

L'ALBÉDO : UN OUTIL SPATIAL POUR VALORISER LE RÔLE DES PRAIRIES

Mise en situation

Mesurer l'albédo peut se faire de plusieurs façons. En utilisant les observations satellitaires, on est notamment capable d'évaluer la valeur de l'albédo à l'échelle d'un territoire, et donc d'apporter des informations complémentaires aux mesures effectuées sur les parcelles à l'aide d'albédomètres de terrain.

Résumé

L'article rend compte des albédos de surface spatialisés à la résolution de 10 mètres issus des données des satellites Sentinel-2. Les zones étudiées sont les fermes expérimentales du projet ALBEDO-prairies soutenu par le programme CASDAR et piloté par IDELE. Le travail mené a cherché à valider l'hypothèse selon laquelle les prairies ont des albédos plus élevés en moyenne que les surfaces cultivées – il est proche de 0,2 - ce qui constitue un axe de recherche novateur. Cela a été confirmé par les observations spatiales confrontées aux albédomètres installés sur les parcelles du projet. La résolution spatiale offerte par l'albédo satellitaire permet notamment d'étudier la variabilité intra-parcellaire, ce qui sert à optimiser la gestion de la parcelle grâce à un suivi fin de l'itinéraire technique. La couverture géographique à l'échelle du territoire grâce au satellite permet d'en extraire des informations régulières cohérentes, ce qui permet de valoriser encore mieux le rôle des prairies.

Summary

Albedo: a spatial tool to enhance the role of grasslands

The article reports on upscaled surface albedos at 10-meter resolution, derived from Sentinel-2 satellite data. The areas studied are the experimental farms of the ALBEDO-prairies project supported by the CASDAR program and led by IDELE. The work carried out sought to validate the hypothesis that grasslands have higher albedos on average than cultivated areas – it is close to 0.2 - which constitutes an innovative line of research. This was confirmed by spatial observations using albedometers installed on the project plots. The spatial resolution offered by satellite albedo makes it possible to study intra-plot variability, which can be used to optimize plot management by fine-tuning the technical itinerary. The satellite's geographical coverage of the entire territory enables us to extract consistent information on a regular basis, thus further enhancing the role of grasslands.

Auteurs

J.-L. Roujean, B. Saulquin, J. Auclair

CESBIO, UMR 5126, 18 avenue Edouard
Belin, bpi 2801, 31401 Toulouse,
FRANCE

jean-louis.roujean@univ-tlse3.fr

Tel: 05 61 55 85 46

Mots clés

albédo, rayonnement,
atténuation, climat, carbone,
prairies, exploitation

Key words

albedo, radiation, mitigation,
climate, carbon, grasslands,
farming

Pour citer cet article

Roujean J.-L., Saulquin B., Auclair
J. (2024). L'albedo : un outil spatial
pour valoriser le rôle des prairies.
Fourrages 257, 57-63.

Introduction

L'observation de la Terre depuis l'espace est l'unique moyen de décrire les états de surface de façon homogène à l'échelle du paysage. C'est à cette échelle, typiquement celle d'un territoire, que se prennent les décisions concernant l'usage et la gestion des terres. En ce sens, la donnée spatiale apporte une forme de cohérence car elle couvre de grandes zones géographiques de façon régulière et objectives, contrairement aux mesures in situ qui ne permettent pas de couvrir tout le paysage et restent plus subjectives et consommatrices de temps, même si elles s'avèrent être indispensables pour valider la donnée satellitaire.

Le nombre de satellites mis sur orbite augmente de façon crescendo, avec de plus en plus de microsattellites pour répondre au besoin d'observer à la loupe notre paysage. En cumulant toutes ces informations, il est possible d'obtenir un suivi fin des prairies. Cependant, la qualité des données satellitaires est parfois inégale et seuls les satellites dont les données radiométriques sont de qualité et corrigées de l'atmosphère permettent de répondre au besoin pour en tirer des vrais enseignements. C'est le cas de la série des satellites Sentinel-2 dont les acquisitions se font dans le visible et l'infrarouge.

L'objectif du travail qui est présenté ici est de voir si l'albédo d'une prairie est effectivement supérieur à toutes les autres unités du paysage rural. Ce n'est parfois pas le cas par rapport à certaines cultures. Mais une culture a la vie courte et il survient ensuite une période de sol nu alors que les prairies revêtent un caractère pérenne. Si bien qu'au final les prairies sont sans concurrence à l'échelle de l'année au regard du pouvoir réfléchissant des surfaces, participant ainsi au réfléchissement du rayonnement solaire vers l'espace et à la baisse locale de la température.

