

Communauté de communes de
Montesquieu

Yves Brunet

Objet : votre lettre du 29 novembre 2021
(BF/HS/LN – 2021-11-73850)

Bordeaux, le 21 janvier 2022

Madame, Monsieur,

Vous m'avez adressé le 29 novembre dernier une lettre relative à l'appréciation du projet HORIZÉO, portant sur un point spécifique : « *Un nouveau risque aurait été identifié par rapport à l'impact climat [d'un tel parc photovoltaïque de 1 000 ha] relatif à l'état d'enneuagement au-dessus du massif landais. Ce dernier agirait comme régulateur thermique de toute l'Europe de l'Ouest.* »

Compte tenu de la complexité des processus mis en jeu, je pense qu'il serait important de formuler clairement la question afin de pouvoir préciser la nature du « risque », s'il y en a un : celui que vous évoquez est-il qu'un parc photovoltaïque de cette taille pourrait induire un plus grand ennuagement, ou qu'au contraire il pourrait limiter ce dernier ? Par ailleurs, prêter au massif landais le rôle de « *régulateur thermique de toute l'Europe de l'Ouest* » ne me semble pas reposer sur des arguments solides : une zone forestière d'une centaine de kilomètres de longueur dans la direction perpendiculaire aux vents dominants a, certes, une influence sur la météorologie et le climat « régionaux », mais de là à parler de « *toute l'Europe de l'Ouest* » me paraît pour le moins exagéré.

Je vais néanmoins essayer, dans cette lettre, de répondre à votre interrogation en résumant succinctement les éléments de connaissance disponibles relatifs aux parcs photovoltaïques, aux forêts et à l'enneuagement.

Tout d'abord, il n'y a pas à ma connaissance d'étude scientifique qui ait été menée sur le sujet à l'échelle de parcs de cette taille (1 000 ha, ou 10 km²). On trouve en effet :

la science pour la vie, l'humain, la terre

UMR 1391 ISPA

Centre INRAE Nouvelle-Aquitaine – Bordeaux

71, avenue Edouard Bourlaux

CS 20032

33882 Villenave d'Ornon cedex

- soit des études numériques simulant des parcs gigantesques où l'on considère par exemple les effets locaux et globaux que pourrait générer la conversion en parc solaire de 20 % à 50 % du Sahara (Lu et al., 2021), voire de 100 % du Sahara (Li et al., 2018). Elles montrent que le remplacement de régions désertiques par des fermes d'une telle taille provoquerait un ennuagement plus fort et des précipitations locales accrues, mais aussi une redistribution des précipitations à l'échelle globale, avec notamment une forte réduction en Amazonie ;
- soit des observations réalisées sur des parcs existants, de dimension plus faible ou similaire à celle de HORIZÉO – par exemple 1.15 km² pour l'étude de Jiang et al. (2021), 1,62 km² pour celle de Broadbent et al. (2019), 2.37 km² pour Yang et al. (2017) et 9.16 km² pour Chang et al. (2018). Mais ces observations sont restreintes à quelques effets microclimatiques locaux, concernant notamment la température de l'air et du sol.

La question de l'impact éventuel de parcs de la taille d'HORIZÉO sur des phénomènes atmosphériques de plus grande échelle, tels que l'ennuagement et les précipitations, n'a donc pas été abordée dans la littérature. Pour avancer quelques éléments d'analyse, considérons les conséquences du remplacement d'un îlot forestier de l'ordre de 10 km² par un parc solaire.

Abordons pour cela, dans un premier temps, l'impact des forêts sur l'ennuagement. Cette question est déjà ancienne, et l'on a observé des réponses variées : dans certains cas (typiquement : forêts tempérées et boréales), la couverture nuageuse en été est souvent plus importante au-dessus des massifs forestiers que dans les zones alentour, dans d'autres (typiquement : Amazonie, Afrique centrale, sud-ouest des États-Unis) on peut observer l'inverse (Garcia-Carreras et al., 2010 ; Branch et Wulfmeyer, 2019 ; Xu et al., 2021).

