
Collecter l'eau de rosée : un défi scientifique et sociétal

Laurent Royon¹, Remy Herbaut¹, Joachim Troseille², Anne Mongrue², D. Beysens²

Laurent.royon@u-paris.fr

¹ IUT Paris Pajol, Université de Paris Cité
LIED, UMR 8436

¹ ESPCI, Sorbonne Université
PMMH, UMR 7636

Thèmes – Physique - Énergie - Environnement - - Matériaux -

Résumé – *Le changement climatique a fortement limité l'accès à l'eau potable dans certaines régions du globe. Récupérer la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère grâce à des condenseurs de rosée pourrait résoudre en partie ce problème et constituer une source d'eau supplémentaire, s'ajoutant à l'eau de pluie. Pour accroître le rendement de ces dispositifs encore beaucoup trop faible (~0,4 litre/m²/jour), nous proposons d'exploiter ici deux effets : i) les effets de bords et ii) les effets d'une texturation biomimétique. L'exploitation de ces 2 effets sur des plaques d'aluminium montre une augmentation de près de 30% de l'eau collectée comparée à la même surface non traitée. La technique est simple, peu coûteuse et sera facile à mettre en œuvre pour développer des condenseurs plus performants.*

.

Mots-Clés – Condensation, échange radiatif, rosée, tension superficielle

1 Introduction

Dans un contexte de réchauffement climatique et de diminution des ressources en eau, il est urgent de trouver de nouvelles issues pour collecter de l'eau pure. Une solution est de condenser de façon passive, par refroidissement radiatif, la vapeur d'eau atmosphérique présente partout dans le monde ($\sim 12900 \text{ km}^3$). L'eau de rosée, souvent ignorée jusqu'à présent, peut servir de source d'eau supplémentaire, s'ajoutant à l'eau de pluie et de brouillard. Les condenseurs actuels offrent cependant des rendements relativement modestes ($\sim 0,4 \text{ l/jour/m}^2$) alors que le rendement maximum théorique est de l'ordre de 1 l/jour/m^2 [1].

Notre travail, initié à la suite d'un projet tuteuré portant sur le froid radiatif et la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique sur une surface refroidie, s'est porté sur la recherche de surfaces innovantes, peu coûteuses et issues du bio-mimétisme dans l'objectif d'améliorer le rendement de la collecte d'eau de rosée. Cet article dresse, après un rappel sur le procédé physique et la méthodologie adoptée, un panorama et résumé de nos études réalisées sur cette activité de recherche.

2 Présentation du procédé

La figure 1 présente le spectre du rayonnement reçu à la surface de la Terre dans la gamme U-visible-IR. Entre 8 et $12 \mu\text{m}$, on peut observer une faible densité de rayonnement dans cet intervalle de longueur d'onde appelé « sky windows ». Un corps noir à 15°C ou à 25°C émettra alors largement plus que ce qu'il recevra du ciel. Un simple bilan thermique permet de montrer que la surface exposée au ciel est alors en déficit radiatif si son émissivité est proche de 1 et que le milieu environnant n'interagit que très peu par rayonnement.

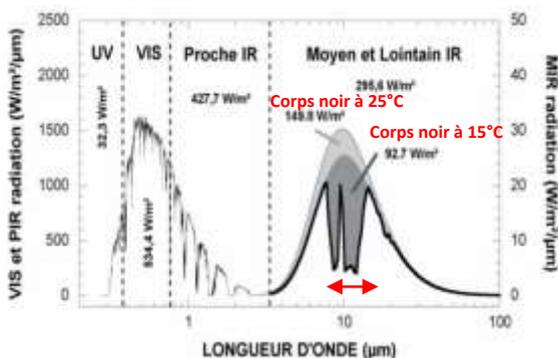


Figure 1 - spectre du rayonnement solaire incident et spectre infrarouge incident à la surface du globe (en gras). Trait gris foncé, émittance d'un corps noir (288,1K, 15°C); trait gris clair, émittance d'un corps noir (303,1K, 30°C).

La surface est alors en déficit radiatif et la température de surface va par conséquent diminuer avec la possibilité

d'atteindre la température de rosée. La vapeur d'eau présente dans l'atmosphère près de la surface peut alors se condenser et former des microgouttelettes qui vont par la suite coalescer pour former des gouttes de tailles plus importantes. Sur une surface est inclinée d'un angle α , la goutte glissera uniquement si son poids devient supérieur à la résultante des forces de tension superficielle comme l'illustre la figure 2.

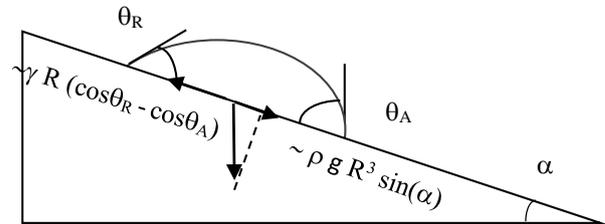


Figure 2 – représentation schématique d'une goutte de rayon moyen R sur un plan incliné, présentant un angle de contact θ_A à l'avant et θ_R à l'arrière).

La taille critique du rayon pour une goutte d'eau est $R \sim 1 \text{ mm}$ pour un angle de 30° sur une surface lisse. Si cette taille n'est pas atteinte, la goutte reste accrochée sur la surface comme la goutte de pluie sur un pare-brise.

Comment alors faire déplacer des gouttes, de taille plus petite, de manière naturelle ? Une démarche biomimétique peut apporter quelques éléments d'inspiration pour répondre à ce challenge.

