

# EDITO : L'ALBEDO DES PRAIRIES

Depuis l'avènement de l'ère industrielle, les activités humaines ont généré un rejet massif de gaz à effets de serre (GES) dans l'atmosphère. Ces émissions de GES ont eu comme effet d'augmenter progressivement la température moyenne de la planète, estimée aujourd'hui à plus de 1.15°C par rapport à la période préindustrielle. Les émissions sont principalement dues à l'utilisation des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) mais aussi aux changements d'usage des terres, notamment à l'artificialisation des surfaces. L'agriculture a également contribué à accroître la pression anthropique en émettant des GES du fait d'un changement d'occupation des surfaces, ce qui a généré des émissions de CO<sub>2</sub> via le déstockage de C contenu dans la biomasse ou dans la matière organique des sols, typiquement par le biais de la déforestation et de la conversion des prairies en cultures. Le volet agricole a contribué aussi à émettre du méthane, exhalé par les ruminants ou émis par la fermentation de la matière organique du sol, ainsi que du protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) suite à la dégradation des engrais azotés par certaines bactéries du sol.

Cependant, le climat de la Terre n'est pas seulement perturbé par l'activité humaine même si l'impact des cycles biogéochimiques, qui sont à l'origine des émissions de GES, demeure significatif. D'autres processus rentrent en ligne de compte, qualifiés de bio-géophysique. Il s'agit au premier plan des modifications de l'albédo planétaire, en prenant pour exemple le rôle de l'atmosphère via la recrudescence des trainées d'avion due à une intensification du trafic aérien ou bien des surfaces via la déforestation. L'albédo est une variable climatique essentielle qui varie entre 0 et 1. Les valeurs les plus faibles correspondent à des cibles sombres (exemple de l'asphalte) et les plus hautes à des cibles claires (exemple de la neige). La végétation a un albédo qui varie sur une large fourchette, ce qui la rend attractive pour atténuer le climat compte tenu de son fort taux d'occupation. Les processus bio-géophysiques condi-

tionnent la façon dont l'énergie solaire se transforme : l'émission du rayonnement infrarouge pour ensuite interagir avec les GES dans l'atmosphère et amplifier le réchauffement climatique, le chauffage du sol, la production de tourbillons d'air chaud, ou encore l'évaporation du fait de la transpiration des plantes ce qui a un effet rafraîchissant. Chaque changement d'occupation du sol ou d'usage des terres et chaque changement de pratique agricole (ex. introduction de cultures intermédiaires versus intercultures en sol nu) entraîne à la fois des modifications des flux de GES mais aussi des flux d'énergie et d'eau, avec des effets à court-terme sur le climat régional (Georgescu *et al.*, 2011). En retour, les changements climatiques modifient les processus biogéochimiques et bio-géophysiques.

Ce large panorama d'interactions entre surfaces continentales et climat demeure très complexe et difficile à appréhender, encore plus à modéliser. A titre d'exemple, l'augmentation de la teneur atmosphérique en CO<sub>2</sub> tend à favoriser la croissance des végétaux via une stimulation de la photosynthèse mais engendre aussi des hausses en température qui accroissent le processus d'évaporation, ce qui peut causer des stress hydriques au niveau de la plante et donc limiter leur croissance. Les perturbations anthropiques du climat rendent globalement le système climatique plus erratique, son évolution plus difficile à prévoir et le risque d'observer des événements extrêmes plus élevé. Ralentir le dérèglement climatique devient de fait indispensable pour maintenir fonctionnels les systèmes agro-alimentaires.

Le protocole de Kyoto ratifié en 1997 par de nombreux pays lors de la COP3 visait à réduire les émissions de GES (on parle ici de méthodes CDR pour Carbon Dioxide Removals). Il a fallu toutefois attendre 2005 pour que ce protocole rentre en vigueur et il a fallu encore attendre jusqu'à la COP 21, qui a eu lieu à Paris en 2015, pour que la préservation et l'accroissement des stocks de

