

LA GESTION DE L'ALBÉDO DES SURFACES CONTINENTALES : UN LEVIER D'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

Résumé

Cet article dresse un état des connaissances relatives à l'albédo des surfaces continentales et à son impact sur le climat. Il identifie quelques leviers mobilisables en agriculture (grandes cultures et prairies) pour intégrer l'albédo dans les itinéraires de gestion à des fins d'atténuation. Nous nous sommes en particulier intéressés à la façon dont les changements d'albédo de surface induits par l'homme interviennent dans l'évolution actuelle du climat et aux raisons pour lesquelles les méthodes de gestion de l'albédo ont été peu considérées jusqu'à présent dans les stratégies d'atténuation des changements climatiques. Nous avons aussi analysé les déterminants des dynamiques d'albédo pour les agroécosystèmes et exploré quelques pistes concernant la gestion de l'albédo des surfaces continentales étudiées ces dernières années par la communauté scientifiques. Cette étude met en lumière le fort potentiel d'atténuation des changements climatiques par les agroécosystèmes via les effets albédo. Elle identifie également un manque de connaissances important concernant les prairies plus spécifiquement et des besoins en recherche pour établir des stratégies d'atténuation plus efficaces dans les systèmes d'élevage.

Summary

Managing the albedo of the continental surfaces: a lever for climate change mitigation ?

This article aims to draw up a state of the art on the albedo of continental surfaces and its impact on the climate to identify what would be in agriculture (cropland and grasslands) the levers available to manage albedo for climate mitigation, but also the knowledge gaps. We have therefore focused on how human-induced surface albedo changes affect current climate change and why albedo management methods have been little considered in strategies for climate change mitigation. We have also analyzed the drivers of albedo dynamics for agroecosystems and the approaches to manage the albedo of continental surfaces studied in recent years by the scientific community. This study highlights the strong potential of agroecosystems to mitigate climate change through albedo effects but a significant lack of knowledge about grasslands specifically and research needs to establish strategies more effective for climate change mitigation in livestock systems.

Article accepté pour publication le 05 février 2024.

Auteurs

E. Ceschia¹, M. Ferlicoq¹, P. Mischler², J.-L. Roujean¹

1 : CESBIO, Université de Toulouse, CNES/CNRS/INRAE/IRD/UPS, Toulouse, France

2 : Institut de l'Elevage, Amiens, pierre.mischler@idele.fr

Mots clés

Atténuation du changement climatique, prairie, cultures, changements de pratiques, forçage radiatif

Key words

Climate change mitigation, grassland, ruminant, management changes, radiative forcing

Pour citer cet article

Ceschia E., Ferlicoq M., Mischler, P., Roujean J.-L.. (2024). La gestion de l'albédo des surfaces continentales: un levier d'atténuation du changement climatique ?. *Fourrages* 257, 29-40.

Introduction

La terre reçoit de l'énergie sous forme de rayonnement solaire mais une partie de cette énergie est réfléchi par l'atmosphère et par la surface terrestre (Figure 1). L'albédo d'une surface se définit comme le rapport entre le rayonnement réfléchi par cette surface et le rayonnement solaire qu'elle reçoit dans la gamme des longueurs d'ondes allant de 300 à 2500 nm. C'est un nombre sans dimension (sans unité). Les surfaces blanches ont un albédo proche de 1 (l'essentiel du rayonnement solaire incident est réfléchi), tandis que les surfaces sombres ont un albédo proche de 0 (on parle de corps noir pour les surfaces qui absorbent tout le rayonnement). L'albédo de la terre dans son ensemble est une combinaison de l'albédo de son atmosphère et de ses surfaces océaniques et terrestres. L'albédo de la Terre détermine au premier ordre l'énergie qui restera disponible pour chauffer l'air, les océans, les surfaces, mais aussi pour faire évaporer de l'eau, faire transpirer ou photosynthétiser les plantes. Le reste sera renvoyé vers l'espace. Une partie de l'énergie solaire retenue par les surfaces sera réémise sous forme de rayonnements infrarouges qui interagiront avec les

Gaz à Effet de Serre (GES) présents dans l'atmosphère et à son tour l'atmosphère renverra de l'énergie vers la surface sous forme de rayonnement infra-rouge. C'est l'effet de serre. Ces différents processus sont résumés par la Figure 1.

L'albédo de la surface terrestre est affecté par de nombreux facteurs en dehors de l'atmosphère (Yoon *et al.*, 2019 ; Bauer *et al.*, 2012) et des conditions nuageuses (He *et al.* 2019). On peut notamment citer :

- l'angle zénithal¹ du rayonnement solaire (Yang *et al.*, 2008 ; Cierniewski *et al.*, 2015 ; Rautiainen *et al.*, 2011),
- les propriétés de sol (Coulson, 1966 ; Post *et al.* 2000 ; Dobos, 2003 ; Carrer *et al.*, 2018),
- le type de végétation (Jiao *et al.*, 2018 ; Jiao *et al.*, 2022 ; Zhang *et al.*, 2022),
- la couverture neigeuse (Kokhanovsky *et al.*, 2004 ; Kaye & Quemada, 2017 ; Jiao *et al.* 2019 ; Hunter *et al.*, 2019) ou
- la topographie (Wen *et al.* 2014)

L'occupation du sol et les activités anthropiques associées (agriculture, forêt, infrastructure,...) à ces surfaces, impactent le climat via des processus biogéochimique d'émission ou d'absorption de gaz à effet de serre (GES), et via des processus biogéophysique :

1 Angle par rapport à un segment qui serait défini par un point à la surface et un point à sa verticale.

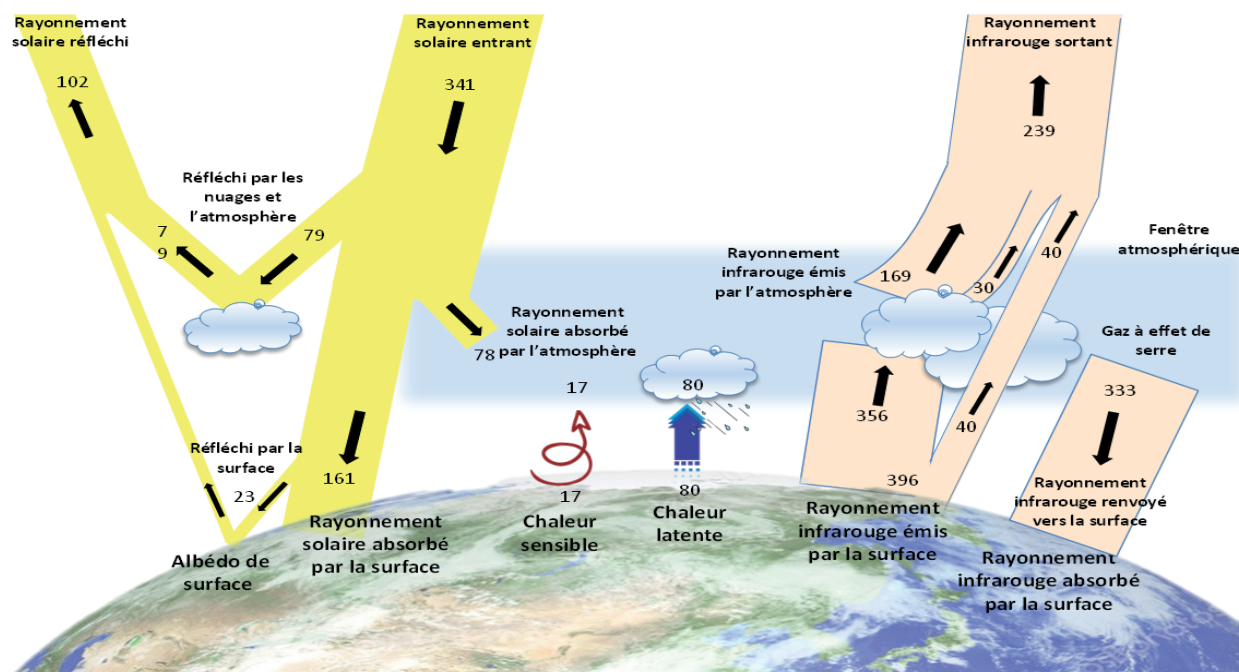


Figure 1 : Représentation simplifié des flux d'énergie entrant et sortant du système terre, aux interfaces surface atmosphère et au sein de l'atmosphère. A long terme, la quantité de rayonnement solaire entrant absorbé par la Terre et par l'atmosphère s'équilibre grâce aux surfaces terrestres et à l'atmosphère qui dégagent une quantité équivalente de rayonnement sortant à grande longueur d'onde. Près de la moitié du rayonnement solaire entrant est absorbé par la surface de la Terre. Cette énergie est retransmise vers l'atmosphère grâce au réchauffement de l'air à la surface (flux de chaleur sensible) ou via l'évapotranspiration (lux de chaleur latente), ainsi que par les rayonnements à grande longueur d'onde (infrarouge) qui sont absorbés par les nuages et les gaz à effet de serre. À son tour, l'atmosphère renvoie l'énergie à grande longueur d'onde vers la Terre, ainsi que vers l'espace. Les chiffres représentent la valeur moyenne sur l'année et sur l'ensemble du globe en Watts par mètre carré de chaque processus représenté. Figure adaptée du rapport du GIEC (2007).

