

## BRISES THERMIQUES À BIZERTE : APPROCHE MULTISCALEAIRE

**Mounir SELLAMI.<sup>1,2</sup>, Salem DAHECH.<sup>1</sup>, Sami CHARFI.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> : Université Paris Cité, UMR PRODIG ([mounir\\_sellami@yahoo.fr](mailto:mounir_sellami@yahoo.fr)) ([salem.dahech@gmail.com](mailto:salem.dahech@gmail.com))

<sup>2</sup> : Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Laboratoire SYFACTE ([charfisami\\_geo@yahoo.fr](mailto:charfisami_geo@yahoo.fr))

**Résumé** : À Bizerte, agglomération littorale, de l'extrême nord de la Tunisie, le tracé en angle droit du trait de côte et la topographie contrastée ainsi que l'occupation du sol variée, influencent l'aérodynamisme locale, notamment en été. Les contrastes thermiques terre-mer donnent naissance à la brise de mer et la brise de terre. Cette dernière est dédoublée par la brise de montagne qui s'écoule sur les versants de djebel Ennadhour. La brise littorale est plus fréquente en été, saison durant laquelle elle est observée durant deux tiers des journées. Elle souffle à une vitesse moyenne de 6 m/s du nord et de l'est à cause d'un tracé en angle droit du trait de côte. Souvent, elle est devancée par une brise de lac soufflant du Sud. La brise de terre est de faible vitesse ; elle ne dépasse pas 3 m/s. Sa trajectoire est influencée par la topographie : elle longe les basses plaines et les vallées sises à l'ouest de la station météorologique de la base aérienne Sidi Ahmed. À une échelle plus fine, à l'intérieur de la ville, la morphologie urbaine et l'orientation vers la mer entrent en action pour impacter à la fois l'orientation et la vitesse des brises. Les voies larges et à faible encaissement avec une même orientation que la brise de mer enregistrent des vitesses de vent oscillant entre 3 m/s en début de l'après-midi et 4 m/s en fin d'après-midi. Les voies plus encaissées et moins larges enregistrent des vitesses entre 4 et 7 m/s, respectivement en début de l'après-midi et en fin d'après-midi.

**Mots clés** : Brises, multiscaleaire, morphologie urbaine, Bizerte

**Summary** —In Bizerte, a coastal agglomeration in the north of Tunisia, the right angle course of the coastline and the contrasting topography as well as the varied land use influence the local aerology, especially in summer. The land-sea thermal contrasts give rise to the sea breeze and the land breeze. The latter is split by the mountain breeze that flows on the slopes of Jebel Ennadhour (Dahech and Charfi., 2018). The coastal breeze is more frequent in summer, a season during which it persists for more than two thirds of the days. It blows at an average speed of 6 m/s from the north and east because of a right-angled course of the coastline. Often, it is preceded by a lake breeze blowing from the southern quadrant. The land breeze is of low speed; it does not exceed 3 m/s. It generally blows towards the sea. Its trajectory is influenced by the topography: it runs along the low plains and valleys located to the west of the Sidi Ahmed air base meteorological station. On a finer scale, inside the city, other factors come into play to impact both the orientation and the speed of the breezes. The influence of urban morphology is felt when comparing traffic lanes oriented in the direction of the breezes and others that are sheltered. The width of these roads and their entrenchment, the distance to buildings, as well as their exposure to the sun influence the breezes. The wide and shallow ways with the same orientation as the sea breeze recorded wind speeds oscillating between 3 m/s at the start of the afternoon and 4 m/s at the end of the afternoon. The steeper and narrower ways recorded speeds between 4 and 7 m/s, respectively at the beginning of the afternoon and at the end of the afternoon.