Matériel et méthode

Le satellite Sentinel-2 pour observer

La mission Sentinel-2 est composée de deux satellites identiques, Sentinel-2A et Sentinel-2B, dont le premier exemplaire (Sentinel-2A) a été mis sur orbite le 22 juin 2015 et le second exemplaire (Sentinel-2B) le 6 mars 2017 (Drusch et al. 2012). Chacun de ces satellites pèse environ 1,2 tonne et leur durée de vie est d'environ 7 ans, bien que la durée d'exploitation pourrait avoisiner les 12 ans. Les deux satellites fonctionnent simultanément. Ils sont positionnés à une altitude de vol de 786 km et sont sur une orbite héliosynchrone, c'est-à-dire qu'ils passent au dessus d'un même point à la même heure (Figure 1). L'instrument multi-spectral (MSI pour MultiSpectral Instrument) embarqué sur le satellite Sentinel-2 mesure, de manière passive, la lumière solaire réfléchi par la Terre, communément appelée réflectance. Les données sont acquises par l'instrument au fur et à mesure que le satellite se déplace sur sa trajectoire orbitale, i.e. par défilement (Figure 1).

A eux deux, les satellites Sentinel-2 A&B contribuent à la revisite d'un site tous les 5 jours en moyenne sous conditions de ciel clair. La taille du pixel, soit la résolution spatiale de l'instrument MSI embarqué, est de 10, 20 ou 60 mètres selon les bandes spectrales. Des bandes spécifiques sont utilisées pour supprimer les effets de l'atmosphère tels que la colonne d'air (corrections de la diffusion moléculaire), des aérosols, et des gaz absorbants (Baetens et al. 2019). Les observations corrigées des effets atmosphériques sont des réflectances de surface. Elles se déclinent par bande spectrale et permettent d'estimer l'albédo de surface. La résolution spatiale de Sentinel-2 est compatible avec la taille du parcellaire agricole

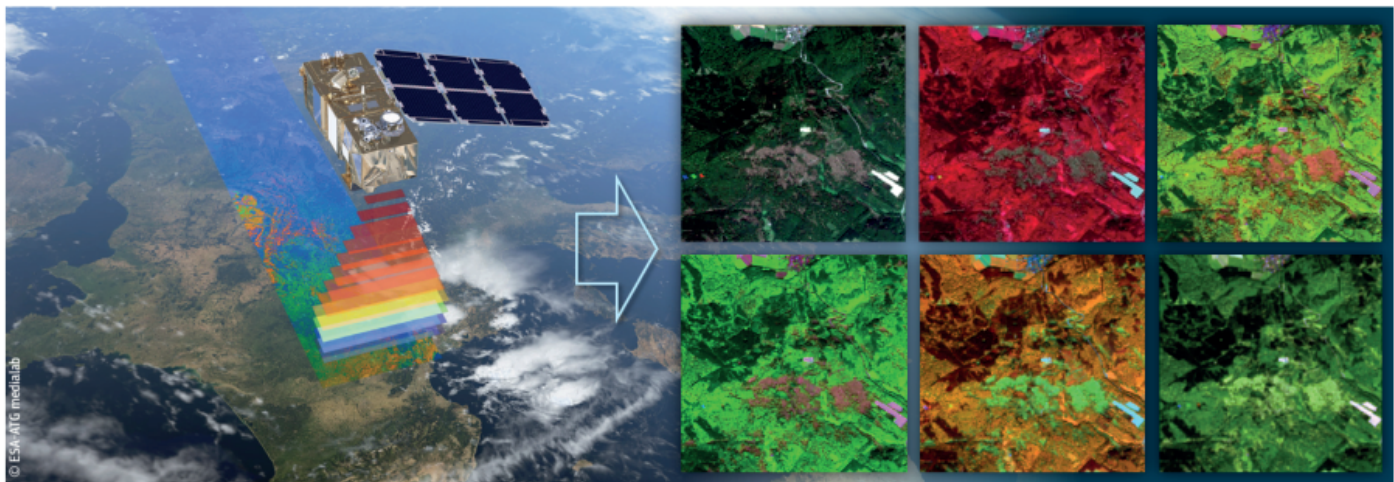


Figure 1 : Représentation artistique de Sentinel-2. À droite : Image du Taunus (Hesse), chacune dans une combinaison différente (rouge-vert-bleu, RVB) de différentes bandes spectrales (source <https://learn.opengeoedu.de/>).
Figure 1 : Artistic representation of Sentinel-2. Right: Image from the Taunus (Hesse), each in a different combination (red-green-blue, RGB) of different spectral bands (source <https://learn.opengeoedu.de/>).

français, et dans bien des cas offre même un descriptif intra-parcel- laire. Un exploitant peut donc connaître l'homogénéité de sa par- celle et en tirer des enseignements vis-à-vis de son rendement. Le satellite peut mettre typiquement en exergue les zones de moindre pousse herbeuse, dues à un sol moins riche ou à un sol apte à s'as- sécher, ou bien encore la présence d'adventices.

