

BRISES THERMIQUES À ZAHLE (LIBAN ORIENTAL)

Rabih ZEIN AL DINE, Salem DAHECH

| Université Paris Cité, laboratoire PRODIG, UMR 8586, rabihzeineddin@hotmail.com, salem.dahech@gmail.com

Thermal breezes at Zahle (Eastern Lebanon)

Mots-clés : brises thermiques, inversion thermique, Zahlé

Keywords: thermal breezes, thermal inversion, Zahlé

Introduction

Diverses études ont été menées sur les brises orographiques, notamment les travaux de Fallot (1991), Whiteman (2000), Beltrando *et al.* (2008), Carrega (2013) et Zeinaldine & Dahech (2023). Ces recherches ont examiné les flux catabatiques et anabatiques dans des régions topographiquement complexes. Par ailleurs, des investigations ont été menées sur la pollution de l'air dans le contexte des brises thermiques en régions méditerranéennes, telles que l'étude de Dahech *et al.* (2006). Ces travaux ont mis en évidence l'importance des brises thermiques dans la répartition spatiale des polluants.

1. Méthodes et données

Les caractéristiques des brises orographiques sont étudiées à partir des données tri-horaires mesurées entre 1994 et 2023 par la station Houch El Oumaraa à Zahlé, ville située dans la vallée de la Bekaa au Liban à 920 m d'altitude. En complément, pendant la saison estivale de l'année 2022, trois stations météorologiques de type Davis, avec une résolution temporelle de 30 minutes, ont été installées dans la région de Zahlé. Une quatrième station a été ajoutée en 2023. L'objectif de ces stations est d'approfondir l'analyse des phénomènes atmosphériques locaux et de compléter les informations recueillies par la station Houch El Oumaraa. Ces stations ont été implantées dans des environnements variés et à des altitudes différentes, afin d'étudier les phénomènes dans des contextes urbains, périurbains, ainsi que sur les pentes et dans le fond de la vallée. Parallèlement, des campagnes de mesure itinérantes ont été menées en 2022 pour enregistrer les paramètres météorologiques et mesurer les niveaux de pollution atmosphérique en particules (PM_{2.5} et PM₁₀) à deux moments spécifiques : pendant les périodes d'inversion thermique et d'activité de la brise de vallée. De plus, des relevés verticaux de la température atmosphérique ont été effectués jusqu'à une altitude de 500 mètres à l'aide d'un drone équipé de capteurs de température de type « Tynitag », permettant ainsi d'analyser les variations de température dans la couche limite.

2. Caractéristiques des brises orographiques à Zahlé

Les brises thermiques à Zahlé jouent un rôle crucial dans le régime des vents et le climat local. Ces phénomènes météorologiques, résultant des contrastes thermiques dans une région à topographie complexe, sont bien marqués et influencent significativement les conditions atmosphériques tout au long de l'année. Zahlé, nichée au cœur de la vallée de la Bekaa, bénéficie d'un climat méditerranéen avec des étés chauds et secs. Pendant la saison estivale, les brises thermiques sont particulièrement fréquentes, contribuant à la dynamique atmosphérique quotidienne. Au cours des mois estivaux, les observations météorologiques révèlent la prédominance des brises de montagne et de vallée. À Houch El Oumaraa, leur fréquence atteint 94%. Les journées de brise se succèdent et forment des séquences de deux jours ou plus dans 98% des cas durant la saison estivale.

Au lever du jour, une renverse matinale indique la transition vers une brise de vallée soufflant du SSE-S-SSO. La vitesse de cette brise diurne varie entre 1 et 5 m/s et peut atteindre parfois 6 m/s ; elle persiste jusqu'à la fin de la journée (Fig. 1A).

Durant la nuit, une brise de pente catabatique se forme, soufflant généralement de l'O avec une vitesse faible et une atmosphère calme. Dans le même temps, les stations Davis installées en 2022 révèlent la présence d'une brise de montagne soufflant du NO-N au fond de la vallée. L'advection de l'air frais et humide pendant les nuits dégagées vers la vallée entraîne une baisse de la température atmosphérique jusqu'à atteindre le point de rosée. Cela a pour effet de saturer l'air en vapeur d'eau, conduisant à une augmentation de l'humidité relative qui atteint 100% pendant la nuit et le matin. Ceci se traduit par la formation de gouttelettes de rosée sur les plantes et par l'apparition de brouillard. En ce qui concerne la température, une inversion thermique se produit pendant la nuit et persiste jusqu'au matin (entre 8 et 10h heure locale) (Fig. 1B), moment où elle prend fin, dissipant le brouillard grâce à l'effet de la radiation solaire. L'analyse des données de température moyenne estivale de l'année 2022, enregistrées à deux stations Davis – l'une en fond de vallée à 873 m/mer et l'autre sur un versant à 1010 m/mer – révèle que