Figure 1: Simplified representation of the energy fluxes in and out of the Earth system, at the atmosphere-surface interfaces and within the atmosphere. In the long term, the amount of incoming solar radiation absorbed by the Earth and the atmosphere balances with the Earth's surfaces and atmosphere, which emits an equivalent amount of outgoing radiation at long wavelengths (infrared radiation). Nearly half of the incoming solar radiation is absorbed by the Earth's surface. This energy is transmitted to the atmosphere by heating the air at the surface (sensible heat flux) or by evapotranspiration (latent heat flux), as well as by long-wavelength radiation (infrared) that are absorbed by clouds and greenhouse gases. In turn, the atmosphere emits long-wave energy back to Earth, as well as towards space. The figures represent the average value over the year and over the entire globe in Watts per square meter of each process represented. Adapted from the IPCC report (2007).

ex. variations albédo, rayonnement d'énergie sous forme d'infrarouges, flux de chaleur dans le sol, flux de chaleur sensible (ce sont les tourbillons d'air chaud) et flux de chaleur latente (c'est l'énergie consommée pour faire passer de l'eau liquide en vapeur quand il y a évaporation ou transpiration d'eau par une plante). Chaque changement d'occupation du sol ou d'usage des terres (ex. déforestation, urbanisation ou conversion d'une prairie en culture) mais aussi chaque changement de pratique agricole (ex. introduction de cultures intermédiaires versus intercultures en sol nu) entraîne des modifications des flux de GES, d'énergie et d'eau, qui impactent les climats locaux et globaux (Georgescu *et al.*, 2011). Ainsi, Betts (2000) et Rotenberg & Yakir (2010) avaient illustré l'importance de considérer conjointement les effets biogéochimiques et biogéophysiques dans les stratégies d'atténuation en démontrant respectivement que l'afforestation² (implantation de nouvelles forêts) dans les zones de toundra et en contexte méditerranéen entraînaient des chutes très significatives d'albédo, causant un forçage radiatif positif (effet réchauffant sur le climat) qui ne serait compensé par le stockage de C dans la biomasse des forêts qu'au bout de 120 et 80 ans, respectivement. En zone de toundra, la chute d'albédo est liée au fait que des zones couvertes par des surfaces lisses enneigées (qui ont un albédo très élevé) sont remplacées par des zones boisées dont la canopée retient moins bien la neige et donc la structure imposante piège plus de rayonnement. En contexte méditerranéen, la végétation naturellement basse piège moins la lumière que des forêts et couvre moins le sol qui est souvent très clair (par exemple les sols calciques).

Plusieurs études ont montré que les changements d'usage des terres jouent un rôle déterminant dans la régulation des flux d'énergie de surface et sur les cycles hydrologiques, affectant le climat à travers différentes échelles spatiales et temporelles (Betts, 2007 ; Jackson *et al.* 2008 ; Marland *et al.*, 2003 ; Pielke *et al.*, 2002). Les changements d'utilisation des terres, qu'ils soient naturels ou d'origine anthropiques, modifient le forçage radiatif (c'est à dire l'énergie du système Terre-atmosphère) à des échelles régionales en modifiant l'albédo de surface et les bilans d'énergie de la basse atmosphère (Charney *et al.* 1977 ; Bonan *et al.* 1992 ; Henderson-Sellers *et al.* 1993 ; Xue and Shukla 1993 ; Myhre and Myhre 2003). Par exemple, en zone tropicale, la plupart des études indiquent que la déforestation conduit à un réchauffement de la surface pendant la journée (Bonan, 2008). L'effet dominant contrôlant ce réchauffement est la diminution de l'évapotranspiration et une augmentation du flux de chaleur sensible³ due à la plus faible efficacité d'extraction de l'eau du sol par les plantes herbacées cultivées. Ces effets ne sont pas compensés par l'accroissement de l'albédo lié à la déforestation dans ces zones. D'un point de vue hydrique, la déforestation peut aussi conduire à une diminution des précipitations si elle s'effectue à relativement grande échelle. Le déficit d'évaporation des cultures

par rapport aux forêts tropicales explique cette diminution du recyclage des eaux de pluie. Dans les régions tempérées ou boréales l'effet net de la déforestation peut au contraire conduire à un refroidissement du climat (Bonan *et al.*, 1992, 1995 ; Hansen *et al.*, 1998 ; Bounoua *et al.*, 2002). Dans ce cas c'est l'effet alédo qui domine. Enfin, d'autres études ont analysé les effets sur l'albédo de surface liés à la conversion de prairies par des cultures dans la région des Grandes Plaines des Etats-Unis (Eastman *et al.*, 2001), ou bien liés à la conversion de zones agricoles par des serres dans le sud de l'Espagne (Muñoz *et al.*, 2010). Cette dernière étude a mis en évidence des augmentations importantes de l'albédo de surface liées à l'implantation des serres mais ces changements de mode de production posent évidemment d'autres questions environnementales, sociales et économiques.

En moyenne, les changements d'usages des terres ont engendré une variation d'albédo à l'origine d'un Forçage Radiatif (FR) négatif de -0.15 W.m^{-2} (d'après le rapport IPCC de 2013). Cela signifie qu'ils ont eu dans l'ensemble une contribution nette refroidissante sur le climat via un accroissement moyen d'albédo. Une partie de cet effet refroidissant peut être attribué à la déforestation et à l'urbanisation qui entraînent un accroissement des albedos de surface (mais aussi de forts déstockages de C et d'importantes émissions de GES). Ce chiffre moyen résulte également de changements d'usage des terres ayant parfois entraînés une diminution de l'albédo de surface (ex. afforestation en zone boréale). Notons aussi que le forçage radiatif moyen induit par les variations d'albédo suite aux changements d'usages des terres reste faible en comparaison de ceux induits par les émissions de GES (soit 3.0 W.m^{-2} d'après ce même rapport du GIEC datant de 2013).

De ce fait, la plupart des efforts d'atténuation du changement climatique ont été axés soit sur la réduction des émissions de GES dont le dioxyde de carbone (CO₂), l'oxyde nitreux (N₂O) ou le méthane (CH₄), soit sur la séquestration du carbone dans les sols et la végétation comme dans le cadre de l'initiative 4 pour 1000 (Chabbi *et al.*, 2017 ; Minasny *et al.*, 2017) lancée par la France lors de la COP21. On parle alors de méthodes CDR, pour Carbon Dioxide Removal. Pourtant, il existe aussi des leviers permettant d'agir sur la quantité d'énergie provenant du soleil (le rayonnement global, R_g) qui reste piégée dans le système terre, et qui contribue au réchauffement climatique, ou sur la façon dont cette énergie va être utilisée (ex. pour produire de la chaleur sous forme de rayonnement thermique qui interagit avec les molécules de GES de l'atmosphère ou pour évaporer de l'eau). Concernant la modulation de l'énergie en provenance du soleil qui est réfléchi vers l'espace, et qui fait l'objet de cet article, on parle de méthodes SRM (pour Solar Radiation Management en anglais). Les méthodes SRM reposent sur une gestion de l'albédo planétaire, en jouant soit sur l'albédo des surfaces continentales, soit sur celui de l'atmosphère.

² Plantation d'arbres dans le but de créer un massif forestier.

³ La quantité d'énergie transportée depuis la surface vers l'atmosphère sous forme de tourbillons d'air chaud.

1. Les raisons de la faible mise en œuvre des méthodes d'atténuation basées sur la gestion de l'albédo

Il existe plusieurs façons d'accroître l'albédo planétaire pour lutter contre le réchauffement climatique. Cependant, comme l'ont fait remarquer plusieurs études (Wigley 2006 ; Goes *et al.*, 2011 ; Smith & Rasch 2013), les méthodes SRM ne semblent viables que si elles sont utilisées conjointement avec des approches CDR. Cela s'explique notamment par le fait que les méthodes SRM ne permettent pas de résoudre le problème de l'acidification des océans engendré par l'accroissement des concentrations atmosphériques en CO₂ et que l'utilisation de certaines méthodes de SRM sans réduction des émissions de GES risquerait d'entraîner des changements climatiques intenses et brutaux si elles étaient arrêtées soudainement (Boucher *et al.*, 2009 ; Brovkin *et al.*, 2009). Ainsi la dispersion d'aérosols sulfatés dans l'atmosphère pour en accroître l'albédo qui avait été proposée par Rasch *et al.* (2008), et qui est une des approches de SRM les plus emblématiques (elle mime en partie ce qui se passe naturellement au moment d'une éruption volcanique), aurait pu avoir des conséquences désastreuses si elle avait mise en œuvre puis soudainement suspendue, sans compter les autres impacts environnementaux pas forcément maîtrisés comme l'accroissement des pluies acides qui pourraient en résulter (Robock *et al.* 2009).

Une autre raison pouvant expliquer le faible intérêt porté aux méthodes SRM jusqu'à ce jour, est que les forçages radiatifs⁴ (FR) induits par les changements d'albédo de surface ont très probablement été sous-estimés par les climatologues comme évoqué par Ferlicoq et Ceschia (2015) et plus récemment par Sieber *et al.* (2019). L'explication réside dans la méthode employée dans les modèles simulant le fonctionnement des surfaces continentales par les climatologues pour calculer le FR induit par un changement d'albédo. En effet, celui-ci est calculé à partir de 3 variables comme indiqué par l'équation 1 ci-après :

$$FR\alpha = -R_g \times TA \times \Delta\alpha \quad (1)$$

Avec FR α le forçage radiatif en W.m⁻² au sommet de l'atmosphère, R_g est le rayonnement solaire incident à la surface, TA la transmittance atmosphérique (qui représente la clarté de l'atmosphère), et $\Delta\alpha$ la différence entre la valeur d' α initiale (avant changement d'occupation du sol ou de pratique) et finale (après changement d'occupation du sol ou de pratique).

Or jusqu'au 5^{ème} rapport du GIEC, les modèles de surfaces des climatologues considéraient une valeur constante d'albédo pour une occupation du sol donné et calculaient les FR α en

considérant des moyennes annuelles de $\Delta\alpha$, de R_g et de TA. Or chacune de ces variables a une dynamique saisonnière propre. Calculer des FR α sur la base de moyennes annuelles des trois variables plutôt qu'en considérant leur dynamique annuelle conduit à une sous-estimation de FR α pouvant aller jusqu'à 96 % en contexte grandes cultures (Ferlicoq et Ceschia, 2015), voire à des FR α de signe inversé selon Sieber *et al.* (2019). La Figure 2 illustre comment avec des moyennes théoriques annuelles de delta d'albédo identiques mais des dynamiques saisonnières différentes, les forçages radiatifs journaliers et moyens annuel peuvent différer entre ces trois cas d'étude. Ces trois dynamiques saisonnières de $\Delta\alpha$ pourraient s'apparenter 1) à un gain d'albédo induit par une culture intermédiaire d'hiver versus un sol nu en interculture pour la courbe orange (l'albédo augmente durant l'automne avec le développement de la végétation et décroît progressivement à partir de janvier à cause d'une destruction progressive par le gel), 2) à un gain d'albédo induit par une culture d'été par rapport à une parcelle qui serait restée en sol nu pour la courbe bleue (le maximum d'albédo coïncide avec le pic de végétation) et 3) à un gain d'albédo induit par le blanchiment des toitures en zone urbaine (dont l'albédo est très stable au long de l'année). Ces trois systèmes bien qu'ayant des albédos moyens similaires ont des forçages radiatifs annuels très différents. Le cas d'étude « culture d'été versus sol nu » a FR α moyen plus négatif sur l'année (effet refroidissement plus important) que les deux autres cas d'étude car le gain d'albédo survient principalement en été au moment où les rayonnements solaires et la transmittance atmosphériques sont les plus forts.