L'albédo pour mesurer le pouvoir réfléchif

L'albédo est la capacité intrinsèque réfléchissante d'une sur- face, c'est-à-dire le rapport du flux d'énergie lumineuse réfléchie au flux d'énergie lumineuse incidente. Il s'agit d'une grandeur sans dimension, variant entre 0 et 1 (Mischler *et al.*, 2022, Mischler *et al.*, ce numéro de Fourrages). Contrairement à la réflectance qui correspond à une quantité de lumière réfléchie observée dans un angle solide, l'albédo intègre la lumière réfléchie dans toutes les directions montantes.

La réflectance mesurée par le satellite sert à estimer les albédos dans les domaines de longueur d'onde du visible et de l'infrarouge (LI et al. 2018, Lin et al. 2022, Chen et al. 2023). En combinant ceux-ci, on peut alors calculer l'albédo solaire (Bonafoni et Se- kertekin, 2018), qui est celui utilisé pour évaluer la part de rayonne- ment absorbée ou réfléchie par la parcelle. On estime tout d'abord un albédo instantané, ce qui correspond à une moyenne angulaire des réflectances sur toutes les directions d'observation pour un ho- raire de la journée. Usuellement, on calcule ces albédos instantanés le plus souvent au midi solaire car c'est à ce moment là que l'on obtient un maximum de lumière. La moyenne des albédos horaires fournit l'albédo journalier qui est le produit le plus utilisé car il est représentatif du pouvoir réfléchif d'une surface à l'échelle annuelle.

La méthode pour calculer l'albédo

La méthode de calcul de l'albédo présentée ici a été appliquée au préalable aux données PROBA-V (Roujean *et al.*, 2018). PRO- BA-V est un satellite européen d'observation au quotidien de la planète dans le domaine réfléchif à la résolution de 300 mètres. Il a contribué au programme européen Copernicus Global Land Service (<http://land.copernicus.eu/global/>) avant que Sentinel-2 prenne la suite. Les réflectances de Sentinel-2 sont au préalable corrigées des effets d'atmosphère. Cette étape est indispensable pour obtenir un signal correspondant uniquement aux propriétés de la surface et soit affranchi de celui des nuages, des aérosols et de la vapeur d'eau. L'estimation des paramètres du modèle d'al- bédos requiert un ensemble d'observations pour le même point. Typiquement des séries temporelles sont nécessaires et doivent inclure la variabilité angulaire des observations pour réduire les in- certitudes. On accumule des données Sentinel-2 au fil du temps, en général sur de courtes périodes de temps de sorte que la végé- tation évolue peu. Le produit sortant est un albédo moyen repré- sentatif de la période temporelle étudiée.

Comme la plupart du temps on ne dispose pas de suffisamment

de mesures pour estimer l'albédo, on doit utiliser un modèle. Le modèle est calibré sur les données d'observation puis utilisé pour simuler les données manquantes. Ainsi, l'albédo est estimé à par- tir de nombreuses données dont la plupart simulées. La calibra- tion du modèle s'effectue par domaine de longueur d'onde car les processus de diffusion de la lumière diffèrent entre le visible et l'infrarouge. Les albédos obtenus correspondent à des estimations horaires et journalières. Ils sont convertis en albédo solaire selon une relation qui dépend de la nature de la cible.

Résultats

Validation des albédos estimés

L'albédo satellitaire doit être validé avec des données in- situ. Pour cela, on utilise les mesures issues des albedomètres positionnés sur six prairies françaises réparties géographiquement sur le territoire national (Mischler *et al.*, 2022, voir papier de Mischler et al. dans ce numéro). Ces prairies sont situées sur des fermes expérimentales et l'instrumentation a été acquise grâce au projet ALBEDO-prairies financé par le CASDAR (Compte d'Affectation Spécial Développement Agricole et Rural). Les mesures satellitaires où sont positionnés les albedomètres sont directement comparées aux mesurées in-situ obtenues avec ceux-ci. Il s'agit d'albedomètres à ondes courtes mesurant dans le spectre lumineux de de 300nm à 300µm. Les données in-situ sont sélectionnées avec un intervalle de temps inférieur à 30 min de l'observation satellitaire.