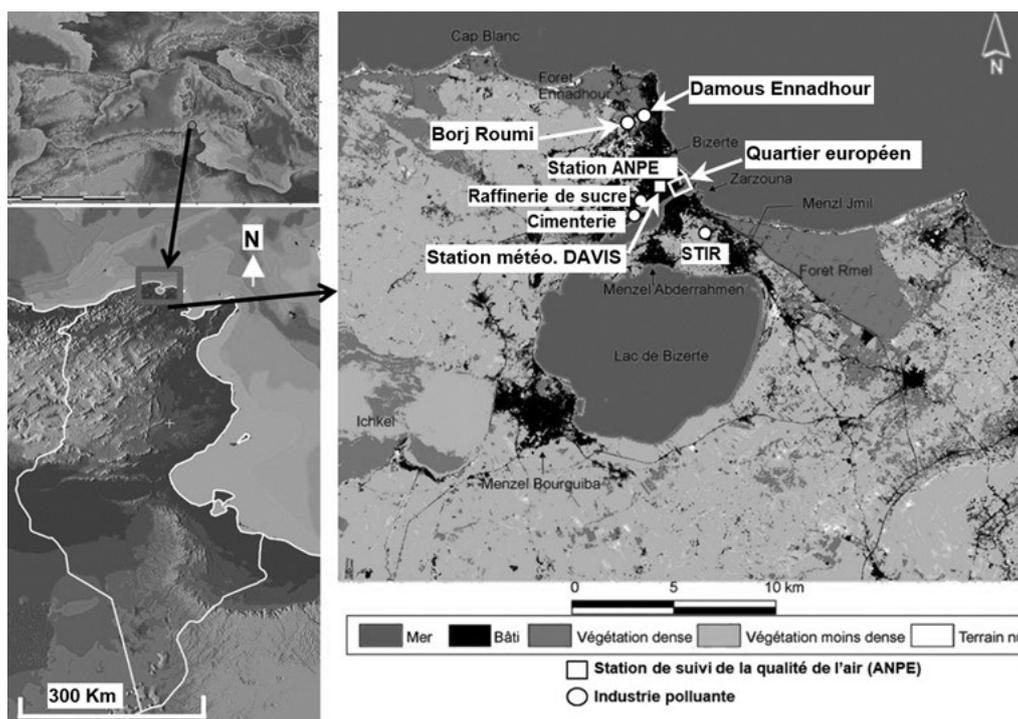
**Keywords** : Breezes, multiscalear, urban morphology, Bizerte

## Introduction

Conscients de leurs impacts environnementaux, sanitaires voire socio-économiques, les géographes-climatologues s'intéressent de plus en plus à l'étude de l'aérodologie, notamment les brises thermiques. Leur rôle dans le transfert des polluants et la sensation du confort thermique est indéniable (Beltrando et al., 2009). L'observation et la description des brises thermiques ont fait l'objet de nombreuses études, que ce soit pour les brises littorales (Dahech, 2006 et 2007), orographiques (Madelin, 2004) ou urbaines (Carrega, 1994). À Bizerte, en Tunisie septentrionale, l'étude de la brise est très intéressante car elle impacte le confort thermique et la dispersion des polluants primaires et photochimiques durant la saison estivale chaude et à ciel clair. Les caractéristiques de la brise de mer ont été évoquées par Dahech et Charfi (2018) et ce en comparant les données de deux stations : la première synoptique se trouvant à 9,7 Km du littoral, la deuxième est une station météorologique expérimentale fixe Davis, installée à quelques dizaines de mètres de la mer. Dans ce qui suit, nous présentons une étude multiscalaire de l'aérodologie à Bizerte à deux échelles différentes : l'échelle de l'agglomération et ses environs et l'échelle locale du quartier européen.

### 1. Zone d'étude

Située au nord de la Tunisie, l'agglomération de Bizerte (350 000 d'habitants) s'étend de Menzel Jemil au sud, à la Corniche au nord. Elle se caractérise par une topographie contrastée (de 2 m près de la côte à 250 m au niveau des hauteurs d'Ennadhour au nord) et un tissu urbain diversifié (fig. 1). Ces conditions agissent fortement sur l'écoulement des brises thermiques et la répartition spatiale des polluants.