Luyssaert *et al.* (2014) ont montré que les changements de pratiques de gestion ont autant d'impact que les changements d'occupation du sol sur les processus biogéophysiques. Or un frein à la considération des méthodes SRM pour l'atténuation réside dans l'incapacité de la plupart des modèles de surfaces des climatologues à simuler de manière réaliste les systèmes agricoles et notamment à analyser les effets sur le climat des processus biogéophysiques (dont les effets albédo) induits par les changements de pratiques (ex. fauche versus pâturage). En effet, la plupart de ces modèles simulent seulement 2 ou 3 types de cultures (généralement le blé et le maïs) et très peu d'entre eux peuvent simuler l'effet des changements de pratiques sur les flux et bilans de GES, d'eau et d'énergie. A notre connaissance, aucun modèle de surface des climatologues ne prend actuellement en compte les cultures intermédiaires et leurs effets sur les bilans C et l'albédo alors que les agronomes les ont identifiés comme étant le principal levier pour stocker du carbone dans les sols en France (Pellerin *et al.* 2019). Notons toutefois des exceptions comme l'étude de Davin *et al.* (2014) qui a simulé l'effet du non-labour sur les flux d'énergie en surface et sur le climat à l'échelle de l'Europe.

4 Le forçage radiatif représente la différence de bilan radiatif (la puissance radiative reçue et la puissance radiative émise par le système Terre) induite par un facteur climatique donné (e.g. émission de GES, changement d'occupation du sol). S'il est positif le forçage radiatif entraîne un réchauffement du système terre, s'il est négatif il entraîne un refroidissement du système terre.

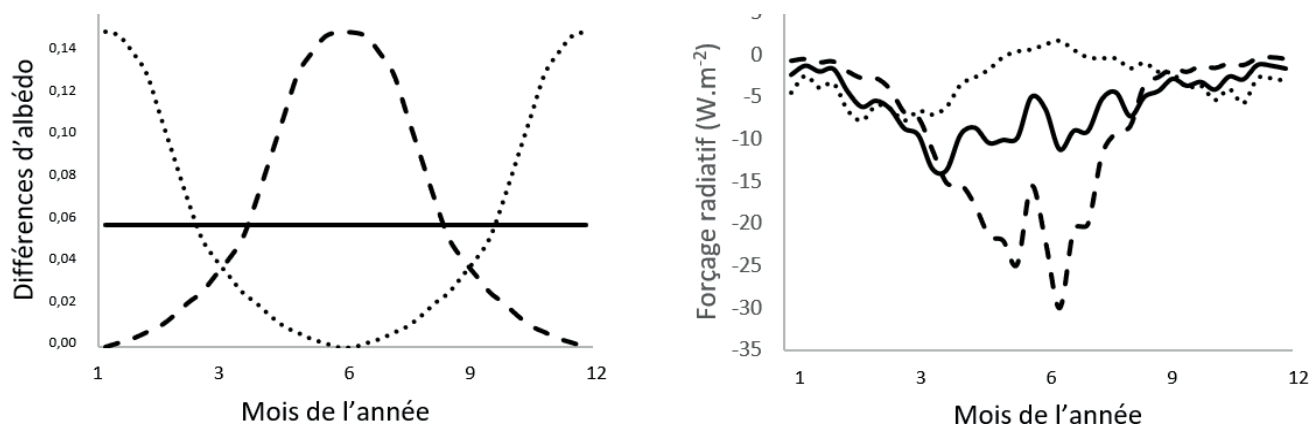


Figure 2: A gauche, trois dynamiques saisonnières théoriques de $\Delta\alpha$ ayant la même valeur moyenne annuelle, à droite, les forçages radiatifs qui en résultent. A noter, les dynamiques de rayonnement et de transmittances qui ont servi à calculer les forçages radiatifs ne sont pas montrées, mais sont identiques pour les 3 courbes de droite et les maxima de ces deux variables ont lieu en été et leurs minima en hiver.

Figure 2: On the left, three theoretical seasonal dynamics of a change following land cover or land management changes but having the same annual average value, on the right, the resulting radiative forcings. Note that the radiation and transmittance dynamics used to calculate the radiative forcings are not shown, but are identical for the 3 straight curves and the maxima of these two variables take place in summer and their minima in winter.

En l'absence de modèles capable de simuler les effets climatiques induits par les processus biogéophysiques résultants de certains changements d'usages, certains chercheurs se sont tournés vers des méthodes de conversion directe des effets albédo en équivalent CO₂ pour pouvoir les comparer aux effets biogéochimiques (ex. Muñoz *et al.* 2010 ; Ceschia *et al.* 2017). Ces méthodes sont toutefois assez complexes à appréhender, elles doivent être adaptées au contexte de l'étude (Bright *et al.* 2019). Elles ne permettent pas de traduire tous les effets sur le climat liés aux interactions entre les surfaces et l'atmosphère, comme par exemple les processus de rétroaction du climat sur le fonctionnement de la surface. Ces approches ont toutefois été très utiles pour faire prendre conscience à la communauté scientifique que l'ordre de grandeur des effets albedos liés à certains changements de pratiques, comme l'introduction et l'extension des cultures intermédiaires, est significatif voir plus élevé que leurs effets sur le stockage de C (Kaye & Quemada 2017 ; Carrer *et al.* 2018 ; Lugato *et al.* 2020 ; Pique *et al.* 2023).

Mis bout à bout, tous ces éléments expliquent pourquoi les solutions d'atténuation basées sur les méthodes de SRM au niveau des surfaces continentales n'ont pas suscité une grande attention jusqu'à ces dernières années.

2. Des leviers pour accroître l'albédo des surfaces continentales et contribuer à atténuer le changement climatique.

Depuis 2 décennies, plusieurs méthodes de SRM ont été proposées pour accroître l'albédo des surfaces continentales. Celles-ci, combinées avec une politique volontariste de réduction des émissions de GES et de séquestration du CO₂ atmosphérique

pourraient jouer un rôle important dans l'atténuation du changement climatique. Notons au préalable que chercher à modifier l'albédo des surfaces continentales plutôt que celui de l'atmosphère semble être une solution plus appropriée et plus prudente dans la mesure où les changements peuvent être opérés progressivement et de manière réversible, parfois en conjonction avec des approches CDR (Lenton et Vaughan 2009).

Parmi les premières études qui se sont intéressées à la gestion de l'albédo pour atténuer le changement climatique, celles de Akbari *et al.* (2009) et de Jacobson & Hoesung (2011) ont abordé l'effet du blanchiment des surfaces urbanisées (toits, voiries). Ainsi, Akbari *et al.* (2009) ont démontré que cette action permettrait de réduire la température de l'air aux latitudes moyennes de 1°C malgré les faibles surfaces concernées.

Concernant les surfaces agricoles, Doughty *et al.*, (2011) ont montré qu'une augmentation de leur albédo entraînerait un refroidissement plus important dans les régions situées au niveau des latitudes supérieures à 30° (dont l'Europe) qu'au niveau des basses latitudes (près de l'équateur). En effet, pour les latitudes supérieures à 30°, une augmentation de l'albédo des surfaces agricoles se traduirait plutôt par une diminution des flux de chaleur sensible (tourbillons d'air chaud) alors qu'aux basses latitudes ce serait plutôt les flux d'évapotranspiration qui diminueraient (au profit des flux de chaleur). Cela causerait une diminution de la nébulosité permettant à plus de rayonnement solaire d'atteindre le sol, se traduisant au final par une augmentation de l'énergie absorbée par la surface. Cette étude illustre l'importance des analyses couplées surface atmosphère, afin de prendre en compte les phénomènes de rétroaction.

Pour augmenter l'albédo des surfaces agricoles, Ridgwell *et al.*, (2009) ont proposé de sélectionner des variétés ayant de forts albédo grâce à des propriétés morphologie particulières ou

grâce à la réflectance élevée de leurs feuilles. Ils ont estimé que cela permettrait d'augmenter l'albédo des cultures de 20 %, et par voie de conséquence, de diminuer la température de surface de 1°C en périodes estivales dans toute la zone allant de l'Amérique du nord à l'Eurasie. Plus récemment, Singarayer & Davies-Barnard (2012) ont estimé que le potentiel d'augmentation de l'albédo des surfaces agricoles via la sélection variétale se situerait entre 0.04 à 0.1. D'autres travaux portant sur des variétés mutantes au niveau de la chlorophylle (Sakowska *et al.*, 2018 ; Genesio *et al.* 2020), sur l'augmentation de la densité des trichomes foliaires⁵ (Doughty *et al.*, 2011), ou sur les modifications du génome (Zamft et Conrado, 2015) ont été considérés comme des stratégies pour accroître l'albédo par bio-ingénierie.

Davin *et al.* (2014) et Diop (2023) se sont quant à eux intéressés aux changements d'albédo induits par le non-labour et par un maintien des pailles en surface, ainsi qu'à l'effet du paillage sur l'évaporation et les flux de chaleurs sensible. Davin *et al.* (2014) ont montré que par rapport à un système en conventionnel, le non-labour permettait d'augmenter l'albédo des parcelles d'environ 0.1 (les pailles étant plus réfléchissantes que le sol en général). Cette augmentation d'albédo pourrait même être plus élevée car ces auteurs ont considéré un albédo de référence pour le sol nu d'environ 0.2, qui se situe dans la gamme haute des valeurs d'albédo du sol nu (celui-ci est fréquemment proche de 0.1). Aussi, 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.