Les résultats statistiques donnent un biais de -0,01 et un écart type de 0,02 en unités de réflectance (Figure 2), ce qui reste proche de la précision attendue par le GCOS, soit de 5 % pour un albédo supérieur à 0.05 (Ohring et al. 2005, GCOS ECVs Requirements).

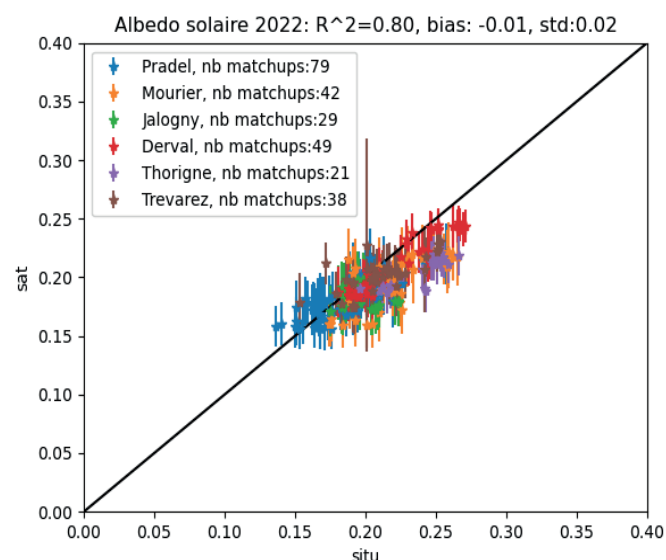


Figure 2 : Comparaison des albédos satellitaires Sentinel-2 (sat) avec les données sol (situ) pour la période juin-septembre 2022. Les barres verticales représentent les incertitudes associées au estimations (Roujean et al 2018).

Figure 2 :Comparison of Sentinel-2 satellite albedos (sat) with ground data (situ) for the period June-September 2022. The vertical bars represent the uncertainties associated with the estimates (Roujean et al 2018).

Séries temporelles

Les données *in situ* d'albédo servent à mesurer, analyser et interpréter les effets de gestion (ex. de la fauche) et de l'occupation du sol (culture vs prairie). Pour s'assurer de la pertinence de l'albédo satellitaire, on doit vérifier qu'il reflète le comportement de la parcelle.

La ferme expérimentale du Pradel en Ardèche se caractérise par une pluviométrie faible et un grand nombre de journée claires. Sur la Figure 3, on note que la présence de nuages prive de données spatiales (courbe verte en bas de la figure) et que si la pluie est présente, l'albédo diminue ensuite à cause de l'assombrissement du sol mouillé. Le vent, autant que la température de l'air, est un facteur d'assèchement du sol et cause un retour de l'albédo à sa valeur haute. Le vent peut aussi modifier la structure de la végétation pour laisser paraître plus de sol. On note que la dynamique d'albédo ne suit pas toujours l'essor de la végétation matérialisé par l'indice de végétation NDVI (pour Normalized Difference Vegetation Index), défini comme la différence normalisée entre les albédos visible et infrarouge. Ceci tient au fait que l'albédo de la parcelle est influencé par le sol nu. On note que l'albédo satellitaire reproduit de façon fiable l'albédo *in situ*.

Comparaison entre unités du paysage

Dans un contexte de changement global du climat de notre planète, il paraît indispensable de déterminer le rôle de chaque entité qui compose nos paysages ruraux. Pour cela, on réalise des estimations du forçage radiatif de façon à savoir si la tendance est

au refroidissement ou au réchauffement, ce qui est lié à la valeur de l'albédo. Un changement de 1 % de l'albédo a un effet radiatif de 3.4 W/m² (Boussetta et al. 2015, Ceschia et al. dans ce numéro). C'est une notion très relative car seules les surfaces blanches possèdent un albédo très élevé. C'est le cas par exemple d'une neige fraîche qui a un albédo proche de 1, ce qui signifie que la majorité du rayonnement est renvoyée par la surface. A titre de comparaison, l'asphalte possède un albédo compris entre 0,05 et 0,15, soit seulement 15 % du rayonnement réfléchi. Il contribue donc au stockage de la chaleur. Les prairies ont un albédo plus élevé, autour de 0,20 et plus, ce qui n'est pas le cas de la plupart de leurs sols qui réfléchissent peu la lumière et stockent en conséquence l'énergie.