**figure 1.** Localisation et emprise urbaine dans l'agglomération de Bizerte (Dahech et Charfi, 2018)

Bizerte bénéficie d'un climat méditerranéen. L'aérodologie locale est très influencée, notamment en été, par les facteurs géographiques locaux : effets de la mer, du lac et de la topographie. En été, particulièrement, les conditions radiatives omniprésentes favorisent les contrastes thermiques terre-mer et donnent naissance à la brise de mer et la brise de terre. Cette dernière se confond avec la brise de montagne qui s'écoule sur les versants de djebel Ennadhour (au nord de l'agglomération avec une forêt portant le même nom). La périphérie rurale, plus végétalisée, est plus fraîche la nuit que le centre de Bizerte, par temps radiatif avec un vent faible et une nébulosité nulle (Dahech et Charfi, 2018).

## 2. Données et méthodes

Des données météorologiques horaires de la direction et la vitesse du vent, de la température de l'air et du point de rosée, la visibilité et la pression atmosphérique de la station sise à l'aérodrome de Sidi Ahmed à Bizerte sont des données de l'Institut National de la Météorologie (ce sont des données horaires METAR téléchargées depuis le site de la NOAA). Elles couvrent la période 1973-2021. En complément, des campagnes de mesure semi-itinérantes de quelques paramètres météorologiques ont été réalisées du 15 au 21 août 2021. Ces données s'ajoutent à celles fournies par une station météorologique DAVIS qu'on a installée au centre-ville de Bizerte du 07 août au 21 septembre 2020. Elle mesure les paramètres précités avec un pas de temps demi-horaire.

En parallèle, des mesures météorologiques (température, humidité et vent), à une échelle plus fine, ont été réalisées dans le quartier européen en tenant compte de la morphologie urbaine et de la direction dominante de la brise de mer. Cette campagne semi-itinérante, au mois d'août 2021, couvre un réseau de 70 points de mesure.

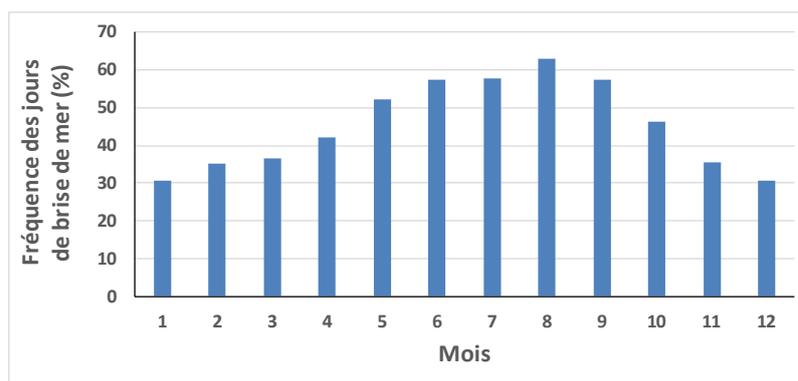
Des filtres<sup>1</sup> ont été appliqués sur les données météorologiques horaires afin de sélectionner les jours de brise. Il s'agit essentiellement de la vitesse du vent, la pression atmosphérique et les précipitations. Ces critères sont structurés sous forme de filtres (Dahech et al., 2012), une méthode inspirée des travaux de Borne et al., (1998) et Dahech et al., (2005).

