données LIDAR HD récemment acquises et distribuées par l'IGN .

Nous avons téléchargé et traité l'ensemble de données « nuages de points bruts » disponible sur le PNR Causses du Quercy. Nous avons utilisé la bibliothèque PDAL pour obtenir les modèles numériques de terrain et de hauteur pour l'ensemble du PNR.



A gauche, les dalles de nuages de points Lidar bruts (source IGN), au milieu le modèle numérique de hauteur (MNH) calculé sur l'ensemble du PNR Causses du Quercy, à droite zoom sur une petite zone. L'échelle de hauteur figurant en légende est en centimètres. Les contours en rouge correspondent à des parcelles déclarées en prairies permanentes.

Le MNH nous a permis de déterminer un taux de couvert arboré pour chaque parcelle et de l'ajouter aux attributs des parcelles dans les fichier géospatiaux (figure ci-dessous). Ce taux de couvert peut être déterminé pour différentes classes de hauteur de la canopée, et pour différents types de segmentation de l'espace (parcelles du RPG, cadastre, ...)



Taux de couvert arbustif et arboré dans les parcelles de prairies (limites en rouge) et hauteur du couvert en cm. Les limites en rouge correspondent à des parcelles déclarées en prairies permanentes.

Nous avons comparé le taux de couvert calculé à partir du Lidar à l'indice de confiance calculé précédemment avec Sentinel 2 sur la base du nombre relatif de pixels au sein d'une parcelle pour lesquels une fauche est détectée. Les arbustes et les arbres ayant une phénologie différente de l'herbe, on s'attend à ce que l'indice de confiance chute avec l'augmentation du taux de couvert arboré. C'est bien ce qui se passe comme le montre l'exemple de la figure suivante.



Orthophotographie aérienne IGN

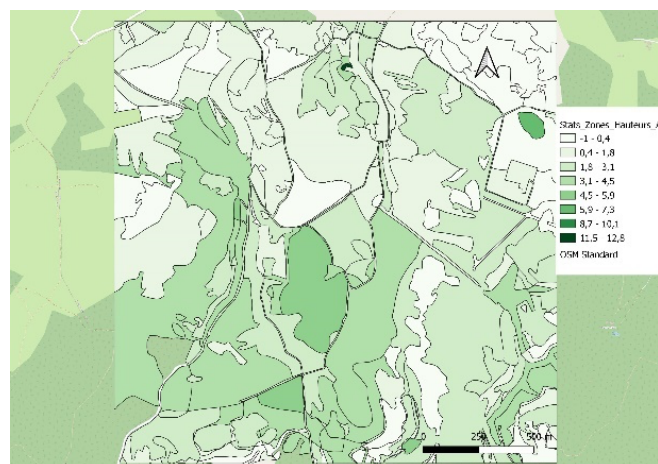
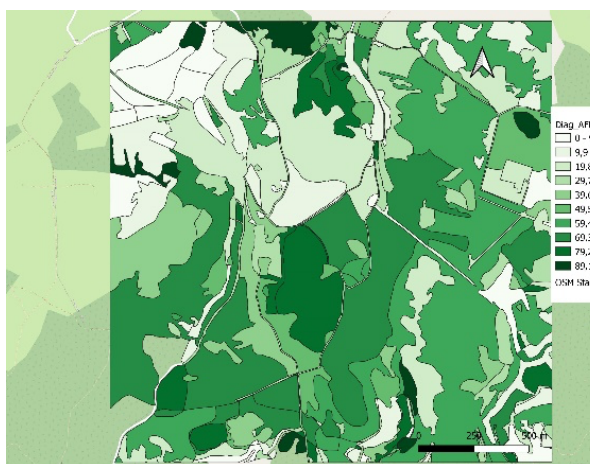


Modèle numérique de hauteur, du blanc au vert foncé



Indice de confiance sur la période de fauche fonction du nombre de pixel utiles sur chaque parcelle

Ces données permettent également de compléter les cartes d'occupation des sols par des attributs qui enrichissent la description des milieux, comme l'illustrent les cartes ci-dessous : à gauche densité du couvert arboré (surface des couronnes par rapport à la surface de l'entité (polygone) considérée, exprimée en %) ; à droite hauteur moyenne des couronnes des arbres (hauteur supérieure à 50 cm, un choix de hauteurs différentes est bien sûr possible).



