Université de Montréal

PHY 2100 – Physique environnementale

Projet - Panneaux solaires

par :
Lyna Karkri (20246338)

Rapport remis le 3 mai 2024

1 Introduction

L'un des plus grands défis dont l'humanité fait face aujourd'hui est celui de la production et de la gestion de l'énergie. La population mondiale croît exponentiellement, engendrant ainsi une demande énergétique considérable. L'option des énergies renouvelables devient alors alléchante en période de réchauffement climatique causé en partie par l'activité humaine.

Nous avons vu dans le chapitre 4 que l'astre autour duquel nous orbitons, le Soleil, nous émet une énorme quantité de flux. Tout dépendamment de la latitude et de la période de l'année, l'insolation moyenne varie entre 0 et 500 W/m^2. Par exemple, à l'équateur, l'insolation est moyennée (par journée et annuellement) à 400 W/m^2. Ce flux solaire peut être transformé en électricité par l'entremise de panneaux solaires.

FIGURE 1 – Désert du Sahara à Merzouga, au Maroc. On remarque quelques herbes à la gauche, mais la majorité du sol est couvert de dunes. Photo prise par Lyna en juin 2022.

2 Sahara

2.1 Territoire

Pour que l'énergie solaire soit produite en grande quantité, il faut donc couvrir une grande surface de panneaux solaires et la région choisie doit recevoir une irradiance solaire importante. Le désert du Sahara, situé dans la partie nord du continent africain, semble être le lieu parfait pour l'exploitation de cette énergie. Étant le troisième plus grand désert après l'Antarctique et l'Arctique, deux déserts de types

polaires, le Sahara couvre près de 9 000 000 km^2 [1]. Couvrir qu'une partie de ce désert chaud pourrait fournir suffisamment d'énergie pour l'humanité entière ! De plus, par sa situation géographique, le Sahara pourrait facilement alimenter l'Afrique, mais également l'Europe et le Moyen-Orient.

Région aride, peu habitée et composée majoritairement de sable, l'irradiance solaire atteint une moyenne journalière de 500 W/m^2 l'été (voir figure 4.5 `Insolation journalière moyenne en fonction du jour de l'année et de la latitude`). On peut alors approximer une irradiance solaire au sol de 1000 W/m^2 le jour. En prenant en compte l'efficacité maximale de cellules de panneaux solaires $\eta = 0.2$, ce sont donc 200 W/m^2 d'électricité produite par énergie solaire. En faisant le choix judicieux de couvrir 20% du Sahara par des panneaux solaires, l'énergie produite serait alors de :

$$E = 20\% \times 9 \times 10^9[m^2] \times 1000[W/m^2] \times \eta = 3.6 \times 10^{11} W \tag{1}$$

Cette approximation est valide puisqu'en ne considérant que 6 mois où l'irradiance solaire est de 1000 W/m^2 le jour, la valeur s'élève à 66 TW, ce qui est largement supérieur à la consommation annuelle mondiale de 16 TW (voir chapitre 3.5 des notes de cours). Couvrir 20 % du désert du Sahara serait-il alors la solution au problème énergétique dont nous faisons et ferons face ?

2.2 Problématique

Bien que cette solution semble être adéquate sur le plan énergétique, il y a des effets environnementaux non négligeables à considérer. Pour mieux comprendre les enjeux, dressons un portrait des caractéristiques du désert du Sahara, en considérons que celui-ci est constitué majoritairement de sable.

Productivité	P	0.58 $\times 10^2$ [kg(C)/an]
Albedo du sable sec	α_{ss}	0.35 (0.3-0.4)
Albedo du sable mouillé	α_{sm}	0.25 (0.2-0.3)
Porosité	p	0.26-0.45

Table 1 – Caractéristiques du sol du désert du Sahara, composé majoritairement de sable. Les données proviennent des chapitres 3 et 4 des notes de cours.

La productivité P du désert est relativement faible en comparaison avec les océans et les forêts, ayant respectivement des valeurs de 20.3 et 18.9 $\times 10^2$ [kg(C)/an]. L'exploitation de 20 % n'impacte donc peu la productivité de cette région peu habitée et peu productive. En effet, cette région est caractérisée par une faible présence de végétaux et est presque entièrement couverte de dunes (voir figure 1). Les albedos du sable sec et mouillé se moyennent à 0.3. Il pourrait porter à croire que les panneaux solaires ayant un albedo différent pourrait donc affecter la température de la région exploitée. L'albedo des panneaux solaires, soit la réflectivité moyenne de leur surface, est de 0.23 [2]. Ainsi, les panneaux solaires reflètent moins l'irradiance solaire que le sable. Il est à noter que l'albedo n'est pas seulement déterminé par la couleur de la surface, mais également par le contenu en eau. La porosité du sable sera un facteur clé dans la suite de l'analyse.