## 3. Caractéristiques des brises thermiques à Bizerte

### 3.1. Direction et vitesse à l'aérodrome de Sidi Ahmed

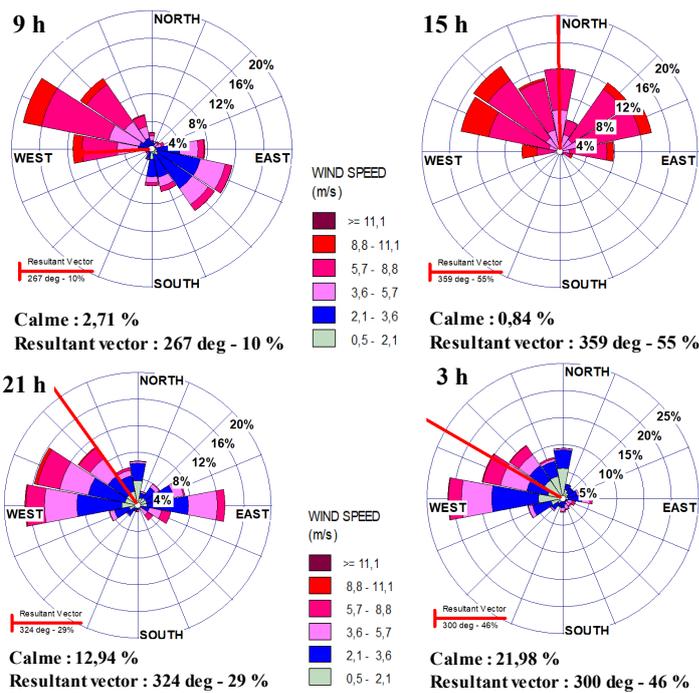
Bizerte est une des régions les plus ventées en Tunisie où le vent synoptique s'impose l'hiver. Cependant, en été, les situations de marais barométrique sont plus fréquentes (Dahech et al., 2018) et le temps radiatif domine (vent faible et ciel clair). Ces conditions sont propices au déclenchement de la brise de mer.

La brise de mer atteint sa fréquence maximale au mois d'août avec 63%. En hiver, elle devient moins occurrente : sa fréquence est alors de l'ordre de 30-35% (d'après les données de la station de Sidi Ahmed). La figure 2 représente la fréquence mensuelle moyenne de brise de terre-mer à Bizerte entre 1973 et 2021. D'une façon globale, à partir des données de la période 1973-2021 (après avoir filtré les jours de brises des mois de juin, juillet et août), la brise de terre souffle du quadrant sud de 23h jusqu'à 8h du matin, une brise de mer oscillant entre E et SE se lève à 8h et persiste jusqu'à 20h.

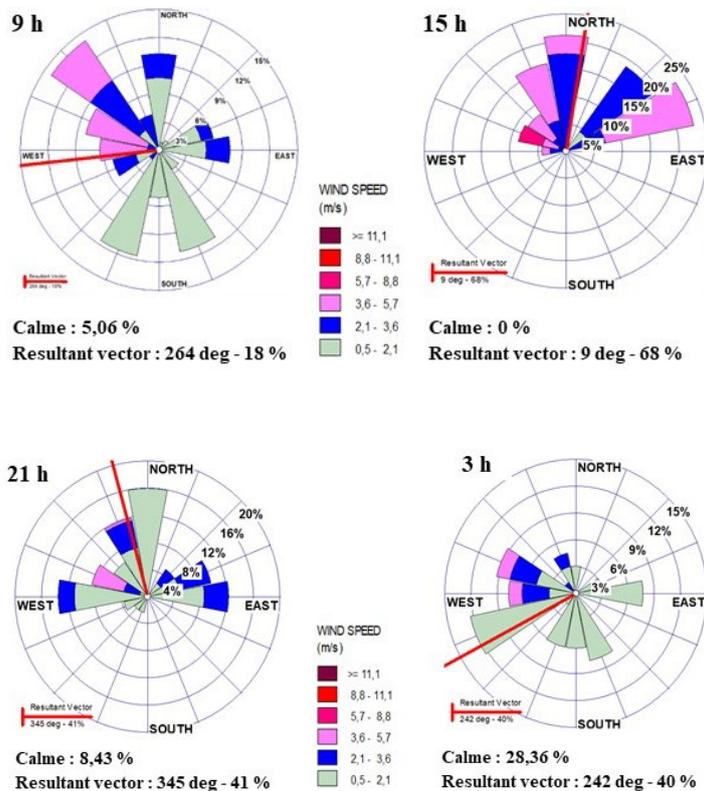


**figure 2.** Fréquence mensuelle (%) des jours de brise terre-mer (Données METAR téléchargées depuis le site de la NOAA, période 1973-2021)

<sup>1</sup> La méthode utilisée s'est basée essentiellement sur des jours pluvieux et cycloniques (sont retenus les jours sans précipitations et durant lesquels la pression est supérieure à 1007 hPa). Puis, ont été retenus les jours où la vitesse du vent maximale instantané est inférieure à 12 m/s. Ensuite, les jours où il y a alternance de brises de mer et de terre sont sélectionnés.