La Figure 4 illustre les cartes d'albédo Sentinel-2 pour trois fermes expérimentales situées dans des régions contrastées du point de vue du climat et de la distribution des entités du paysage. La période choisie est juin-septembre 2022. On peut voir que les cartes d'albédo satellitaires montrent une assez bonne dynamique spatiale, entre 0.10 et 0.20 (cartes du haut) et aussi qu'il existe une bonne variabilité locale de l'occupation des sols selon la classification OSO (Occupation des SOs),(<https://www.theia-land.fr/ceslist/ces-occupation-des-sols/>) de l'année 2022 construite à partir des données Sentinel-2 (cartes du milieu). L'organisation des cartes d'albédos par classe d'occupation des sols fait ressortir la prépondérance des prairies (cartes du bas). La période d'étude n'est pas la plus propice pour mettre en valeur totalement les prairies car durant l'été certaines cultures peuvent se montrer concurrentielles au regard des fortes valeurs d'albédo. Cependant, la durée de vie de ces cultures est courte, contrairement aux prairies pérennes, si

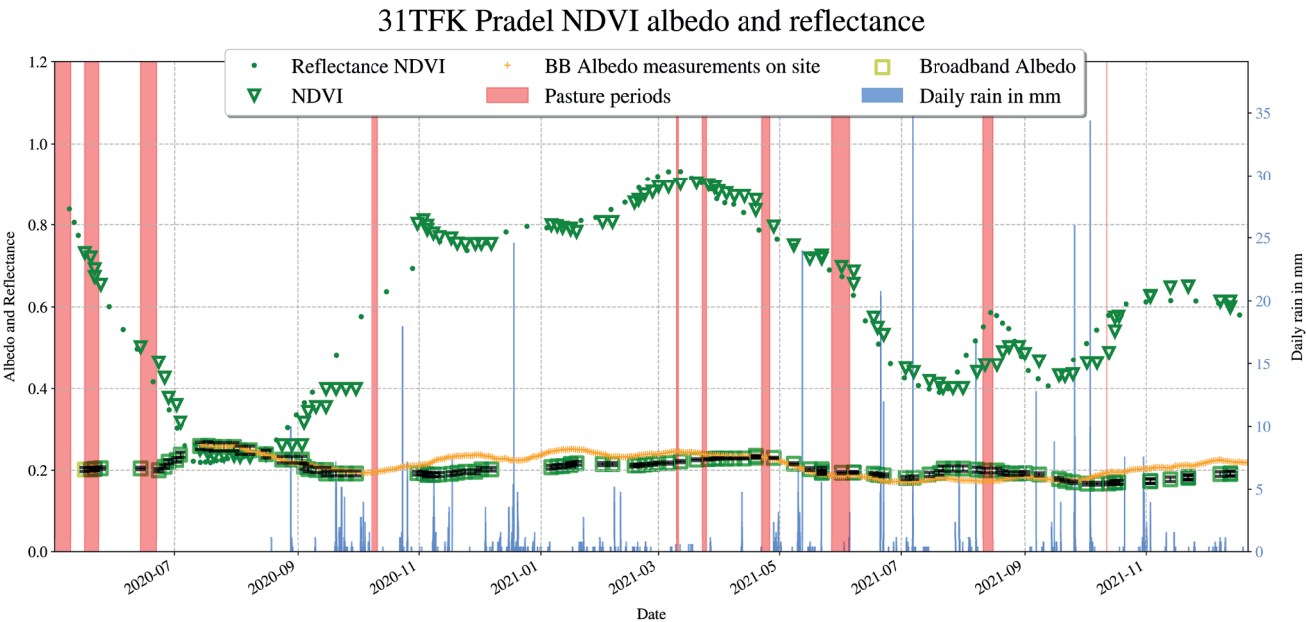


Figure 3 : Série temporelle d'albédo satellitaires pour la ferme expérimentale de Pradel (Ardèche). Les points verts sont le NDVI « classique », les triangles verts sont le NDVI « albédo », il y a donc une sorte de moyenne en jeu. Les carrés représentant l'albédo satellitaires sont colorés en fonction de leur indice de confiance (ici ils sont tous verts car il y avait beaucoup d'observations satellitaires). Les points jaunes représentant l'albédo mesuré sur la prairie sont filtrés : un filtre de moyenne glissante de 10 jours est appliqué pour rendre les données plus comparables.