Plusieurs raisons peuvent expliquer ces différences de comportement. Dans le cas qui nous intéresse ici (massif landais, en zone forestière tempérée), c'est bien une augmentation de l'ennuagement que l'on observe lors des périodes estivales (juin-août) au-dessus du massif, par rapport aux zones extérieures. C'est ce qu'ont montré notamment Teuling et al. (2017) sur le massif landais (et la forêt de Sologne), dans une étude reposant sur l'analyse de dix années d'observations satellitaires permettant d'évaluer la couverture nuageuse à des pas de temps de quinze minutes. Le même article a en outre montré que pendant les cinq années ayant suivi la tempête Klaus (qui a mis à terre environ un tiers du massif landais en son centre), cette différence d'ennuagement avait significativement diminué.

Une telle différence d'ennuagement entre zones forestières et non forestières est attribuée en grande partie à la différence de flux de chaleur sensible¹ observable pendant la journée entre ces deux ensembles (Bosman et al., 2019), ce flux étant plus élevé en zone forestière : en raison d'un plus faible albédo et d'une température de surface plus basse, la forêt a en effet

¹ Le flux de chaleur sensible est un flux turbulent, lié aux gradients de température, qui est échangé entre les surfaces et l'atmosphère.

un rayonnement net plus fort que les zones agricoles alentour, et le surplus de rayonnement se répartit entre flux de chaleur sensible et flux de chaleur latente (évaporation). C'est ce flux de chaleur sensible, particulièrement fort en période estivale lorsque le sol est suffisamment sec, qui est principalement responsable de mouvements turbulents pouvant entraîner la formation de nuages convectifs de couche limite (de type « cumulus de beau temps »). Ce mécanisme de mélange est amplifié par la rugosité de la forêt, plus élevée que celle des terrains agricoles avoisinants.

Cependant, si une telle différence de rayonnement et de flux de chaleur sensible peut être observée localement, ses conséquences sur l'ennuagement ne se manifestent qu'à une échelle plus grande, car les effets observés par Teuling et al. (2017) sont des effets de « massif » forestier. Plusieurs publications (p. ex. Avissar et Schmidt, 1998 ; Patton et al., 2005) ont montré par simulation que, dans des conditions estivales typiques en moyenne latitude, il fallait une taille élémentaire d'hétérogénéité de surface d'au moins 5 à 10 km pour que les conséquences de cette hétérogénéité soient perceptibles à l'échelle de la couche limite (au sommet de laquelle se forment les nuages dont il est question ici). Et pour que des hétérogénéités de surface donnent naissance à des précipitations significatives, il faut des dimensions plus grandes encore (Lynn et Abramopoulos, 2001). Une parcelle de forêt d'une taille de 1 000 ha (représentant un carré de 3.2 km de côté) ne devrait donc pas avoir un impact notable sur l'ennuagement – même dans le cas de nuages convectifs de basse altitude –, et a fortiori sur les précipitations.

Par ailleurs, il est important de noter que les caractéristiques physiques d'un parc solaire susceptibles d'agir sur le comportement de l'atmosphère sont intermédiaires entre celles d'une forêt sur pied et celles de surfaces agricoles (ou de chablis forestiers). Par rapport à ces dernières, un parc a en effet un albédo en général plus faible (les panneaux solaires sont plus sombres que la végétation et leur disposition piège le rayonnement solaire) ainsi qu'une rugosité plus forte ; la présence des panneaux y rend l'humidité relative en général plus élevée ; les températures sont plus faibles sous ces panneaux, et similaires ou légèrement plus fortes au-dessus (pouvant à l'occasion générer un léger îlot de chaleur, comme l'ont remarqué Barron-Gafford et al., 2017). Ces éléments sont décrits dans plusieurs publications (p. ex. Yang et al., 2017 ; Chang et al., 2018 ; Wu et al., 2020). On peut estimer sur cette base que les valeurs du flux de chaleur sensible résultant sont elles aussi intermédiaires entre celles observées au-dessus de forêts et de surfaces agricoles. On trouve dans la littérature très peu de mesures directes de ce flux ; les deux seuls articles détaillés sur la question (Broadbent et al., 2019 ; Jiang et al., 2021) vont bien dans ce sens en montrant que le flux de chaleur sensible est systématiquement plus élevé, pendant la journée, au-dessus d'un parc solaire qu'à côté (sol nu avec végétation éparse, dans ces études).