**figure 3.** Roses de vent par tranches de vitesse enregistré à 9h, 15h, 21h et 3h dans la station de l'aérodrome de Bizerte, durant les mois de juin, juillet et août entre 1973 et 2021 (Données METAR téléchargées depuis le site de la NOAA).



**figure 4.** Roses de vent par tranches de vitesse enregistré à 9h, 15h, 21h et 3h dans la station DAVIS installée au CRDA de Bizerte au centre-ville, du 07 août au 21 septembre 2020.

La brise nocturne est de faible vitesse ne dépassant pas les 3 m/s et soufflant vers la mer (fig. 3). Influencée par la topographie, elle longe les basses plaines et les vallées sises à l'ouest de la station météorologique de la base aérienne Sidi Ahmed. À cause de la distance entre la station de Sidi Ahmed et le lac (1km au nord), d'une part, et la mer de l'autre (11,5 km), on enregistre deux type de brises : une brise de terre soufflant vers le lac (vent de N à NW) ou vers la mer (W à WSW) et une brise de lac (par temps calme, soit environ 25% des situations de brise en été) précédant celle de la mer. Elle souffle du SE avec une vitesse souvent inférieure à 4 m/s à 9h du matin (fig. 3).

### 3.2. Caractéristiques de la brise près de la mer d'après les données de la station fixe : du 07 août au 21 septembre 2020

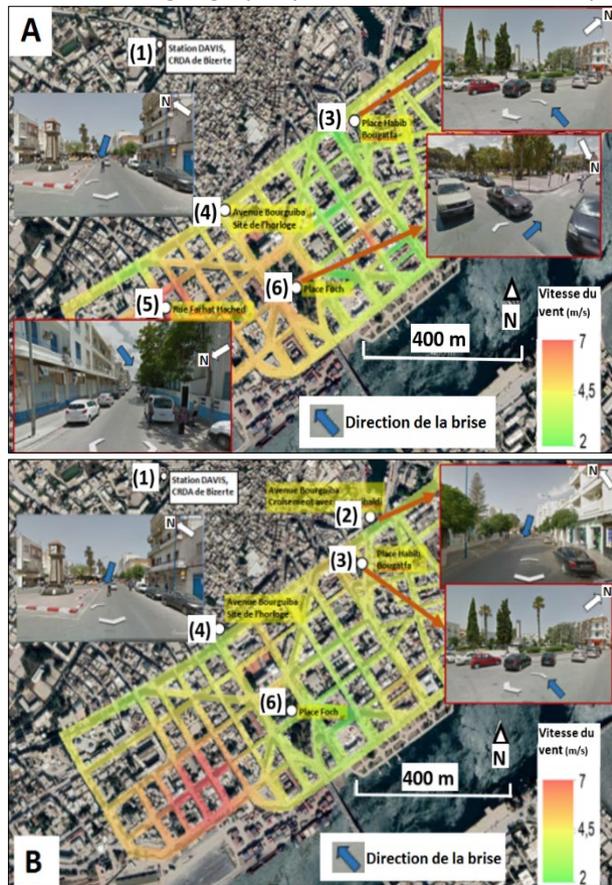
Les données météorologiques recueillies de la station DAVIS sur la période 07 août - 21 septembre 2020 ont quasiment reproduit ce qui est décrit par Dahech et Charfi, 2018 « une brise de mer qui se lève vers 9h30, soit environ trois heures après le lever du soleil, et se couche vers 21h soit environ deux heures après le coucher du soleil ». D'après la campagne de mesure de 2020 nous remarquons une brise de mer venant de l'E (vers 9h30) et du N vers 12h00. L'heure du coucher de la brise de mer varie de 21h00 à minuit. Le matin à 9h, le contraste thermique entre terre et mer n'étant pas très prononcé, le site de la station se trouve sous l'influence de plusieurs flux d'air : brise d'amont des secteurs N et NW (celle du NW est plus importante de point de vue fréquence et vitesse parce que plus