Figure 3 : Satellite albedo time series for the Pradel experimental farm (Ardèche). The green dots are the "classic" NDVI, the green triangles are the "albedo" NDVI, so there's a kind of average involved. The squares representing satellite albedo are coloured according to their confidence index (here they are all green, as there were many satellite observations). The yellow dots representing the albedo measured on the prairie are filtered: a sliding average filter of 10 days is applied to make the data more comparable.

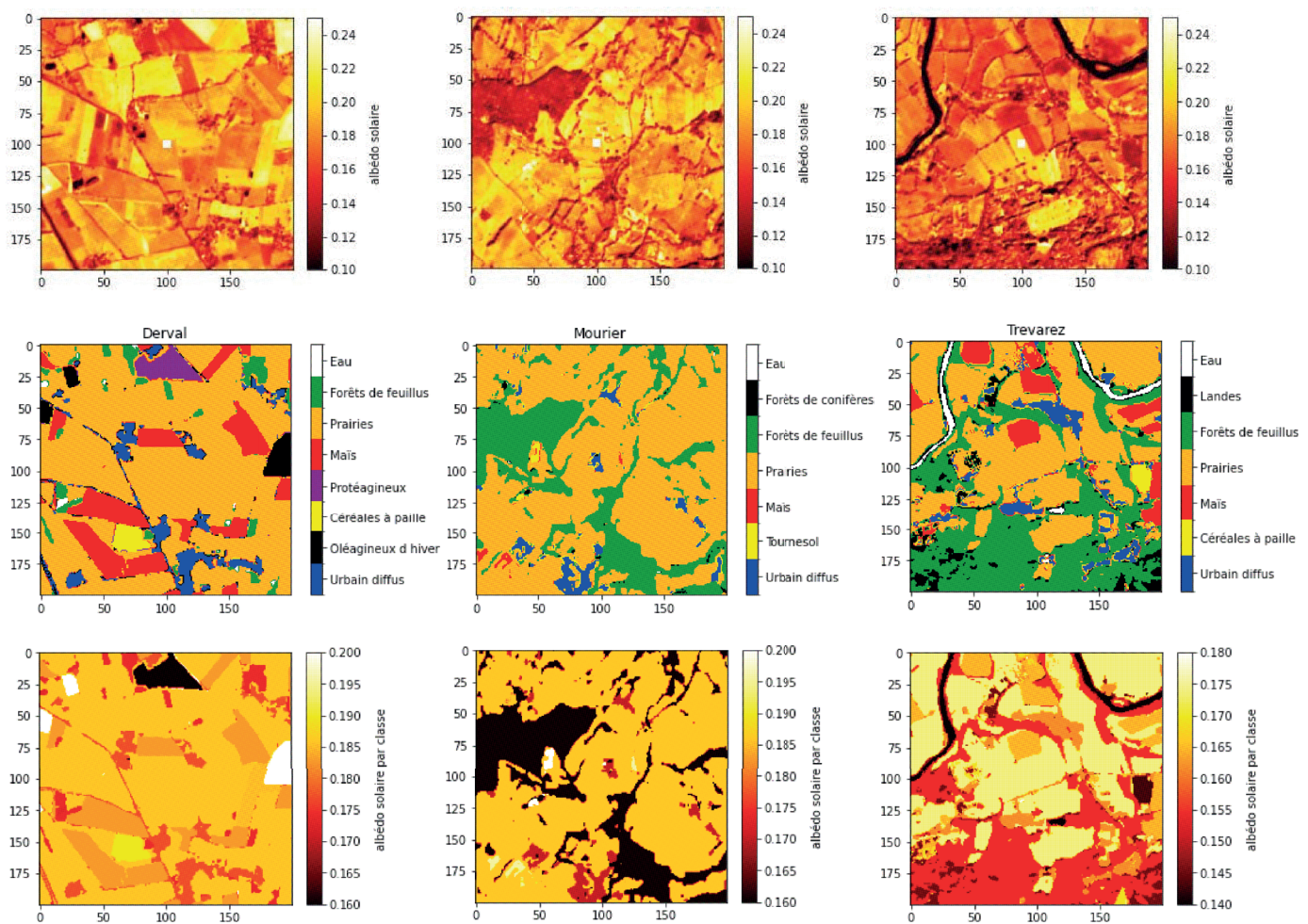


Figure 4 – Cartes des albédos solaires satellitaires (haut), des classes OSO (milieu), et des albédos satellitaires structurés par classe OSO pour 3 fermes expérimentales. De gauche à droite : Derval (Loire Atlantique), Mourier (Haute-Vienne), Trevarez (Finistère).
Figure 4 - Maps of satellite solar albedos (top), OSO classes (middle), and satellite albedos structured by OSO class for 3 experimental farms. From left to right: Derval (Loire Atlantique), Mourier (Haute-Vienne), Trevarez (Finistère).