le fond de la vallée est plus froid la nuit, avec un écart moyen de 5,3°C à 6h. Cependant, pendant la journée, le fond de la vallée affiche une chaleur supérieure aux versants, avec un écart moyen de 3°C mesuré à 16h entre ces deux stations. Cette occurrence des brises et des inversions thermiques est favorable à la détérioration de la qualité de l'air en présence des activités polluantes au fond de la vallée telles que l'incinération des déchets.

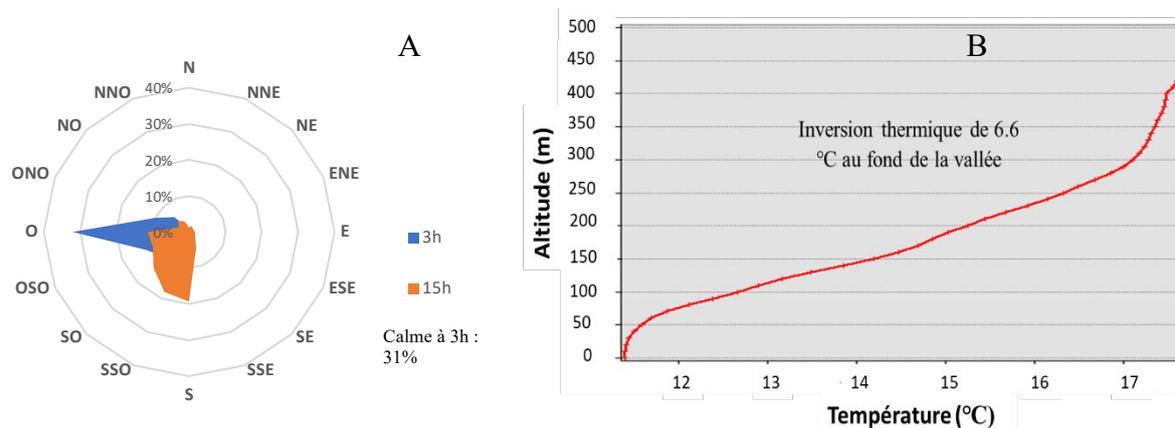


Figure 1. Rose des directions par pourcentages à Houch El Oumaraa durant la saison estivale pour la période 1994-2023 à 3h durant la brise de pente catabatique et à 15h durant la brise de vallée (A) ; inversion thermique au fond de la vallée mesurée par drone le 4-6-2022 à 5h30 (B)

Conclusion

Les observations montrent une augmentation significative du taux des polluants pendant les périodes d'inversion thermique, où les contaminants restent piégés dans la couche d'inversion proche du sol, entraînant une concentration accrue de substances nocives. En revanche, la brise de vallée favorise la dispersion des polluants, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air dans la région.

Bibliographie

- Beltrando, G., Dahech, S., & Madelin, M. (2008). L'intérêt de l'étude des brises thermiques : Exemples des brises littorales et orographiques. *Bulletin de La Société Géographique de Liège*, **51**, 49–61.
- Carrega, P. (2013). Le climat urbain de Nice en milieu géographique contrasté : Synthèse par approche inductive. *Climatologie*, **10**, 9–34. <https://doi.org/10.4267/climatologie.75>.
- Dahech, S., Beltrando, G., & Quénot, H. (2006). Brise de mer et pollution atmosphérique à Sfax (Tunisie). *Pollution Atmosphérique*, **190**, 211-222. <https://doi.org/10.4267/pollution-atmospherique.1527>.
- Fallot, J.-M. (1991). Etude de la ventilation de la vallée de la Sarine en Gruyère. *Geographica Helvetica*, **46(1)**, 32–41. <https://doi.org/10.5194/gh-46-32-1991>.
- Whiteman, C. D. (2000). Diurnal Mountain Wind. In C. D. Whiteman (Ed.), *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications* (p. 0). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195132717.003.0019>.
- Zeinaldine, R., & Dahech, S. (2023). Topoclimatic characteristics of Zahlé (Eastern Lebanon): Thermal breezes and urban heat island phenomenon – Preliminary results. *Theoretical and Applied Climatology*. Volume **154**, pages 1075–1098, <https://doi.org/10.1007/s00704-023-04619-6>.