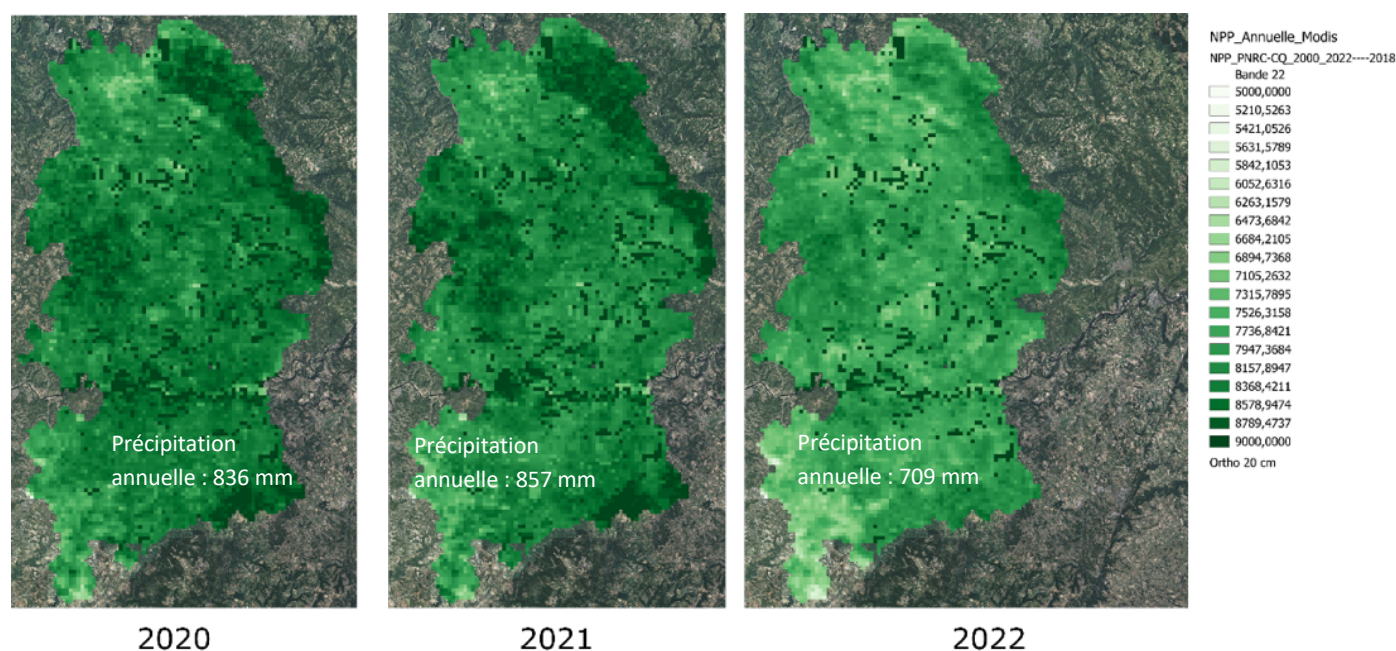


Selon le besoin, un mode de représentation possible est de séparer une classe en plusieurs classes en fonction de critères appliqués à la table d'attributs. Dans l'exemple ci-contre, deux classes de chênes pubescents sont distinguées selon que la densité est inférieure (vert clair) ou supérieure (vert foncé) à 50 %

Travaux exploratoires : exploitation des produits productivité primaire nette de la NASA

La principale limite dans l'usage des données Sentinel pour bâtir des indicateurs des impacts du changement climatique réside dans la faible profondeur temporelle, 8 ans au mieux. Les données de type SPOT permettent de remonter jusqu'en 1986 mais les acquisitions n'ont pas été systématiques et suivre le fonctionnement de la végétation avec ces données est aléatoire. Les données Landsat offre une couverture quasi systématique mais la revisite de 16 jours et la résolution spatiale de 30 m limite leur exploitation pour un suivi fin de la végétation.

Même si nous n'excluons pas d'utiliser ces archives SPOT et Landsat à l'avenir, nous avons préféré explorer d'abord l'utilisation de données à moyenne résolution (250 m à 1 km) telles que celles fournis par MODIS ou VEGETATION. Parmi les produits dérivés de ces données, nous avons choisi pour commencer le produit productivité primaire nette (NPP) annuelle⁵ diffusé par la NASA et l'USGS^{6,7}. Ce produit couvre la période 2000- présent, mais à la résolution de 500 m. L'idée est donc de tester l'intérêt de ce type de produit à moyenne résolution mais à relativement grande profondeur temporelle. La figure ci-après montre la capacité de ce produit à détecter les variations interannuelles de productivité à moyenne échelle ainsi que la variabilité spatiale, comme par exemple la zone plus productive située au Nord-Est du PNR.