bien que la prairie ne trouve pas d'équivalent au regard du bilan annuel. Le tableau 1 révèle que pour la ferme expérimentale de Derval (département de l'Ille-et-Vilaine), la prairie est dominante en représentation et en albédo. Pour la ferme expérimentale du Mourier (Haute-Vienne), l'albédo du maïs est légèrement supérieur à celui des prairies. Cependant, sa présence est faible dans le temps et dans l'espace comparativement aux prairies. Pour la ferme expérimentale de Trevarez (Finistère), la présence des prairies rentre en concurrence avec celle des forêts de feuillus qui ont cependant un albédo plus faible.

La météorologie joue aussi son rôle car la pluie assombrit le sol et certains sols s'assèchent plus vite que d'autres selon le vent et la température. Le facteur géographique joue donc pleinement son rôle. On voit aussi que la prairie a un pouvoir réfléchissant bien supérieur à celui des forêts dont les plantations sont recommandées pour fixer le carbone.

Discussion

L'albédo représente l'une des deux composantes du rayonnement net, soit le rayonnement absorbé par la surface. L'autre composante est le rayonnement solaire, qui varie selon le lieu géographique et la saison. Ainsi, un albédo fort a peu d'intérêt si le rayonnement solaire est faible et réciproquement. Le forçage radiatif étant une combinaison des deux composantes, celui des prairies est conditionné par l'insolation saisonnière.

Les prairies évoluent généralement lentement en dehors des périodes de pâturage et sont rapidement affectées par les périodes de sécheresse car leurs racines sont courtes et celles-ci ne peuvent puiser l'eau en profondeur. A noter que pour les cas où l'ombrage des sols est faible, cas comme c'est le cas des prairies éparées, dans ce cas le sol exerce un pouvoir réfléchitif non négligeable. Il convient de rappeler que l'albédo solaire d'une prairie sèche ne change pas radicalement par rapport à celui d'une prairie verte. Une prairie verte a un albédo plus faible qu'une

	Prairies	Maïs	Forêts de feuillus
Derval	0,1866 (0,0370) [79,06 %]	0,1836 (0,0169) [16,88 %]	0,1663 (0,0319) [4,05 %]
Mourier	0,1859 (0,0358) [74,63 %]	0,1955 (0,0165) [0,537 %]	0,1604 (0,0255) [24,83 %]
Trevarez	0,1699 (0,0502) [51,79 %]	0,1650 (0,0171) [9,20 %]	0,1547 (0,0294) [39,00 %]

Tableau 1 : Valeur de l'albédo en moyenne par classe et son écart type (en parenthèse) pour trois unités majeures du paysage agro-forestier. Il est reporté leur taux de présence relatif.

Table 1 : Average albedo value per class and its standard deviation (in parentheses) for three major units of the agro-forestry landscape. Their relative presence rate is reported

prairie jaunie dans le visible à cause de l'absorption par les pigments de la feuille. C'est le contraire qui se passe dans l'infrarouge car une feuille verte diffuse plus efficacement la lumière qu'une feuille jaunie, permettant ainsi d'accroître le taux de lumière réfléchi. Si bien que les albédos visible et infrarouge se compensent, ce qui conduit à un albédo solaire déduit de la moyenne des albédos visible et infrarouge plutôt stationnaire.

Les résultats obtenus sont prometteurs, avec l'objectif d'utiliser l'albédo satellitaire en tant que quantificateur du service rendu par les prairies dans le rafraîchissement local. Cela vaut à l'échelle du territoire régional mais également national. Il convient donc de promouvoir l'albédo comme un levier d'atténuation du réchauffement climatique de par son pouvoir réfléchissant.

Le passage au non-labour sur toute l'Europe pourrait entraîner un effet refroidissant local allant jusqu'à 2°C les jours d'été les plus chauds. Cet effet refroidissant propre à l'albédo serait même plus élevé s'il n'était pas compensé par une diminution de l'évaporation (par effet mulch) au profit des flux de chaleur en surface.