Plus récemment des études se sont intéressées aux effets conjoints, biogéochimiques et biogéophysiques, associés à des changements de pratiques. En particulier, plusieurs études ont été menées sur les cultures intermédiaires. Les premières ont été réalisées à l'échelle parcellaire (voir Figure 3) sur des sites équipés d'albédomètres et de dispositifs de mesure des flux de GES (Ferlicoq 2016 ; Ceschia *et al.*, 2017 ; Kaye & Quemada, 2017). Ces mesures in-situ ont montré que les cultures intermédiaires pouvaient non seulement permettre d'accroître l'albédo de surface, de réduire les flux de chaleur et la température du sol mais aussi de stocker du C dans le sol, et ce avec des coûts additionnels en termes d'émissions de GES liées aux opérations de semis et destruction négligeables. Ces travaux ont aussi illustré l'importance de prendre en compte conjointement les effets biogéochimiques et biogéophysiques induits par les changements de pratiques pour définir des stratégies d'atténuation plus efficaces. D'autres études menées à l'échelle Européenne via l'utilisation de données satellite couplées à de la modélisation ont permis 1) de définir où et quand il était optimal d'introduire des cultures intermédiaires pour accroître au maximum l'albédo des parcelles en grandes cultures (Carrer *et al.* 2018) et 2)

que l'effet albédo des cultures intermédiaires était d'un ordre de grandeur équivalent à leur effet stockage de C voire supérieur si des variétés mutantes déficientes en chlorophylle étaient utilisées (Lugato *et al.*, 2020). Enfin, en approfondissant l'étude de Carrer *et al.* (2018), Pique *et al.* (2023) ont alerté sur le risque de perte d'une partie de l'effet albédo refroidissant des cultures intermédiaires si les sols ne sont pas couverts en permanence. En effet, comme toute pratique visant à stocker du C dans les sols agricoles, l'accroissement de la teneur en matière organique des sols entraîne leur assombrissement, c'est à dire une diminution de leur albédo. C'est notamment le cas du biochar comme l'ont démontré plusieurs études (Genesio *et al.*, 2012 ; Meyer *et al.*, 2012 ; Verheijen *et al.*, 2013 ; Bozzi *et al.* 2015 ; Tisserant & Cherubini, 2019) mais aussi de l'application d'amendements organiques comme le lisier qui peut temporairement décroître l'albédo de surface de plus de 60 % (Stock *et al.*, 2019). Notons toutefois que l'accroissement de la fertilité des sols a des effets indirects sur la croissance de la végétation, son taux de couverture du sol ou la teneur en N de son feuillage ce qui a des répercussions souvent positives sur l'albédo des surfaces.

Ces études démontrent un intérêt croissant pour les méthodes de gestion de l'albédo des surfaces, en particulier en ce qui concerne les grandes cultures, et elles apparaissent de plus en plus crédibles pour lutter contre le réchauffement climatique en complément des méthodes de réduction des émissions de GES et de stockage de C dans les sols. Toutefois, très peu d'études se sont intéressées 1) aux facteurs déterminant les dynamiques d'albédo en prairies, 2) au potentiel d'atténuation lié à l'évolution de leurs modes de gestion affectant l'albédo de surface et 3) à l'impact sur les effets albédo de différents systèmes de production fourragère (ex. basés majoritairement sur l'herbe ou sur des cultures fourragères). L'acquisition de nouvelles connaissances sur ces 3 volets faisait partie des priorités du projet CASDAR Albédo-prairie (cf articles de ce numéro).

3. Déterminants des dynamiques d'albédo pour les agroécosystèmes ?

L'albédo des agroécosystèmes varie au cours de l'année via l'influence de différents facteurs. Certains sont liés au sol, comme la rugosité de surface qui évolue après un labour (Oguntunde *et al.* 2006, Cierniewski *et al.* 2015, Kala *et al.* 2014). Le travail du sol en grandes cultures est généralement à l'origine de diminutions d'albédo qui sont d'autant plus importantes que la rugosité de surface, souvent déterminées par la profondeur de labour, est élevée (Obukhov and Orlov, 1964 ; Cierniewski *et al.*, 2017 ; Andales *et al.*, 2000). Aussi, pour un même sol, les variations d'humidité de surface peuvent entraîner une variation de l'albédo

5 fines excroissances présentes sur les feuilles, les tiges (et les racines) des plantes

6 Ces variétés sont environ 30 % moins efficaces d'un point de vue production de biomasse

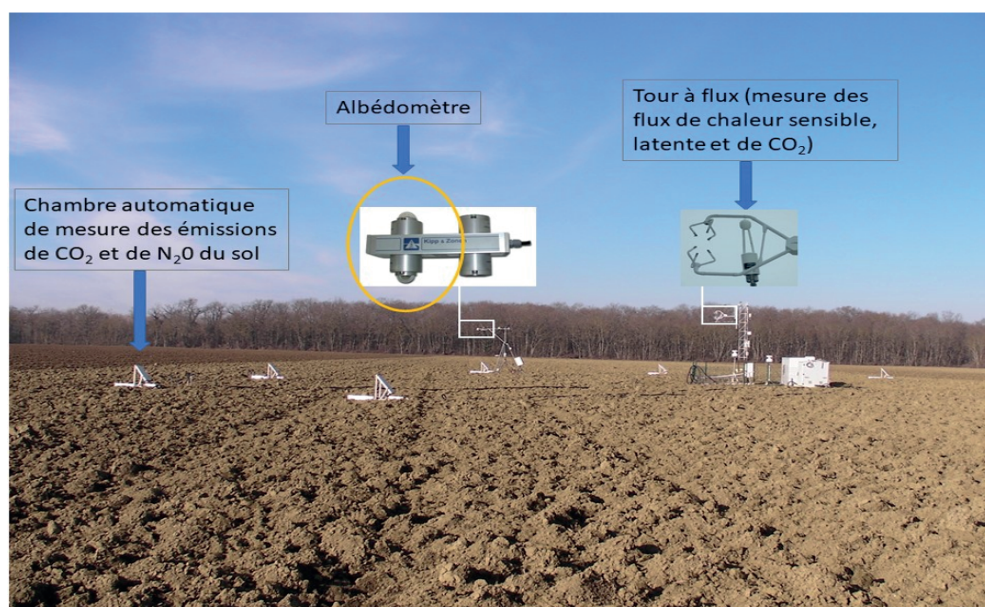


Figure 3 : Site de Lamasquère (Haute Garonne) appartenant au réseau de mesure ICOS (<https://icos-france.fr/static1/le-reseau>). Ce site est équipé 1) d'une tour à flux permettant de mesurer en continu les flux de chaleur sensible, de chaleur latente et de CO₂ à l'interface entre la parcelle et l'atmosphère par la méthode des fluctuations turbulentes, 2) d'un dispositif de chambres automatiques permettant de mesurer les émissions de CO₂ et de N₂O du sol et 3) d'un mât équipé d'un albédomètre qui mesure le rayonnement solaire incident et réfléchi par la surface.

Figure 3: Lamasquère site (Haute Garonne) belonging to the ICOS measurement network (<https://icos-france.fr/static1/le-reseau>). This site is equipped with 1) a flux tower for continuous measurement of sensible heat, latent heat and CO₂ fluxes at the interface between the plot and the atmosphere using the turbulent fluctuations method, 2) a system of automatic chambers for measuring CO₂ and N₂O emissions from the soil and 3) a mast equipped with an albedometer for measuring solar radiation incident on and reflected by the surface.

d'un facteur deux (Cresswell *et al.*, 1993 ; Sanchez-Mejia *et al.* 2014 ; Yang *et al.*, 2020). En effet, les précipitations qui humidifient la couche superficielle du sol entraînent une diminution transitoire de l'albédo de surface en période d'interculture, ou non totalement couvert par la végétation (Duchon & Hamm, 2006 ; Wang *et al.*, 2011 ; Ferlicoq & Ceschia, 2015 ; Mischler *et al.*, 2022).

Cependant, les principaux facteurs déterminant les dynamiques saisonnières d'albédo de surface sont liés à la végétation. Tout d'abord, le taux de couverture du sol par la végétation modifie la contribution du sol à l'albédo de surface global (Hammerle *et al.*, 2007 ; Wang *et al.*, 2011 ; Kala *et al.*, 2014). D'après Baumgardner *et al.* (1986), l'influence de la végétation sur les dynamiques d'albédo de surface dépasse celle du sol lorsque son taux de couverture dépasse 40 %. Aussi, le couvert végétal affecte l'albédo de surface de par ses propriétés optiques et structurales. Les signatures spectrales du feuillage⁷ diffèrent de celles des éléments du sol (Baumgardner *et al.*, 1986 ; Carrer *et al.* 2014). De manière générale, la hauteur des plantes, la quantité de biomasse et la composition des espèces végétales affectent l'albédo de surface (Lukeš *et al.*, 2014 ; Kuusinen *et al.*, 2016).

L'albédo des écosystèmes est fonction des espèces ou mélanges d'espèces (Yan *et al.* 2021, Yang *et al.*, 2019), mais aussi des variétés au sein d'une même espèce (Şerban *et al.*, 2011). La composition végétale des agroécosystèmes est soumise à de nombreuses variations intra et interannuelles, mais aussi à de fortes variations

spatiales, ce qui leur confère des caractéristiques souvent plus complexes que celles des forêts (Zheng *et al.*, 2019). Carrer *et al.* (2014) et Carrer *et al.* (2018) ont montré que les agroécosystèmes non-ligneux ont souvent un albédo plus élevé que celui des sols (excepté pour les sols calciques, très sableux ou les marnes qui sont très clairs). Ainsi, pour les agroécosystèmes, il arrive fréquemment que plus la végétation est couvrante, ou avec un indice foliaire⁸ (Leaf Area Index en anglais) élevé, plus une fraction importante de l'énergie solaire incidente sera réfléchi, diffusée et/ou absorbée par le couvert végétal. Justement, une corrélation entre l'indice foliaire et l'albédo a plusieurs fois été observée, notamment pour les cultures (Oguntunde *et al.*, 2004 ; Peng *et al.*, 2015 ; Ferlicoq & Ceschia, 2015). La corrélation peut être positive ou négative selon l'albédo du sol sous-jacent lorsque l'indice foliaire est faible. En général, les valeurs d'albédo des cultures saturent avec des valeurs d'indice foliaire élevé (ex. supérieur à 5) et elles tendent à décroître par la suite lorsque les réflexions du rayonnement au sein de la canopée deviennent importantes (Bsaibes *et al.*, 2009) ou quand les organes entrent en sénescence (Ferlicoq & Ceschia, 2015).