Ainsi, pour ces deux raisons, il est très vraisemblable – même si aucune étude ne l'a formellement démontré à ce jour – qu'un projet de parc solaire de type HORIZÉO, venant en remplacement de parcelles forestières, n'est pas susceptible d'avoir une influence significative sur l'ennuagement : sa taille est trop faible pour avoir un impact sur les mécanismes convectifs

responsables des formations nuageuses estivales de couche limite (type cumulus), et ses caractéristiques physiques ne devraient pas conduire à un bilan d'énergie très différent de celui des parcelles forestières préexistantes.

Voici donc, à ce stade et sans entreprendre d'étude spécifique sur les mécanismes responsables de l'ennuagement aux échelles du projet HORIZÉO, ce que l'on peut répondre à votre interrogation.

Avec mes salutations les plus cordiales,



Yves Brunet

Directeur de recherche Inrae

Références citées

- Avisar R., Schmidt T., 1998. An evaluation of the scale at which ground-surface heat flux patchiness affects the convective boundary layer using large-eddy simulations. *J. Atmos. Sci.*, 55, 2666-2689.
- Barron-Gafford G.A. et al., 2016. The photovoltaic heat island effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Sci. Rep.*, 6, 35070.
- Bosman P.J.M. et al., 2019. Sensible heating as a potential mechanism for enhanced cloud formation over temperate forest. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 145, 450-468.
- Branch O., Wulfmeyer V., 2019. Deliberate enhancement of rainfall using desert plantations. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 116, 18841-18847.
- Broadbent A.M. et al., 2019. The observed effects of utility-scale photovoltaics on near-surface air temperature and energy balance. *J. Appl. Meteorol. Clim.*, 58, 989-1006.
- Chang R. et al., 2018. Observed surface radiation and temperature impacts from the large-scale deployment of photovoltaics in the barren area of Gonghe, China. *Renewable Energy*, 118, 131-137.
- Garcia-Carreras L. et al., 2010. Impact of mesoscale vegetation heterogeneities on the dynamical and thermodynamic properties of the planetary boundary layer. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115, 1-12.
- Jiang J. et al., 2021. The impact of utility-scale photovoltaics plant on near surface turbulence characteristics in Gobi areas. *Atmosphere*, 12, 18.
- Li Y. et al., 2018. Climate model shows large-scale wind and solar farms in the Sahara increase rain and vegetation. *Science*, 361, 1019-1022.
- Lu Z. et al., 2021. Impacts of large-scale Sahara solar farms on global climate and vegetation cover. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL090789.

Lynn B.H., Abramopoulos F., 2001. A parameterization for the triggering of landscape-generated moist convection. Part I: Analysis of high-resolution model results. *J. Atmos. Sci.*, 58, 575-592.

Patton E.G. et al., 2005. The influence of idealized heterogeneity on wet and dry planetary boundary layers coupled to the land surface. *J. Atmos. Sci.*, 62, 2078-209.

Teuling AJ et al., 2017. Observational evidence for cloud cover enhancement over western European forests. *Nature Comm.*, 8, 14065.

Wu W. et al., 2020. Observational study on the impact of large-scale photovoltaic development in deserts on local air temperature and humidity. *Sustainability*, 12, 3403.

Xu R et al., 2021. Contrasting impacts of forest on cloud cover based on satellite observations. *Earth and Space Science Open Archive*, doi:10.1002/essoar.10506387.1 (soumis à évaluation).

Yang L.W. et al., 2017. Study on the local climatic effects of large photovoltaic solar farms in desert areas. *Sol. Energy*, 144, 244-253.