Telle que mentionnée précédemment, l'efficacité maximale des cellules photovoltaïques qui composent les panneaux solaires est de $\eta = 0.2$. Ceci signifie que seuls 20% de l'irradiance solaire est convertie en électricité. Les 80% restants sont alors réfléchis, réémis sous rayonnement thermique ou dissipés sous forme

1. BENSAÂD, A. et GRITZNER, J. A. "SAHARA" dans Universalis. Encyclopædia Universalis. https://www.universalis.fr/encyclopedie/sahara/

2. Stern, R., Amer, M., Müller, J., Tatarinov, F., Segev, L., Rotenberg, E., and Yakir, D. : "“Solar panels forest” and its radiative forcing effect : preliminary results from the Arava Desert", EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-18924, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-18924, 2020.

de chaleur. C'est ce facteur qui est problématique si le cinquième du Sahara est exploité pour son énergie solaire. Selon une étude de 2018 évaluant les effets de la couverture de 20% du Sahara [3], il y aurait une augmentation de la température de près de 1.5 K le jour. Cette hausse locale de la température accélérerait l'évaporation de l'eau contenue dans le sol. Cette même étude prédit également une augmentation de 50% des précipitations dans la région selon leur modèle climatique. Des précipitations dans cette région aride perturberaient ainsi l'environnement et les écosystèmes qui le composent.

2.3 Modèle RSPF

Dans le modèle Réservoir-Source-Puits-Flux, nous avons deux réservoirs thermiques : les panneaux solaires et le sable. L'irradiance solaire S_0 est réduite par l'albedo α. Ici, l'approximation suivante est effectuée, puisque l'albedo n'est pas l'enjeu principal de la discussion :

$$\alpha_{panneaux} \approx \alpha_{ss} \approx \alpha_{sm} \approx \alpha = 0.29 \tag{2}$$

L'énergie thermique des panneaux solaires, provenant de (1-η) où η correspond à l'efficacité maximale des panneaux solaires, est irradiée vers le sable et vers l'espace. C'est ainsi que le sable reçoit un excès de chaleur par la présence des panneaux solaires. L'évaporation de l'eau contenue dans le sable par sa porosité p (voir table 1) est alors accélérée par l'émission thermique des panneaux solaires. En effet, pour établir l'équilibre thermique du sol, l'évaporation d'une partie de son contenu en eau doit avoir lieu, de la même façon que le corps humain transpire lors d'un effort physique. Pour comprendre davantage la physique derrière l'évaporation et la transpiration, le projet de Léo Gauthier-Torres couvre plus en profondeur le sujet. Il est à noter que ce modèle est simplifié et considère que les panneaux solaires et le sable irradient comme des corps noirs par la loi de Stephan-Boltzmann, ainsi que l'atmosphère est transparente à l'irradiance solaire. Pour contrer ce phénomène, il faudrait une efficacité η proche de 1, ce qui ne peut être atteint. L'autre méthode serait d'ajouter un système de refroidissement aux panneaux solaires.

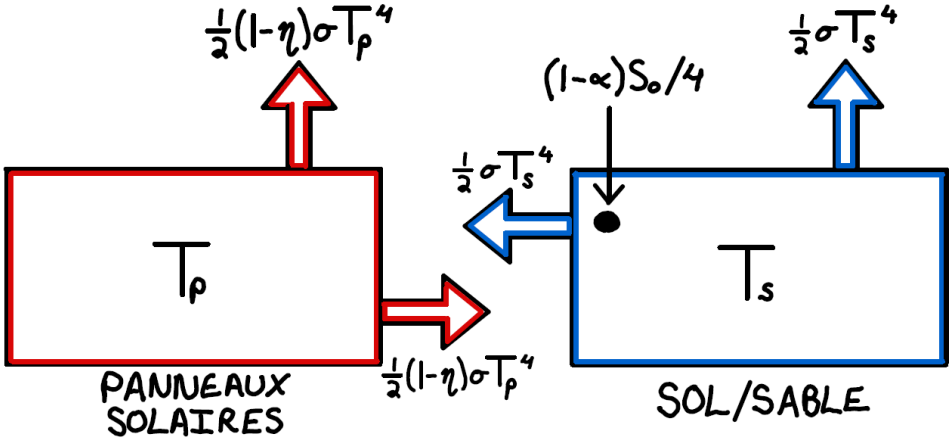

FIGURE 2 – Représentation RSPF de l'énergie solaire entre les réservoirs de panneaux solaires et du sable. η est l'efficacité maximale des panneaux solaires, σ est la constante de boltzmann et α est l'albedo moyen. La transmittivité t pourrait être ajoutée au modèle.