Dans la littérature qui a trait à l'albédo des prairies, le terme prairie peut regrouper des objets très divers (prairies permanentes gérées, temporaires, estives, toundras, savanes) et l'albédo peut avoir été mesuré avec des méthodes très différentes (spectroradiomètre, albédomètre, télédétection.). Il en découle une large gamme de valeurs d'albédo pour les « prairies ». Carrer *et al.* (2014) ont reporté des valeurs d'albédo de 0.17 à 0.28 pour les

⁷ C'est-à-dire la fraction d'énergie solaire réfléchi/absorbée/transmise dans chaque gamme de longueur d'onde.

⁸ Cette grandeur sans unité qui représente des mètres carrés de surface de feuille par mètre carré de surface de sol.

prairies naturelles tempérées et boréales, des valeurs de 0.28 à 0.32 pour les prairies humides et marécageuses, et des valeurs de 0.16 à 0.21 pour les savanes. Concernant les prairies temporaires, Sieber *et al.* (2022) mentionnent des albédos de 0.19 à 0.22 et pour les estives, des valeurs comprises entre 0,25 et 0.30 ont été rapportées par Gu *et al.* (2005), Krishnan *et al.* (2012) et Song *et al.* (1999).

Si les déterminants des dynamiques d'albédo ont bien été étudié pour les forêts (par exemple, O'Halloran *et al.* 2012 ; Bonan *et al.*, 2008) et les cultures (Mira *et al.* 2015 ; Ferlicoq & Ceshia 2015 ; Cai *et al.* 2016 ; Carrer *et al.*, 2018), assez peu d'études ont été menées sur les prairies et celles qui existent sont souvent des études liées à l'analyse de l'albédo des prairies par télédétection, généralement à des fins de modélisation climatique (Wang & Davidson, 2007 ; Cescatti *et al.* 2012 ; Carrer *et al.* 2014 ; Wang *et al.* 2014 ; Yang & Wuang 2019). Ainsi, les études de Higuchi *et al.* (2000), de Gu *et al.* (2005) et de Zheng *et al.* (2019) menées respectivement au Japon, sur la zone des plateaux Tibétains et en Chine se sont intéressées aux effets de la phénologie et du contenu en eau du sol sur les dynamiques d'albédo de surface. Aussi, Iziomon et Mayer (2002) ont étudié les interactions entre altitude et teneur en azote du feuillage sur les dynamiques d'albédo des prairies en Allemagne.

Certaines études se sont intéressées à la relation entre albédo de surface et composition des espèces prairiales qui peut varier considérablement selon le climat, la fertilité du sol et les pratiques de gestion. L'hétérogénéité de la couverture végétale a des répercussions sur l'albédo de surface en raison des variations de rugosité (Aguar *et al.* 1996) et de propriétés des feuilles (orientation, concentration en chlorophylle, pillosité ; Song, 1999). Ainsi, les prairies dominées par de la Houllque (*Holcus lanatus* L) sont susceptibles d'avoir un albédo plus élevé en raison d'une réflectance plus élevée de leurs feuilles pubescentes. En outre, une abondance en herbacées non-graminées est susceptible d'engendrer des albédos plus faibles, là où des mélanges d'espèces à feuilles dressées (par exemple de graminées) auraient des albédos plus élevés (He *et al.*, 2021). Luyssaert *et al.* (2014) ont ainsi rapporté des albédos de 0.17 et 0.2 respectivement pour des Trisetes jaunâtres (*Trisetum flaccescens* P. Beauv) et des Fétuques élevées (*Festuca arundinacea* Shreb).

La gestion des prairies, y compris l'élimination périodique de la biomasse par fauchage ou pâturage ainsi que la fertilisation modifient le couvert végétal et la contribution de l'albédo du sol à l'albédo global de la surface. Li *et al.* (2000) ont montré que sur les sols clairs de Mongolie, les prairies pâturées avaient un albédo supérieur à celui des prairies non-pâturées et que le surpâturage pouvait être cause d'accroissement significatif de l'albédo (par effet de désertification). Ketzer *et al.* (2008) ont observé sur le même territoire d'étude que les différences d'albédo dues aux intensités de pâturage étaient marquées au moment du pic de végétation

(fin mai début juin) mais peu en début de saison de végétation, car les résidus de végétation de l'année précédente et le sol avaient un albédo très similaire. Aussi, dans une étude menée en France sur des sols plus sombres, Mischler *et al.* (2022) ont montré que l'albédo diminuait avec la coupe, et dans une moindre mesure avec l'intensité du pâturage en raison de l'élimination du couvert végétal vert qui laisse le sol plus apparent. Sur ces types de sol à faible albédo, une augmentation significative des patches de sol nu, par exemple suite à un surpâturage, pourrait donc entraîner une diminution significative de l'albédo, générant donc un forçage radiatif positif (réchauffement).

L'application de fumier organique ou de lisier, peut aussi entraîner des réductions temporaires mais importantes de l'albédo (Stock *et al.* 2019). De même, Usowicz *et al.* (2016) ont montré qu'une application de biochar en surface peut causer une diminution temporaire mais significative de l'albédo. Un accroissement de la fertilité pourra aussi avoir des effets indirects sur l'albédo de la prairie. Une relation linéaire a été observée par Hollinger *et al.* (2010) entre albédo du feuillage et concentration en azote des feuilles. Dans leur étude, une teneur plus élevée en N dans le feuillage menait à des valeurs d'albédo plus élevées. Hormis sur des sols très clairs, comme en Mongolie, on observe souvent des albédos plus élevés pour les prairies gérées que pour les prairies non gérées ou indigènes en raison d'une meilleure fertilité des sols, d'une diminution du matériel végétal sénescents (Fan *et al.*, 2011 ; Rosset *et al.*, 2001 ; Sieber *et al.*, 2022b). Il est cependant possible d'observer des situations où l'albédo des prairies gérées est plus faible en raison d'une utilisation trop intense qui cause une dégradation durable du couvert végétal (Krishnan *et al.*, 2012). Notons aussi que dans le cas des écobuages, le feu supprime les matières végétales sénescents, ce qui peut à moyen terme avoir un effet positif sur l'albédo, mais qui cause à court terme une chute drastique de l'albédo (Bremer *et al.* 1999).

4. Conclusions

Plusieurs études mentionnées dans cet article mettent en évidence que les pratiques agricoles peuvent affecter l'albédo et ses dynamiques de manière significative. Toutefois, il y a un manque de littérature concernant les déterminants de l'albédo des prairies en milieu tempéré, et notamment en France. Il faudrait notamment pouvoir comparer l'effet sur l'albédo des fauches versus celui du pâturage ou pouvoir quantifier l'impact du chargement en bétail sur les dynamiques à court, moyen et long terme de l'albédo des prairies, et ce pour différentes conditions pédoclimatiques. Aussi, des analyses à l'échelle des exploitations portant sur les conséquences, d'un point de vue albédo et forçage radiatif, du choix des systèmes de production de fourrage (ex. tout à l'herbe, mixte, entièrement basé sur des cultures fourragères avec ou sans culture intermédiaires) permettrait de choisir de manière plus éclairée les stratégies d'atténuation les plus efficaces. A l'heure actuelle, les

stratégies d'atténuation sont uniquement raisonnées en fonctions des bilans C et GES des exploitations, ce qui peut mener à des choix de leviers d'action peu ou pas pertinents d'un point de vue effet climatique net. Le projet Albédo-prairies (cf articles de ce numéro) a permis de combler plusieurs de ces lacunes, et des projets de recherche Européen comme ClieNfarms commencent à intégrer les processus biogéochimiques et biogéophysiques dans les stratégies d'atténuation aux échelles exploitation. Reste que notre compréhension de l'effet climatique net des changements de pratiques est encore très incomplète. En effet, au-delà des effets gestion, et changements de pratiques, sur les bilans GES et l'albédo, il faudrait intégrer les autres processus biogéophysiques (rayonnement infrarouge, flux de chaleur sensible et latente) et leurs interactions avec le climat dans nos modes de raisonnement pour définir des stratégies d'atténuation, mais aussi d'adaptation, plus éclairées et sans doute plus efficaces. Ce sera tout l'enjeu du projet CASDAR ALBAATRE (début en 2024) qui s'appuiera sur une collaboration entre institut technique, institut de recherche, laboratoires de recherches spécialistes des questions climatiques.

Remerciements

Cette analyse bibliographique a bénéficié du soutien financier des projets Albédo-Prairies (financé par le CASDAR) et Horizon Europe ClieNfarms (N° de convention de subvention 101036822). Nous souhaitons aussi remercier les techniciens et les responsables des fermes expérimentales qui interviennent régulièrement sur les sites de mesures de l'albédo pour entretenir les dispositifs de mesure et pour collecter les données.

Cependant, la disponibilité en herbe pour l'alimentation reste fortement influencée par l'année qui regroupe des variations de nombreux facteurs, dont les conditions météorologiques.

Même si la variabilité interindividuelle est importante sur les données étudiées, il n'y a eu aucune perte de poids importante sur les périodes étudiées ni une diminution forte des notes d'état corporel, ainsi le pâturage a permis de couvrir les besoins des chevaux à l'entretien et en croissance.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aguiar M.R., Paruelo J.M., Sala O.E. and Lauenroth W.K. (1996). Ecosystem Responses to Changes in Plant Functional Type Composition: An Example from the Patagonian Steppe, *Journal of Vegetation Science*, 7(3): 381-390.