## Auteurs

E. Ceschia<sup>1</sup>, P. Mischler<sup>2</sup>, J.L. Roujean<sup>1</sup>, A. Chouteau<sup>3</sup>

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

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

3 : AFPP

carbone sous forme de matière organique dans les sols soient à l'agenda des tractations à propos du climat. Cela a débouché sur l'initiative « 4 pour 1000 » portée par la France et qui concerne la sécurité alimentaire en lien avec le climat. Elle repose sur le fait que l'ensemble des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> pourrait être compensée par un stockage additionnel de C organique dans les sols de l'ordre de 0,4 % par an (ou 4 pour 1000) notamment grâce à l'enfouissement de plus grandes quantités de biomasse végétale. Cette initiative a depuis suscité de nombreuses controverses concernant sa mise en application du point de vue de la faisabilité technique et également vis-à-vis de l'acceptabilité par la population des mesures à mettre en œuvre. Si elle est globalement à encourager, elle ne doit pas cependant faire oublier au grand public et aux décideurs que le réchauffement climatique n'est modulable ni via les processus bio-géophysiques, ni via les processus biogéochimiques mais plutôt par un vaste ensemble de mesures qui notamment les intègre.

Si l'albédo ait bien considéré par le GIEC comme un maillon essentiel de la machine climatique, toutefois les méthodes de géo-ingénierie visant à réfléchir plus de lumière vers l'espace et donc à accroître l'albédo (on parle ici de méthodes SRM pour Solar Radiation Management) présentent des risques sérieux pour l'environnement. Au niveau de l'atmosphère, il s'agit par exemple d'injecter des aérosols sulfatés qui renvoient mieux la lumière, au niveau des océans de mieux fertiliser à base de fer ou bien au niveau des surfaces continentales en peignant les surfaces en blanc. La communauté scientifique peut se montrer réticente à ce genre d'initiatives car l'albédo ne ralentirait pas en soi l'accumulation de GES dans l'atmosphère et non plus ne stopperait le processus d'acidification des océans qui peut engendrer une disparition des coraux et avoir des effets néfastes sur la conservation de la biodiversité marine. Aussi l'arrêt intempestif des méthodes de gestion de l'albédo pourrait engendrer un effet rebond qui se caractériserait par une augmentation soudaine de la température du globe conduisant à des perturbations climatiques brusques et aléatoires. Si le GIEC recommande la mise en œuvre d'actions connues qui visent à réduire les concentrations de GES dans l'atmosphère, il encourage également la recherche de solutions nouvelles provenant de la surface, dont fait partie en premier lieu l'accroissement de l'albédo planétaire de manière progressive, contrôlée et réversible.

Peu de travaux ont toutefois été menés jusqu'ici pour trouver des solutions combinant à la fois méthodes CDR et méthodes SRM depuis l'ère de l'établissement de nouveaux scénarios climatiques. Là encore deux principales raisons peuvent être invoquées. Au premier chef, cela concerne des outils de modélisation mal adaptés à la prise en compte des effets d'albédo liés aux changements d'usage des surfaces continentales mais aussi à une vision trop statique de l'albédo par type d'occupation du sol, ce qui a conduit à de fortes sous-estimations du potentiel d'atténuation que représentent les approches de type SRM (Luyssaert *et al.* 2015).

C'est dans ce contexte qu'au début des années 2010, Jean-Christophe Moreau, Ingénieur à l'Institut de l'Élevage et engagé dans des projets portant sur le changement climatique, s'est intéressé de près aux effets radiatifs liés à l'albédo suite à des échanges avec les chercheurs du CESBIO qui commençaient à travailler sur cette problématique pour les grandes cultures. Durant les 10 années qui ont suivies, les études démontrant le fort potentiel d'atténuation des surfaces cultivées via l'adaptation des pratiques agricoles pour accroître l'albédo de surface et parfois aussi le stockage de C dans les sols se sont succédées (Davin *et al.* 2014 ; Luyssaert *et al.* 2015 ; Ceschia *et al.* 2017 ; Kaye & Quemada 2017 ; Carrer *et al.* 2018 ; Lugato *et al.* 2020 ; Pique *et al.* 2023). Toutefois, ces études portaient essentiellement sur les grandes cultures et très peu avaient été menées sur les prairies (en particulier en France) alors qu'elles représentent respectivement 26 % et 21 % des surfaces continentales globales et françaises et qu'elles concernent au premier chef l'alimentation des ruminants.