3. Yan Li et al. (2018). "Climate model shows large-scale wind and solar farms in the Sahara increase rain and vegetation". Science361, 1019-1022. DOI : 10.1126/science.aar5629

3 Exemple

Le projet `NOOR Ouarzazate` au Maroc, représenté à la figure 3, constitue aujourd'hui la plus grande centrale solaire thermodynamique. La technologie utilisée, nommée "Concentrated solar power" (CSP), concentre les rayons solaires vers une tour réceptrice à l'aide d'un grand système de miroirs. L'énergie thermique alimente alors une turbine, produisant ainsi de l'électricité [4]. Cette alternative contourne alors la limitation de l'efficacité des panneaux solaires. De plus, le système CSP est doté d'un système de refroidissement.

FIGURE 3 – Complexe solaire NOOR Ouarzazate. Photo fournie par l'Agence Marocaine de l'Énergie.

4 Autres effets

Dans cette discussion, certains aspects n'ont pas été considérés. Par exemple, dans les déserts, les différences de températures sont grandes entre le jour et la nuit. Cette variation thermique serait un enjeu à considérer dans le choix des panneaux solaires à utiliser. De plus, le sable et les vents dans le Sahara pourraient détériorer les panneaux. Bref, l'environnement demanderait un entretien particulier des panneaux solaires et possiblement des remplacements plus fréquents engageant des coûts en conséquence.

Par ailleurs, les 9 000 000 km^2 que compose le Sahara ont un lien étroit avec les océans et l'Amazonie. En effet, l'augmentation de la température et la présence croissante de végétaux dans la région modifierait le mouvement de l'air, les précipitations et même la circulation océanique à long terme [5]. Le sable du

4. Solar Energy Technologies Office. (2010). "Concentrating Solar-Thermal Power Basics". https://www.energy.gov/eere/solar/concentrating-solar-thermal-power-basics

5. "Covering the Sahara with Solar Panels May Not Be as Viable as People Think". (2022). Project Solar UK. https://www.projectsolaruk.com/blog/covering-the-sahara-with-solar-panels-may-not-be-as-viable-as-people-think/

Sahara contient des nutriments essentiels transportés par les vents à l'Océan Atlantique ainsi qu'à la forêt Amazonienne [6]. En effet, la poussière du Sahara contenu dans les vents nourrit la faune marine et agit comme engrais aux végétaux par son contenu en fer et en phosphore. Lorsqu'une tempête de sable survient, la poussière est projetée en haute altitude et est transportée par les vents [7]. Pour plus de détails sur ce phénomène physique, vous pouvez consulter le projet de Timothé Payette. Cette interdépendance entre écosystèmes serait potentiellement perturbée. Certains prédisent même que l'Amazonie deviendrait un désert et le Sahara, une immense forêt !

5 Conclusion

À la lumière de ce qui précède, bien que couvrir que 20% du désert du Sahara de panneaux solaires pour y exploiter l'énergie solaire alimenterait assez d'énergie renouvelable pour l'humanité, cette pratique serait lourde en conséquences. En effet, la limite d'efficacité η de 0.2 des cellules photovoltaïques qui composent les panneaux solaires émettraient de la chaleur dans l'environnement, causant ainsi une évaporation accélérée du contenu en eau du sable. Une hausse de température et de précipitations dans le désert modifierait les écosystèmes de la région. À long terme, l'Océan Atlantique et la forêt Amazonienne seraient également impactés négativement. Un système de refroidissement ajouté aux panneaux solaires ou la technologie CSP utilisée au complexe solaire NOOR Ouarzazate représentent de bonnes alternatives à l'augmentation de chaleur lors de l'exploitation de l'énergie solaire dans le désert du Sahara.

6. GURDJIAN, C. (2021). "Comment le sable du Sahara fertilise la forêt amazonienne". GEO Magazine. https://www.geo.fr/environnement/comment-le-sable-du-sahara-fertilise-la-foret-amazonienne-204533

7. GARNER, R. (2015). "NASA Satellite Reveals How Much Saharan Dust Feeds Amazon's Plants". NASA.https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/goddard/nasa-satellite-reveals-how-much-saharan-dust-feeds-amazons-plants/