Akbari H., Menon S., Rosenfeld A. (2009). Global cooling: increasing worldwide urban albedos to offset CO₂, *Climatic Change* 94, 275-286.

Andales AA, Batchelor WD, Anderson CE, Farnham DE, Whigham DK (2000). Incorporating tillage effects into a soybean model. *Agricultural Systems*, 66, 69-98.

Baumgardner MF, Silva LF, Biehl LL, Stoner ER (1986). Reflectance Properties of Soils. in Brady NC, eds, *Advances in Agronomy*, Academic Press, 1-44.

Bauer S.E., Menon S., (2012). Aerosol Direct, Indirect, Semidirect, and Surface Albedo Effects from Sector Contributions Based on the IPCC AR5 Emissions for Preindustrial and Present-

Day Conditions, *J. Geophys. Res.-Atmos*, 117, D1206.

Betts, Richard A. (2000). Offset of the Potential Carbon Sink from Boreal Forestation by Decreases in Surface Albedo., *Nature* 408 (6809), 187-90. doi:10.1038/35041545.

Betts R. A., Falloon P. D., Goldewijk K., Ramankutty N. (2007). Biogeophysical Effects of Land Use on Climate: Model Simulations of Radiative Forcing and Large-Scale Temperature Change, *Agricultural and Forest Meteorology*, 142 (2-4), 216-33. doi:10.1016/j.agrformet.2006.08.021.

Bonan G.B. (2008). Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, and the Climate Benefits of Forests, *Science* 320, 1444-1449.

Bonan G.B., Pollard D., Thompson S.L. (1992). Effects of Boreal Forest Vegetation on Global Climate, *Nature* 359 (6397), 716-18. doi:10.1038/359716a0.

Bonan G. B., Chapin F.S., Thompson S.L. (1995). Boreal Forest and Tundra Ecosystems as Components of the Climate System, *Climatic Change* 29 (2), 145-67. doi:10.1007/BF01094014.

Boucher O, Lowe JA, Jones CD (2009). Implications of delayed actions in addressing carbon dioxide emission reduction in the context of geo-engineering, *Clim Chang*, 92, 261.

Bounoua L., DeFries G., Collatz, P., Sellers and H. Khan. (2002). Effects of Land Cover Conversion on Surface Climate, *Climatic Change*, 52 (1-2), 29-64. doi:10.1023/A:1013051420309.

Bozzi E, Genesio L, Toscano P, Pieri M, Miglietta F (2015). Mimicking biochar-albedo feedback in complex Mediterranean agricultural landscapes, *Environmental Research Letters* 10, 084014.

Bremer D.J., Ham J.M. (1999). Effect of spring burning on the surface energy balance in a tall grass prairie, *Agricultural and Forest Meteorology*, 97(1), 43-54.

Bright R.M., O'Halloran T.L. (2019). Developing a monthly radiative kernel for surface albedo change from satellite climatologies of Earth's shortwave radiation budget: CACK v1.0, *Geoscientific Model Development*, 12, 3975-3990.

Brovkin V et al (2009). Geoengineering climate by stratospheric sulfur injections: earth system vulnerability to technological failure, *Clim Chang*, 92, 243.

Bsaibes A et al. (2009). Albedo and LAI estimates from FORMOSAT-2 data for crop monitoring, *Remote Sensing of Environment* 113, 716-729.

Cai H., Wang J., Feng Y., Wang M., Qin Z., Dunn J.B., (2016). Consideration of Land Use Change-Induced Surface Albedo Effects in Life-Cycle Analysis of Biofuels, *Energy Environ. Sci.* 9, 2855-2867.

Carrer D., Meurey C., Ceamanos X., Roujean J.-L., Calvet J.-C., Liu S., (2014). Dynamic mapping of snow-free vegetation and bare soil albedos at global 1km scale from 10-year analysis of MODIS satellite products, *Remote Sensing of Environment*, 140, 420-432.

Carrer D., Pique G., Ferlicoq M., Ceamanos X., Ceschia E. (2018). What is the potential of cropland albedo management in the fight against global warming? A case study based on the use of cover crops, *Environmental Research Letters* 13, 044030.

Cescatti A., Marcolla B., Santhana Vannan S. K., Pan J. Y., Román M. O., Yang X., Ciais P., Cook R. B., Law B. E., Matteucci G., Migliavacca M., Moors E., Richardson A. D., Seufert G., Schaaf C. B. (2012). Intercomparison of MODIS albedo retrievals and in situ measurements across the global FLUXNET network, *Remote Sensing of Environment*, 121, 323-334. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.019>.

Ceschia E, Mary B, Ferlicoq M, Pique G, Carrer D, Dejoux J.-F. & Dedieu G. (2017). Potentiel d'atténuation des changements climatiques par les couverts intermédiaires *Innov, Agron*, 62-4 43-58.

Chabbi A., Lehmann J., Ciais P., Loescher H.W., Cotrufo M.F., Don A., San Clements M., Schipper L., Six J., Smith P., Rumpel C., (2017). Aligning agriculture and climate policy, *Nature Climate Change*, 7, 307-309.

Charney J., William J.-Q., Shu-hsien C., Kornfield J. (1977). A Comparative Study of the Effects of Albedo Change on Drought in Semi-Arid Regions, *Journal of the Atmospheric Sciences* 34 (9), 1366-85.

Cierniewski J., Karnieli A., Kazmierowski C., Krolewicz S., Piekarczyk J., Lewinska K., Goldberg A., Wesolowski R., Orzechowski M., (2015).

- Effects of Soil Surface Irregularities on the Diurnal Variation of Soil Broadband Blue-Sky Albedo, *IEEE J-STARS*, 8, 493–502.
- Cierniewski J, Królewicz S, Kaźmierowski Cezary (2017). Annual Dynamics of Shortwave Radiation as Consequence of Smoothing of Previously Plowed and Harrowed Soils in Poland, *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 56, 735-743.
- Coulson K.-L. (1966). Effects of reflection properties of natural surfaces in aerial reconnaissance. *Applied Optics*, 5,905-17.
- Cresswell H.-P., Painter D.-J., Cameron K.-C. (1993). Tillage and water content effects on surface soil hydraulic properties and shortwave albedo, *Soil Science Society of America Journal* 57, 816-824.
- Davin, Edouard L., Seneviratne S., Ciais P., Olliso A., Wang T. (2014). Preferential Cooling of Hot Extremes from Cropland Albedo Management, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (27), 9757–61. doi:10.1073/pnas.1317323111.
- Diop S. (2023). Four-component net radiometers to quantify albedo and heat fluxes in conservation agriculture, *Nature Reviews Earth & Environment*.
- Dobos E (2003). Albedo. *Encyclopedia of Soil Science*, 1-3.
- Doughty CE, Field CB, McMillan AMS (2011). Can crop albedo be increased through the modification of leaf trichomes, and could this cool regional climate? *Climatic Change* 104, 379-387.
- Duchon CE, Hamm KG (2006). Broadband Albedo Observations in the Southern Great Plains, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45, 210-235.
- Eastman, Joseph L., Michael B. Coughenour, and Roger A. Pielke (2001). The Regional Effects of CO₂ and Landscape Change Using a Coupled Plant and Meteorological Model, *Global Change Biology* 7 (7), 797–815. doi:10.1046/j.1354-1013.2001.00411.x.
- Fan L, Ketzler B., Liu H., Bernhofer C. (2011). Grazing effects on seasonal dynamics and interannual variabilities of spectral reflectance in semi-arid grassland in Inner Mongolia, *Plant and Soil*, 340(1), 169-180.
- Ferlicoq M. (2016). Comparaison pour les agroécosystèmes des contributions biogéochimiques et biophysiques au forçage radiatif net pour l'identification de leviers d'atténuation au changement climatique, Thèse de doctorat Université Paul Sabatier, 357.
- Ferlicoq M., Ceschia E., Ferlicoq M., Ceschia E. (2015). La gestion de l'albédo des surfaces cultivées, *Evaluer et agir*, 386.
- Genesio L., Miglietta F., Lugato E., Baronti S., Pieri M., Vaccari F.-P. (2012). Surface albedo following biochar application in durum wheat, *Environ. Res. Lett.* 9.
- Genesio L., Bright R.-M., Alberti G., Peressotti A., Delle Vedove G., Incerti G., Toscano P., Rinaldi M., Muller O., Miglietta F. (2020). A chlorophyll-deficient, highly reflective soybean mutant: radiative forcing and yield gaps, *Environ. Res. Lett.* 15, 074014.
- Georgescu M., Lobell D., Field C. (2011). Direct Climate Effects of Perennial Bioenergy Crops in the United States, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108(11), 4307–12. doi:10.1073/pnas.1008779108.
- Goes M, Tuana N, Keller K (2011). The economics (or lack thereof) of aerosol geoengineering, *Clim Chang.* 109, 719–744.
- Gu S., Tang Y., Cui X., Kato T., Du M., Li Y., Zhao X. (2005). Energy exchange between the atmosphere and a meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau, *Agricultural and Forest Meteorology*, 129(3), 175-185.
- Hammerle A., Haslwanter A., Tappeiner U., Cernusca A., Wohlfahrt G., (2007), Leaf area controls on energy partitioning of a mountain grassland, *Biogeosciences Discussions, European Geosciences Union* 4(5), 3607-3638.
- Hansen J., Makiko S., Glascoe J., and Ruedy R. (1998). A Common-Sense Climate Index: Is Climate Changing Noticeably? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 95 (8), 4113–20.
- He M., Hu Y., Chen N., Wang D., Huang J., Stamnes K., (2019). High Cloud Coverage over Melted Areas Dominates the Impact of Clouds on the Albedo Feedback in the Arctic, *Sci. Rep.* 9, 9529.
- He Y, Lin ES., Yu Z., et al. (2021). The effect of dynamic albedos of plant canopy on thermal performance of rooftop greenery: A case study in Singapore, *Building and Environment*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108247>.
- Henderson-Sellers A., Dickinson R.-E., Durbidge T.-B., Kennedy P.-J., McGuffie K., Pitman A.-J. (1993). Tropical Deforestation: Modeling Local- to Regional-Scale Climate Change, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 98 (D4), 7289–7315. doi:10.1029/92JD02830.
- Hollinger DY et al. (2010). Albedo estimates for land surface models and support for a new paradigm based on foliage nitrogen concentration, *Global Change Biology* 16, 696-710.
- Hunter M.-C.; White C.-M.; Kaye J.-P.; Kemanian A.-R. (2019). Ground-Truthing a Recent Report of Cover Crop-Induced Winter Warming, *Agric. Environ. Lett.*, 4, 190007.
- Higuchi A., Kondoh A., Kishi S. (2000). Relationship among the surface albedo, spectral reflectance of canopy, and evaporative fraction at grassland and paddy field, *Adv. Space Res.* Vol. 26, No. 7, 1043-1046.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, et al., editors Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. Available: http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf.
- Iziomon M.G., Mayer H. (2002). On the variability and modelling of surface albedo and long-wave radiation components *Agricultural and Forest Meteorology* 111, 141–152.
- Jackson, Robert B., James T. Randerson, Josep G. Canadell, Ray G. Anderson, Roni Avissar, Dennis D. Baldocchi, Gordon B. Bonan, et al. (2008). Protecting Climate with Forests, *Environmental Research Letters* 3 (4), 044006. doi:10.1088/1748-9326/3/4/044006.
- Jacobson M.Z., Ten Hoeve J.E., (2012). Effects of Urban Surfaces and White Roofs on Global and Regional Climate, *Journal of Climate* 25, 1028–1044.
- Jiao Z., Zhang X., Breon F.M., Dong Y., Schaaf C.B., Roman M.O., Wang Z., Cui L., Yin S., Ding A. et al., (2018). The Influence of Spatial Resolution on the Angular Variation Patterns of Optical Reflectance as Retrieved from MODIS and POLDER Measurements, *Remote Sens. Environ.* 215, 371–385.
- Jiao Z., Ding A., Kokhanovsky A., Schaaf C., Breon F., Dong Y., Wang Z., Liu Y., Zhang X., Yin S. et al., (2019), Development of a Snow Kernel to Better Model the Anisotropic Reflectance of Pure Snow in a Kernel-Driven BRDF Model Framework. *Remote Sens. Environ.* 221, 198–209.
- Jiao Z., Ding A., Kokhanovsky A., Schaaf C., Breon F., Dong Y., Wang Z., Liu Y., Zhang X., Yin S. et al., (2019). Development of a Snow Kernel to Better Model the Anisotropic Reflectance of Pure Snow in a Kernel-Driven BRDF Model Framework. *Remote Sens, Environ.* 221, 198–209.
- Kala J., Evans J.P., Pitman A.J., Schaaf C.B., Decker M., Carouge C., Mocko D., Sun Q., (2014). Implementation of a Soil Albedo Scheme in the CABLEv1.4B Land Surface Model and Evaluation Against MODIS Estimates over Australia, *Geosci. Model Dev.* 7, 2121–2140.
- Kaye, J.P., Quemada, M., (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change, A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37.
- Ketzler B., Liu H., Bernhofer C. (2008). Surface characteristics of grasslands in Inner Mongolia as detected by micrometeorological measurements. *Int J Biometeorol*, 52:563–574.
- Kokhanovsky A.A., Zege E.P., (2004). Scattering Optics of Snow, *Appl. Optics* 43, 1589–1602.
- Krishnan P., Meyers T.-P., Scott R.-L., Kennedy L., Heuer M. (2012), Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grasslands in North America, *Agricultural and Forest Meteorology*, 153: 31-44.
- Kuusinen N, Stenberg P, Korhonen L, Rautiainen M, Tomppo E (2016). Structural factors driving boreal forest albedo in Finland, *Remote Sensing of Environment* 175, 43-51.
- Lenton T. M., Vaughan N.E. (2009). The Radiative Forcing Potential of Different Climate Geoengineering Options. *Atmos. Chem.*