Conclusion

Grâce à un albédo plus élevé en moyenne que les autres entités rurales, les prairies jouent un rôle déterminant sur le forçage radiatif du fait de leur pouvoir réfléchissant dans l'infrarouge. Un tel phénomène doit être évalué à l'échelle du paysage afin de démontrer que les mesures satellitaires s'avèrent indispensables pour en tirer des bilans radiatifs spatialisés. Si les prairies n'exercent pas nécessairement un effet de refroidissement par rapport aux cultures environnantes telles que le maïs en pleine croissance, leur durée de vie les rend toutefois attrayantes sur le long terme. Les résultats de cette étude sur l'albédo participent au soutien d'une agriculture durable pour l'élevage, dans laquelle la végétation (ici les prairies) constitue un levier d'atténuation du réchauffement, au même titre que le sol (stockage du carbone) et l'atmosphère (réduction des gaz

à effet de serre).

Remerciements

Les auteurs remercient le programme CASDAR pour le financement du projet ALBEDO-prairies qui a permis la mise au point de la méthode de calcul de l'albédo satellitaire. Les auteurs remercient Pierre Mischler (IDELE) pour son rôle dans la gestion du projet.

Les produits albédos Sentinel-2 sont en ligne (<https://thisme.cines.teledetection.fr/home>).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Baetens L., Desjardins C., Hagolle O. (2019). Validation of copernicus Sentinel-2 cloud masks obtained from MAJA, Sen2Cor, and FMask processors using reference cloud masks generated with a supervised active learning procedure, Remote Sensing, 11(4), 433.

Bonafoni S., et Sekertekin A. (2020). Albedo retrieval from Sentinel-2 by new narrow-to-broadband conversion coefficients, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 17(9), 1618-1622.

Boussetta S., Balsamo G., Dutra E., Beljaars A., Albergel C. (2015). Assimilation of surface albedo and vegetation states from satellite observations and their impact on numerical weather prediction, Remote Sensing of Environment, 111-126. DOI:10.1016/j.rse.2015.03.009

Ceschia E. (2024). La gestion de l'albédo des surfaces continentales: un levier d'atténuation du changement climatique ?, Fourrages 257, 29-40.

Chen, H.; Lin, X.; Sun, Y.; Wen, J.; Wu, X.; You, D.; Cheng, J.; Zhang, Z.; Zhang, Z.; Wu, C.; et al. Performance Assessment of Four Data-Driven Machine Learning Models: A Case to Generate Sentinel-2 Albedo at 10 Meters. Remote Sensing, 2023, 15, 2684. <https://doi.org/10.3390/rs15102684>

Drusch, M.; Del Bello, U.; Carlier, S.; Colin, O.; Fernandez, V.; Gascon, F.; Hoersch, B.; Isola, C.; Laberinti, P.; Martimort, P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. Remote Sensing of Environment, 2012, 120, 25-36.

GCOS-154 (2022). Systematic Observation Requirements for Satellite-based Products for Climate Supplemental details to the satellite-based component of the Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC - 2016 Update, WMO, Geneva, Switzerland.

Li, Z.; Erb, A.; Sun, Q.; Liu, Y.; Shuai, Y.; Wang, Z.; Boucher, P.; Schaaf,

- C. Preliminary assessment of 20-m surface albedo retrievals from sentinel-2A surface reflectance and MODIS/VIIIRS surface anisotropy measures. *Remote Sensing Environment*, 2018, 217, 352–365.
- Lin, X.; Wu, S.; Chen, B.; Lin, Z.; Yan, Z.; Chen, X.; Yin, G.; You, D.; Wen, J.; Liu, Q. Estimating 10-m land surface albedo from Sentinel-2 satellite observations using a direct estimation approach with Google Earth Engine. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2022, 194, 1–20.
- Ohring, G., Wielicki, B., Spencer, R., Emery, B., & Datta, R. (2005). Satellite instrument calibration for measuring global climate change: Report of a workshop. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(9), 1303-1314.
- Mischler P., Ferlicoq M., Ceschia E., et Kerjose E., (2022). L'albédo, un levier d'atténuation du changement climatique méconnu : quel potentiel d'atténuation pour les prairies ? publié dans la revue *Fourrages* 251, pages 1 à 16.
- Mischler P., Ceschia E., Ferlicoq M. (2024). Contribution de l'albédo de prairies gérées, pour contribuer à l'atténuation du changement climatique, *Fourrages* 257, 41-56.
- Roujean, J.L., J. Leon-Tavares, B. Smets, P. Claes, F. Camacho de Coca, J. Sanchez-Zapero, Surface albedo and TOC-R 300M products from PROBA-V instrument in the framework of Copernicus Global Land Service, *Remote Sensing of Environment*, 215, 57-73, 2018.
- World Meteorological Organization. The 2022 GCOS ECVs Requirements; GCOS-245; World Meteorological Organization: Geneva, Switzerland, 2022.