canalisée par la topographie), brise de terre du secteur W avec une fréquence moins importante, une autre brise de terre du secteur S et une brise de mer avec une vitesse avoisinant les 3,5m/s. A 15h, le contraste thermique terre-mer bien prononcé, la brise de mer prend de l'ampleur et vient du N et de l'E, à une vitesse comprise entre 2m/s et 5,7 m/s. Cette vitesse est plus faible que celle enregistrée dans l'aérodrome où le milieu est plus dégagé. Sur la rose de 21h, on remarque que la brise de mer laisse la place pour les brises d'amont (du N) et de terre de l'W. A 3h, le calme devient plus fréquent, de faibles brises soufflant à la fois de la campagne, de la montagne et de la terre se chevauchent (fig. 4).

Bien connue par la direction qu'elle peut emprunter, la brise de mer du secteur E souffle ou bien en perpendiculaire au trait de côte (90°) ou bien en oblique du NE. En se basant sur les roses de vent du jour, le trajet de la brise de mer venant du secteur N est influencé par la topographie par effet de canalisation (couloir topographique d'une longueur de 3,5 km de la mer jusqu'au niveau de Damous Ennadhour ou jusqu'au niveau de Borj Roumi). Le vent synoptique dominant soufflant du N au NW peut influencer également la direction de la brise de mer (Pédélaborde, 1985).

### 3.3. L'étude des brises à l'échelle fine en ville : cas du quartier européen

Dans le quartier européen, avec un plan en damier, le choix des itinéraires de mesure, a été fondé sur la représentativité des points de mesures des différentes situations des sites par rapport à l'orientation géographique et à la brise et la morphologie des rues (fig. 5).



**figure 5.** Vents en début de l'après-midi (A) et en fin d'après-midi (B) (les 20 et 21 août 2021), (1) Station DAVIS, (2) Croisement Avenue Habib Bourguiba et rue Garibaldi, (3) Place Habib Bougatfa, (4) Avenue Habib Bourguiba-site de l'horloge, (5) Rue Farhat Hached, (6) Place Foch

L'analyse des mesures mobiles prouve que l'architecture du quartier européen à Bizerte influence en grande partie l'écoulement du flux d'air dont la source est la brise de mer<sup>2</sup>. En effet, la disposition, l'orientation, la largeur, l'encaissement, la rugosité et la distance par rapport à la mer des voies de circulation peuvent être classées en deux grandes classes : (1) des voies orientées dans le même sens de l'écoulement de la brise de mer (venant de l'Est-ENE) avec un dimensionnement (largeur entre 8 et 12 mètres) permettant l'écoulement fluide de l'air, (2) des voies, généralement en oblique d'une orientation NW et dont la largeur est moins importante que la première catégorie (5-10 mètres) (fig. 5). Une autre orientation des rues, moins fréquente, est celle du E-W. Elle s'individualise par des largeurs importantes variantes entre 10 et 15 m. Les sites enregistrant des brises avec les vitesses les plus importantes (6-7 m/s) sont variant entre le début et la fin de l'après-midi (fig. 5). Les sites caractérisés par un encaissement moins important et des rues plus larges, tels que les ronds-points, connaissent des vitesses de brises plus faibles et ce par effet de "relâchement" de l'effet de canalisation comme le site du rond-point de l'horloge à l'avenue de Habib Bourguiba.

<sup>2</sup> La campagne des mesures itinérantes dans le quartier européen est réalisée pendant la période où la brise de mer est active.