- Phys. 9 (15), 5539–61. doi:10.5194/acp-9-5539-2009.
- Li S.-G., Harazono Y., Oikawa T., Zhao H. L., He Z. Y., Chang X. L. (2000). Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia, *Agricultural and Forest Meteorology*, 102, 125–137.
- Lugato, E., Cescatti, A., Jones, A., Ceccherini, G., Duveiller, G. (2020). Maximising climate mitigation potential by carbon and radiative agricultural land management with cover crops, *Environ. Res. Lett.* 15, 094075.
- Luyssaert, S., Jammot M., Stoy P. C., Estel S., Pongratz J., Ceschia E., Churkina G., et al. (2014). Land Management and Land-Cover Change Have Impacts of Similar Magnitude on Surface Temperature. *Nature Climate Change* 4 (5), 389–93. doi:10.1038/nclimate2196.
- Lukeš P., Rautiainen M., Manninen T., Stenberg P., Möttöus M. (2014). Geographical gradients in boreal forest albedo and structure in Finland, *Remote Sens. Environ.* 152, 526–535.
- Marland, G. (2003). Trends: A Compendium of Data on Global Change, Oak Ridge, Tenn., U.S.A., Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy. http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/emis/tre_glob.htm.
- Meyer S., Bright R.-M., Fischer D., Schulz H., Glaser B., (2012). Albedo Impact on the Suitability of Biochar Systems To Mitigate Global Warming. *Environmental Science & Technology* 46, 12726–12734.
- Minasny B., Malone B.-P., McBratney A.-B., Angers D.-A., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Cheng K., Das B.-S., Field D.-J., Gimona A., Hedley C.-B., Hong, S.-Y., Mandal B., Marchant B.-P., Martin M., McConkey B.-G., Mulder V.-L., O'Rourke S., Richer-de-Forges A.-C., Odeh I., Padarian J., Paustian K., Pan G., Poggio L., Savin I., Stolbovov V., Stockmann U., Sulaeman Y., Tsui C.-C., Vågen T.-G., van Wesemael B., Winowiecki L., (2017). Soil carbon 4 per mille, *Geoderma*, 292, 59–86.
- Mira M., Weiss M., Baret F., Courault D., Hagolle O., Gallego-Elvira B., Olioso A. (2015). The MODIS (Collection V006) BRDF/albedo Product MCD43D: Temporal Course Evaluated over Agricultural Landscape, *Remote Sens. Environ.* 170, 216–228.
- Mischler P., Ferlicoq M., Ceschia E., Kerjose E. (2022). L'albédo, un levier d'atténuation du changement climatique méconnu : quel potentiel d'atténuation pour les prairies ? *Fourrages*, 251, 1–16.
- Muñoz I, Campra P, Fernandez-Alba A.-R. (2010). Including CO₂-Emission Equivalence of Changes in Land Surface Albedo in Life Cycle Assessment. Methodology and Case Study on Greenhouse Agriculture, *International Journal of Life Cycle Assessment* 15 (7), 672–81.
- Myhre G., Myhre A. (2003). Uncertainties in Radiative Forcing due to Surface Albedo Changes Caused by Land-Use Changes, *Journal of Climate* 16(10), 1511–24.
- O'Halloran, Thomas L., Beverly E. Law, Michael L. Goulden, Zhuosen Wang, Jordan G. Barr, Crystal Schaaf, Mathew Brown, et al. (2012). Radiative Forcing of Natural Forest Disturbances, *Global Change Biology* 18 (2), 555–65. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02577.x.
- Obukhov AI, Orlov DS (1964). Spectral Reflectivity of the Major Soil Groups and Possibility of using Diffuse Reflection in Soil Investigations, *Soviet Soil Science*, 174–184.
- Oguntunde P.-G., van de Giesen N. (2004). Crop growth and development effects on surface albedo for maize and cowpea fields in Ghana, West Africa, *International Journal of Biometeorology* 49, 106–112.
- Oguntunde P.-G., Ajayi A.-E., van de Giesen N., (2006) . Tillage and Surface Moisture Effects on Bare-Soil Albedo of a Tropical Loamy Sand. *Soil Till. Res.* 85, 107–114.
- Pellerin S., Bamière L., Launay C., Martin R., Schiavo M., Angers D., Augusto L., Balesdent J., Doelsch I.B., Bellassen V., Cardinael R., Cécillon L., Ceschia E., Chenu C., Constantin J., Darroussin J., Delacote P., Delame N., Gastal F., Gilbert D., Grau A.-I., Guenet B., Houot S., Klumpp K., Letort E., Litrico I., Martin M., Menasseri-Aubry S., Meziere D., Morvan T., Mosnier C., Roger-Estrade J., Saint-André L., Sierra J., Therond O., Viaud V., Grateau R., Percec S.L., Savini I., Rechauchère O. (2019). Stocker du carbone dans les sols français, quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût? 118.
- Peng J, Fan W, Xu X, Wang L, Liu Q, Li J, Zhao P (2015). Estimating Crop Albedo in the Application of a Physical Model Based on the Law of Energy Conservation and Spectral Invariants. *Remote Sensing* 7, 15536–15560.
- Pielke, Roger A., Gregg M., Richard A., Betts T. Chase N., Eastman J., Niles J., Dev dutta N., Running S. (2002) The Influence of Land-Use Change and Landscape Dynamics on the Climate System: Relevance to Climate-Change Policy beyond the Radiative Effect of Greenhouse Gases, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 360 (1797), 1705–19. doi:10.1098/rsta.2002.1027.
- Pique G., Carrer D., Lugato E., Fieuzal R., Garisoain R., Ceschia E. (2023). About the Assessment of Cover Crop Albedo Potential Cooling Effect: Risk of the Darkening Feedback Loop Effects, *Remote Sensing*, 15. <https://dx.doi.org/10.3390/rs15133231>.
- Post DF, Fimbres A, Matthias AD, Sano EE, Accioly L, Batchily AK, Ferreira LG (2000). Predicting Soil Albedo from Soil Color and Spectral Reflectance Data, *Soil Science Society of America Journal* 64, 1027–1034.
- Rasch PJ, et al. (2008). An overview of geoengineering of climate using stratospheric sulphate aerosols, *Philos T R Soc A* 366(1882):4007–4037.
- Rautiainen M, Stenberg P, Möttöus M, Manninen T (2011) Radiative transfer simulations link boreal forest structure and shortwave albedo, *Boreal Environment Research* 16, 91–100.
- Ridgwell A., Singarayer J.S., Hetherington A.M., Valdes P.J. (2009). Tackling Regional Climate Change By Leaf Albedo Bio-geoengineering, *Current Biology* 19, 146–150.
- Robock A, Marquardt A.-B., Kravitz B., Stenchikov G. (2009). The benefits, risks, and costs of stratospheric geoengineering *Geophys. Res. Lett.* 36 L19703.
- Rosset M., Montani M., Tanner M. Fuhrer J. (2001). Effects of abandonment on the energy balance and evapotranspiration of wet subalpine grassland, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 86(3): 277–286.
- Rotenberg, Eyal, Yakir D. (2010). Contribution of Semi-Arid Forests to the Climate System, *Science* 327 (5964): 451–54. doi:10.1126/science.1179998.
- Sakowska K., Alberti G., Genesio L., Peressotti A., Delle Vedove G., Gianelle D., Colombo R., Rodeghiero M., Panigada C., Juszczak R., Celesti M., Rossini M., Haworth M., Campbell B.-W., Mevy J.-P., Vescovo L., Cendrero-Mateo M.P., Rascher U., Miglietta F., (2018) Leaf and canopy photosynthesis of a chlorophyll deficient soybean mutant: photosynthesis of a Chl-deficient mutant, *Plant Cell Environ* 41, 1427–1437.
- Sanchez-Mejia Z.M., Papuga S.A., Swetish J.B., Van Leeuwen W.J.D., Szutu D., Hartfield K., (2014). Quantifying the Influence of Deep Soil Moisture on Ecosystem Albedo: The Role of Vegetation, *Water Resour. Res.* 50, 4038–4053.
- Șerban G., Tudor Cotfas D., Cotfas P.A., (2011). Significant differences in crop albedo among Romanian winter wheat cultivars, *Romanian Agricultural research*, NO. 28, 2011.
- Sieber P., Ericsson N., Hansson P.-A. (2019). Climate impact of surface albedo change in Life Cycle Assessment: Implications of site and time dependence, *Environmental Impact Assessment Review* 77: 191–200.
- Sieber P., Böhme S., Ericsson N., Hansson P.-A. (2022). Albedo on cropland: Field-scale effects of current agricultural practices in Northern Europe, *Agricultural and Forest Meteorology* 321: 108978.
- Sieber P., Ericsson N., Hammar T., Hansson P.-A. (2022). Albedo impacts of current agricultural land use: Crop-specific albedo from MODIS data and inclusion in LCA of crop production, *Science of The Total Environment* 853, 155455.
- Singarayer J.-S., Davies-Barnard T., (2012). Regional climate change mitigation with crops: context and assessment. *Phil. Trans. R. Soc. A* 370, 4301–4316.
- Smith Steven J., Rasch Philip J. (2013). The long-term policy context for solar radiation management, *Climatic Change* (2013) 121:487–497. DOI10.1007/s10584-012-0577-3.
- Song, J. (1999). Phenological influences on the albedo of prairie grassland