3 Une démarche biomimétique

Certains animaux et certaines plantes ont la possibilité grâce à la forme structurale de leur surface et une forte émissivité dans l'infra-rouge, de pouvoir récupérer de l'eau de l'atmosphère. La figure 3 montre deux expériences réalisées en chambre radiative sur une araignée recouverte en surface des micro-poils et sur un cactus. Le résultat montre que la goutte de rosée se forme en priorité à la pointe du poil pour l'araignée et à l'extrémité de l'épïne pour le cactus. La goutte glisse par gravité ou se déplace par des phénomènes de tension superficielle. Cette collecte naturelle de la rosée a constitué notre source d'inspiration en vue d'entreprendre de développer des formes de condenseurs plus efficaces.



Figure 3 – goutte de rosée sur une araignée (à gauche) et sur les épines de cactus (à droite) (crédit photographique : j. Troseille).

4 Exploiter les effets de bords

Lorsque vous faites de la cuisine l'hiver, il est fréquent de voir la formation de gouttelettes de condensation sur la vitre froide de la fenêtre. Si vous regardez leur croissance, vous remarquez que les gouttes près du bord grossissent nettement plus vite que celle au centre. Partant de cette observation, nous avons refroidis une plaque métallique et observer qu'une goutte sur un bord grossit 2,5 fois respectivement plus vite que celle au centre, comme l'illustre la figure 3 présentant ce phénomène de condensation à la surface d'un corps de pompe.



Figure 3 – goutte de condensation à la surface froide d'un corps de pompe.

Les grosses gouttes vont donc glisser plus tôt que les autres et jouer le rôle d'essuie-glace lors de leur chute. Ce phénomène a donc un intérêt notable dans le défi d'améliorer la collecte de rosée.

5 Exploiter une texturation de surface

Les exemples précédents montrent que la présence d'aspérités joue un rôle précurseur dans la formation des gouttes de condensation. Dans l'objectif de créer des condenseurs à la fois bon marché et exploitant ces effets, nous avons choisi d'utiliser la technique de sablage. Des billes de silice à une pression de 2 bar sont projetées pour créer de la rugosité à la surface d'une plaque d'aluminium. L'intérêt de cette méthode est d'une part sa facilité de mise en œuvre et son coût et d'autre part une rugosité aléatoire moyenne de $r=2\mu\text{m}$ bien répartie sur l'ensemble de la plaque initialement lisse ($r\sim 0,5\mu\text{m}$). Des expériences plaçant des surfaces rugueuses et lisses dans des conditions identiques de condensation ont été réalisées. Sur les plaques lisses, le départ de la collecte d'eau de rosée est très aléatoire alors que sur la surface rugueuse, les différents essais montrent un début identique à quelques dizaines de secondes près. Cette différence peut être expliquée par la distribution des défauts sur chaque surface. La nucléation des gouttes d'eau sur la surface lisse est très sensible aux contaminations de gras, de poussières ou de dépôts minéraux présents dans l'air. En revanche sur le duralumin rugueux, les défauts créés par sablage sont plus homogènes et ont une distribution plus stable, ce qui donne des résultats plus reproductibles.

En cumulant les effets de bords, la collecte s'effectue de manière plus précoce comme le montre la courbe de la figure 4 présentant le volume d'eau récupéré en fonction du temps. La pente est similaire sur tous les essais.

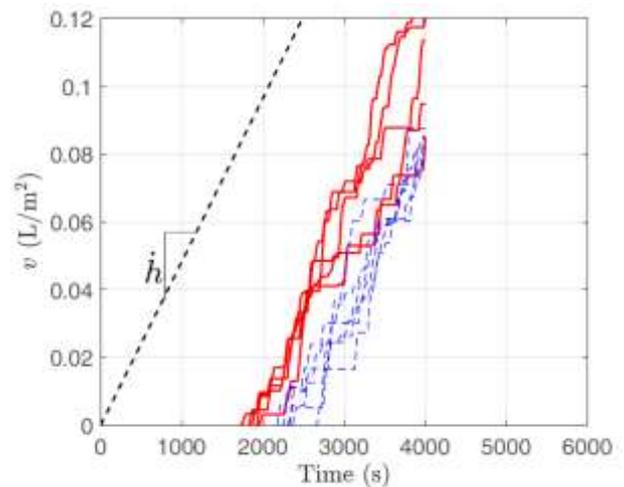


Figure 4 Volume d'eau condensé par unité de surface et collecté en bas de la plaque de Duralumin rugueux en fonction du temps. T de l'air = 30°C, HR = 70%, T en surface = 23,5°C. Lignes continues : avec effets de bord. Lignes interrompue : sans effets de bord. Ligne pointillée : épaisseur du film équivalent sur la surface de référence avec $\hat{h} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ mms}^{-1}$

6 Conclusions

Le décrochage des gouttes de condensation s'effectue plus rapidement sur une surface préalablement traitée par sablage que sur la même surface lisse non traitée, augmentant ainsi le volume d'eau collectée. La rugosité de la surface, composée de défauts topologiques permanents, augmente en effet le nombre et la qualité des sites de nucléation, améliorant la reproductibilité de la collecte. En combinant les effets du sablage et les effets de bord, on peut accroître substantiellement la collecte passive par gravité de l'eau condensée sur un substrat. Des gains d'environ 30% comparé à la même surface non traitée peuvent être espérés grâce à cette technique simple et peu coûteuse pouvant ainsi améliorer les performances des futurs condenseurs.

7 Remerciements

Les auteurs remercient la fondation nationale IUT et l'Anr 20-CE08-0023-01 Metawater pour leur soutien financier à ces travaux de recherche.

Références

- [1] Daniel Beysens, Dew Water, River Publishers, Gistrup, 2018.
- [2] J. Trosseille, A Mongruel, L. Royon, D. Beysens, Radiative cooling for dew condensation, Int. J. Heat & Mass Transfer, 172 (4), 121160, 2021.