L'Institut de l'Élevage et le CESBIO ont donc décidé de proposer le projet « Albédo-Prairies » au CASDAR afin d'approfondir le sujet. Lauréat de l'appel à projet de 2019, ce projet a démarré en 2020 et s'est achevé en 2023. Il avait comme objectifs :

- De mieux caractériser la variabilité spatio-temporelle de l'albédo des prairies en France grâce à des mesures réalisées en fermes expérimentales et depuis les satellites pour différentes modalités de gestion des prairies et situations pédoclimatiques.
- D'identifier et de quantifier des leviers d'augmentation de l'albédo dans un but d'atténuation du changement climatique, de la parcelle jusqu'à l'échelle de territoires, et le cas échéant, renforcer les arguments en faveur d'un élevage herbivore durable qui repose sur une utilisation optimale des prairies.

La mesure d'albédo in situ et satellitaire des prairies a été au cœur des travaux de ce projet. Six fermes expérimentales et 1 site INRAe ont participé à l'acquisition de données quotidiennes d'albédo, dans des contextes pédoclimatiques variés, entre le climat océanique du Finistère breton et le climat méso-méditerranéen d'Ardèche.

Ce numéro spécial de « Fourrages » vient compléter les premiers travaux publiés en lien avec ce projet (Mischler *et al.* (2022) ). Il fait le bilan de l'ensemble des résultats obtenus au travers des différents axes. L'axe 1 a abouti à un état de l'art des connaissances sur l'albédo (Ceschia, 2024, ce numéro), ainsi qu'à la production d'une importante quantité de données de suivi d'albédo sur le réseau de fermes, ce qui a servi à produire des références dans des systèmes variés et d'étudier l'impact des pratiques de gestion de l'herbe sur l'albédo (Mischler, 2022, Mischler, 2024 a). L'axe 2 s'est focalisé sur l'albédo à plus grande échelle grâce à 1) des suivis satellitaires

(Roujean *et al.*, 2024, ce numéro) des enquêtes terrain dans les fermes avoisinant les lieux d'expérimentation. Enfin l'axe 3 a évalué comparativement les effets sur l'albédo et le forçage radiatif de différents systèmes de production de fourrage (de 100 % cultures à 100 % à l'herbe) aux échelles d'exploitation et des territoires par rapport aux autres piliers de l'atténuation du changement climatique que sont le stockage de C et la réduction des GES (Mischler, 2024 b, ce numéro). Enfin, une enquête menée en fin de projet auprès des techniciens chargés des expérimentations a permis de dresser un rapport d'étonnement sur la perception de l'albédo par les éleveurs rencontrés au cours des 3 années de projet (Chouteau *et al.*, 2024, ce numéro).

et de la part d'herbe dans un assolement.. *Fourrages* 257, 63-71  
 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>.  
 Solomon S. (2007). Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, IPCC Climate Change, Cambridge Univ. Press.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 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.
- 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.
- Ceschia E., Ferlicoq, M., Mischler, P., Roujeau, J.L. (2024). La gestion de l'albédo des surfaces continentales: un levier d'atténuation du changement climatique ?, *Fourrages* 257, 29-40.
- 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.
- Chouteau A., Brelet P., Daveau B., Gautier D., Lecoœur P., Thudor A-S. (2024) Eleveurs et Albedo : retours d'expérience de fermes expérimentales. *Fourrages* 257, 83-88.
- Davin Edouard L., Sonia I., Seneviratne Philippe, Ciais Albert, Olliso and Tao Wang (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.
- Georgescu M., David B., Lobell, and Christopher B. Field (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.
- Kaye J.P., Quemada M. (2017). Using cover crops to mitigate and adapt to climate change, A review, *Agronomy for Sustainable Development*, 37.
- 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.
- Mischler P. (2024). La gestion de l'albédo des surfaces continentales : un levier d'atténuation du changement climatique ?, *Fourrages* 257, 75-81.
- 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.
- Mischler P., Ceschia E., Ferlicoq M. (2024a). Contribution de l'albédo de prairies gérées, pour contribuer à l'atténuation du changement climatique, *Fourrages* 257, 41-56.
- Mischler P., Kerjose E., Ceschia E., Ferlicoq M. (2024b). Impact sur l'albédo du pâturage, de la fauche, de l'implantation de culture intermédiaire