## Conclusion

Dans cette étude des brises thermiques, nous exploitons les données météorologiques horaires enregistrées entre 1973 et 2021 par la station de l'aérodrome de Sidi Ahmed à 11 Km de la mer à l'ouest ainsi que des données météorologiques issues d'une station automatique DAVIS installée au centre-ville de Bizerte durant la période estivale de 2020. En complément, on a pu exploiter les données des campagnes itinérantes en août 2021. Les connaissances sur les caractéristiques des brises à Bizerte ont pu être améliorées à deux échelles. Une première échelle locale de toute l'agglomération de Bizerte et de son arrière-pays, ainsi qu'une deuxième échelle plus fine au niveau du quartier européen de Bizerte. Nous avons pu déceler qu'en fonction de l'éloignement du littoral et de la diversité des éléments topographiques et de l'occupation du sol, la brise de mer apparaît tout d'abord sur les sites proches du littoral Est. Elle est plus tardive quand elle souffle du littoral Nord, ou aussi pour arriver à l'arrière-pays de l'agglomération. La brise de mer, d'une vitesse variante entre 2 et 8 m/s, subit les effets perturbateurs de la topographie et de l'occupation du sol dont les caractéristiques thermiques sont contrastées. L'agglomération de Bizerte et son arrière-pays se trouve sous différents types de brises : brises de mer (Est et Nord), brises de lac (SW pour le centre-ville de l'agglomération et SE pour son arrière-pays), brises de terre (NW et W) et brise d'amont (N et NNW). À une échelle plus fine, au niveau du quartier européen, étant donné que les données sont relevées pendant la période où c'est la brise de mer qui est active, les analyses ont pu montrer que l'architecture urbaine influence la circulation de l'air : la vitesse de la brise est plus importante dans les rues à faible largeur, à fort encaissement et qui ont des orientations parallèles à celle de la brise de mer. Par endroit, le vent thermique peut subir l'effet du site (effet canyon, effet tourbillon, ...) et de ses caractéristiques thermorégulateurs (végétation, effet d'ombre, ...).

Dans des travaux futurs nous souhaitons montrer l'impact de la brise thermique sur la répartition spatiotemporelle de la pollution de l'air à Bizerte.

## Bibliographie

- Beltrando G., Dahech S. et Madelin M., 2009 : L'intérêt de l'étude des brises thermiques : exemples des brises littorales et orographiques », *Bull. Soc. Géogr. de Liège*, vol. **51**, 49-61.
- Borne K., Chen D. and Nunez M., 1998 : A method for finding sea breeze days under stable synoptic conditions and its application to the Swedish west coast. *Int. J. Climatology*, **18**, 901-914.
- Carrega P., 1994 : Topoclimatologie et habitat, *Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée*, **35** et **36**, 408p.
- Dahech S., 2007 : Le vent à Sfax (Tunisie), impacts sur le climat et la pollution atmosphérique. Thèse de doctorat de l'Université Paris VII, 309 p.
- Dahech S., Beltrando S., et Bigot S., 2005 : Utilisation des données NOAA-AVHRR dans l'étude de la brise thermique et de l'îlot de chaleur. Exemple de Sfax (SE tunisien). *Cybergeo* : European Journal of Geography article 317, <http://cybergeo.revues.org/3132> ; DOI : 10.4000/cybergeo.3132.
- Dahech S., Berges J.C. et Beltrando G., 2012 : Localisation et dynamique du front de la brise de mer au Maghreb oriental, *Climatologie*, volume **9**, 59-81.
- Dahech S., et Charfi S., 2018 : Aspects topoclimatiques de Bizerte (NE de la Tunisie) : îlot de chaleur et brises thermiques, *Les imprévisibles du LPED : Variabilité, changement climatique et conséquences en Méditerranée*, 138-158.
- Madelin M., 2004 : L'aléa gélif printanier dans le vignoble marnais en Champagne. Modélisation spatiale à une échelle fine des écoulements de l'air et des températures minimales. Thèse de doctorat de l'Université de Paris VII, 347 p.
- Pédélaborde P., 1985, « Les brises de mer et les brises de terre », *Géographie et recherche*, vol. **54**, 97-111.