- and crop fields, *International Journal of Biometeorology*, 42(3): 153-157.
- Stock MN, Arriaga FJ, Vadas PA, Karthikeyan KG (2019). Manure application timing drives energy absorption for snowmelt on an agricultural soil. *Journal of Hydrology* 569: 51-60.
- Tisserant A., Cherubini F. (2019). Potentials, Limitations, Co-Benefits, and Trade-Offs of Biochar Applications to Soils for Climate Change Mitigation, *Land* 8:179.
- Usovich B., Lipiec J., Łukowski M., Marczewski W., Usovich J. (2016). The effect of biochar application on thermal properties and albedo of loess soil under grassland and fallow, *Soil and Tillage Research* 164: 45-51.
- Verheijen F.G.A., Jeffery S., van der Velde M., Penížek V., Beland M., Bastos A.C., Keizer J.J. (2013). Reductions in soil surface albedo as a function of biochar application rate: implications for global radiative forcing, *Environmental Research Letters* 8, 044008.
- Wang S., Davidson A. (2007). Impact of climate variations on surface albedo of a temperate grassland. *Agricultural and Forest Meteorology* 142 (2007). 133-142.
- Wang Y., Shao M., Zhu Y., Liu Z. (2011). Impacts of land use and plant characteristics on dried soil layers in different climatic regions on the Loess Plateau of China, *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 437-448.
- Wang Z., Schaaf C. B., Strahler A. H., Chopping M. J., Román M. O., Shuai Y., Woodcock C. E., Hollinger D. Y., Fitzjarrald D. R. (2014). Evaluation of MODIS albedo product (MCD43A) over grassland, agriculture and forest surface types during dormant and snow-covered periods, *Remote Sensing of Environment*, 140, 60-77. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.025>.
- Wen J., Zhao X., Liu Q., Tang Y., Dou B., (2014). An Improved Land-Surface Albedo Algorithm with DEM in Rugged Terrain, *IEEE Geosci. Remote Sens.*, 11, 883-887.
- Wigley TML (2006). A combined mitigation/geoengineering approach to climate stabilization, *Science* 314:452.
- Yongkang X., Shukla J. (1993). The Influence of Land Surface Properties on Sahel Climate, Part 1: Desertification, *Journal of Climate*, 12, 2232-45.
- Yan H., Wang S., Dai J., Wang J., Chen J., Shugart H.H. (2021). Forest Greening Increases Land Surface Albedo during the Main Growing Period between 2002 and 2019 in China, *J. Geophys. Res.-Atmos.* 126, e2020J-e33582J.
- Yang F. et al., (2008). Dependence of Land Surface Albedo on Solar Zenith Angle: Observations and Model Parameterization *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(11), 2963-2982.
- Yang Y., Wang K., (2019). The effect of different land use patterns on the microclimate and ecosystem services in the agro-pastoral ecotone of Northern China, *Ecological Indicators* 106: 105552.
- Yang J, Li Z, Zhai P, Zhao Y, Gao X (2020). The influence of soil moisture and solar altitude on surface spectral albedo in arid area, *Environmental Research Letters* 15: 035010.
- Yoon J., Chang D.Y., Lelieveld J., Pozzer A., Kim J., Yum S.S., (2019). Empirical Evidence of a Positive Climate Forcing of Aerosols at Elevated Albedo. *Atmos. Res.* 229, 269-279.
- Zamft B.M., Conrado RJ (2015). Engineering plants to reflect light: strategies for engineering water efficient plants to adapt to a changing climate, *Plant Biotechnology Journal* 13, 867-874.
- Zhang X., Jiao Z., Zhao C., Qu Y., Liu Q., Zhang H., Tong Y., Wang C., Li S., Guo J. et al., (2022). Review of Land Surface Albedo: Variance Characteristics, Climate Effect and Management Strategy, *Remote Sens.* 14, 1382.
- Zheng L., Zhao G., Dong J., Ge Q., Tao J., Zhang X., Qi Y., Doughty R.B., Xiao X., (2019). Spatial, Temporal, and Spectral Variations in Albedo Due to Vegetation Changes in China's Grasslands, *ISPRS J, Photogramm* 152, 1-12.
- Jousset, T. (2019). Can we compare plate meters with height sticks for mesure grass height? No.25, 139.
- Kuntz R., Kubalek C., Ruf T., Tataruch F., & Arnold W. (2006). Seasonal adjustment of energy budget in a large wild mammal, the Przewalski horse (*Equus ferus przewalskii*) I. Energy intake, *Journal of Experimental Biology*, 209(22), 4557-4565. <https://doi.org/10.1242/jeb.02535>
- Lenth, R. V. (2016). Least-Squares Means : The R Package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, 69(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v069.i01>
- Martin-Rosset, W. (2012). Chapitre 2 : Bases du rationnement. In *Nutrition et alimentation des chevaux*, Edition Quae, 81-109.
- Martin-Rosset, W., Tavernier, L., Trillaud-Geyl, C., Cabaret, J. (2012). Bases du rationnement.
- Micol, D. D., Martin-Rosset, W. W., & Trillaud-Geyl, C. (1997). Systèmes d'élevage et d'alimentation à base de fourrages pour les chevaux. *Productions animales*, 10(5), 363-374.
- National Research Council, U.S., (2007). Nutrient requirements of horses (6th rev. ed). National Academies Press.
- Ogle, D. H., Doll, J.-C., Wheeler, P., & Dinno, A. (2022). FSA: Fisheries Stock Analysis. <https://github.com/fishR-Core-Team/FSA>
- Peregrine, A. S., Molento, M. B., Kaplan, R. M., & Nielsen, M. K. (2014). Anthelmintic resistance in important parasites of horses: Does it really matter? *Veterinary parasitology*, 201(1-2), 1-8.
- Perera C. & E. (2019). Growth and Physiological Responses of Temperate Pasture Species to Consecutive Heat and Drought Stresses. *Plants*, 8(7), 227. <https://doi.org/10.3390/plants8070227>
- Seuret, J.-M., Theau, J. P., Pottier, E., Pelletier, P., Piquet, M., & Delaby, L. (2014). Des outils d'aide à la gestion du pâturage pour mieux valoriser les prairies et renforcer la confiance des éleveurs. *Fourrages*, 218, 191-201.
- Thatcher, C. D., Pleasant, R. S., Geor, R. J., & Elvinger, F. (2012). Prevalence of Overconditioning in Mature Horses in Southwest Virginia during the Summer. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 26(6), 1413-1418. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2012.00995.x>
- Wickham, H. (2016). *Elegant Graphics for Data Analysis*, Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>
- Zuluaga Cabrera A.M., Correa Valencia N.M.D.P. (2020). Body fat evaluation in Colombian Paso horses: Body condition score and morphometric and ultrasound measurements, *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 57(4), e171082. <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2020.171082>