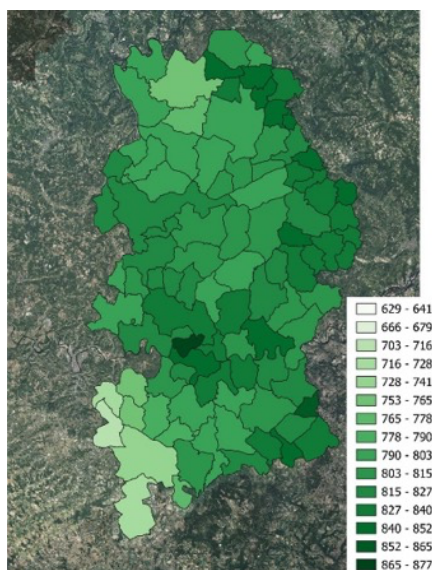
Produit productivité primaire nette diffusé par NASA et USGS. Unité : dixième de grammes de carbone par m² et par an.

Nous avons cherché à déterminer si une tendance était perceptible sur les 22 ans d'estimations de NPP disponibles au moyen d'une régression linéaire $NPP = \text{pente} \times \text{année} + k_0$ appliquée aux valeurs de NPP moyennes par commune. La figure ci-dessous présente les valeurs moyennes par commune, leur écart type sur les 22 ans de données, et la pente de la régression linéaire.

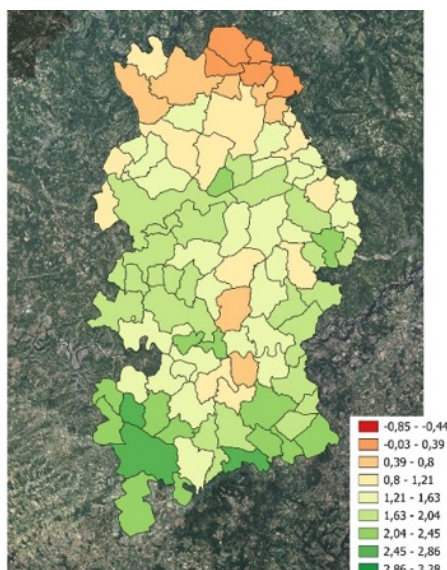
⁵ Productivité Primaire Nette ou Net Primary Productivity (NPP) quantité de biomasse synthétisée par unité de temps et d'espace, généralement exprimée en grammes de carbone par unité de temps.

⁶ <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod17a3hgv061/>

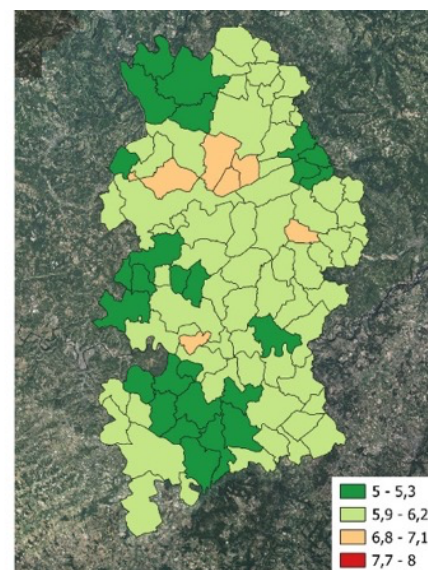
⁷ Running, S., Zhao, M. (2021). MODIS/Terra Net Primary Production Gap-Filled Yearly L4 Global 500m SIN Grid V061 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center. Accessed 2023-12-21 from <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD17A3HGF.061>



*Productivité primaire nette moyenne
2001-2022 en g(C) m⁻²*



Tendance (pente) g(C) m⁻² an⁻¹



*Ecart-type des valeurs moyennes
de NPP par commune, en % de la
moyenne 2001-2022*

Cette analyse ne fait pas apparaître de tendance très nette. Les pentes varient d'un minimum de -0,85 à un maximum de 3,28 g(C) m⁻² an⁻¹, soit une perte de productivité de 17 g(C) m⁻² sur 20 ans ou un gain plus significatif de 65 g sur 20 ans, soit environ 5 à 10 %. Il s'agit là de valeurs extrêmes, la plupart des communes ont des évolutions plus modérées.

Ces résultats sont préliminaires. La résolution de 500m et le travail à l'échelle des communes ne permet pas de détecter des tendances par type d'écosystème. Les pas de temps annuel masque d'éventuelles tendance saisonnières. Au-delà des tendances, une analyse plus fine est nécessaire pour mettre en évidence la plus grande variabilité saisonnière et interannuelle qui est attendue.