ANALYSE DE L'AÉROLOGIE LOCALE DANS LA RÉGION DE BEYROUTH DURANT LA PÉRIODE ESTIVALE

RESUME

Beyrouth une région littorale méditerranéenne ayant une topographie assez complexe est régulièrement soumise aux systèmes d'alternance de brises en période estivale. On s'est appuyé sur une base de données constituée de notre propre réseau de mesure lors de campagnes de terrain réalisées en 2017. Cet article propose une étude sur les variabilités spatio-temporelles des brises thermiques en relation avec la topographie et l'occupation du sol dans la région de Beyrouth. L'analyse du MNT a permis de cartographier le relief de la ville (littoral, collines et vallées). L'occupation du sol a été réalisée par télédétection pour produire une cartographie inspirée de la forme et de la nomenclature de CORINE LANDCOVER. Ces travaux préliminaires ont servi au choix de la réalisation de la campagne de mesures. Les campagnes de mesures itinérantes ont été réalisées au niveau des vallées débouchant la ville et la cote et dans la ville afin de détecter les brises nocturnes et diurnes. Lorsque la topographie favorise sensiblement la canalisation de l'air, les brises sont également bien marquées: ce sont les brises orographiques (la brise de versant et la brise de vallée) qui peuvent se développer sur des dizaines de km de long et atteindre des vitesses relativement importantes c'est ce qui a été démontré dans notre zone d'étude.

MOTS CLÉS: brises thermiques, cartographie, mesures itinérantes.

ANALYSIS OF LOCAL AEROLOGY IN THE REGION OF BEIRUT DURING THE SUMMER PERIOD

ABSTRACT

Beirut a Mediterranean littoral area having a rather complex topography is regularly subjected to the systems of alternation of breezes in summer period. One was based on a database made up of our own network of measurement at the time of campaigns of ground carried out in 2017. This article proposes a study on space-time variabilities of the thermal breezes in relation to the topography and the occupation of the ground in the area of Beirut. The analysis of the MNT made it possible to chart the relief of the city (littoral, hills and valleys). The occupation of the ground was carried out by teledetection to produce a cartography inspired of the form and nomenclature of CORINE LANDCOVER. This preliminary work was used for the choice of the realization of the series of measurements. The series of itinerant measurements were carried out at the valleys emerging the city and the center of the city in order to detect the night and diurnal breezes. When topography supports the drain of the air, the breezes are also well marked: in fact the orographical breezes (breeze of slope and breeze of valley) can develop on tens of km length and reach relatively important speeds it is what was shown in our zone of study.

KEYWORDS: thermal breezes, cartography, itinerant measures.

INTRODUCTION

Les principes de formation ainsi que les différentes manifestations des brises thermiques sont bien connus. Si ces éléments sont essentiels pour comprendre les conditions d'apparition et le fonctionnement des brises, ils sont toutefois insuffisants, à eux seuls, pour faire une analyse de ces

¹ Université Libanaise, département de géographie, faculté des lettres et sciences humaines, Fanar, Liban, *e-mail:* samarsakr2005@hotmail.com

circulations dans une région précise. Plusieurs auteurs ont en effet montré que, selon le site étudié, les brises peuvent se caractériser différemment. Chaque manifestation doit être impérativement adaptée aux caractères régionaux, voire locaux, du site sur lequel l'étude est menée puisqu'elle dépend de nombreux facteurs d'échelle locale, comme l'orientation de la côte par rapport au soleil, la topographie et la rugosité du sol [Pédélaborde, 1987].

Dans cet article, nous présentons l'étude de climatologie locale qui a permis de déterminer l'aérodynamisme local de la région de Beyrouth (notamment le fonctionnement des brises marines et terrestres). Les écoulements locaux étant très fortement influencés par l'état de surface, cette expérimentation a nécessité la mise en place d'une méthode expérimentale adaptée aux échelles fines prenant en compte l'ensemble des facteurs caractérisant l'état de surface (ex : topographie, occupation du sol, ...).

Manifestation des brises

La naissance de ces circulations suppose la mise en place de conditions synoptiques particulières, ainsi qu'un certain gradient de température terre/mer. De plus, l'hétérogénéité de la surface engendre une importante variabilité météorologique et climatique locale au niveau de la couche limite de l'atmosphère. La topographie, ainsi que l'occupation du sol, peuvent donc influencer sur les manifestations des brises de mer et de terre et ainsi engendrer des caractéristiques particulières selon le site. La hiérarchisation des éléments favorisant et perturbant ces circulations suivant l'emboîtement des échelles spatiales et temporelles est donc un travail essentiel pour le traitement de l'information climatique et pour l'interprétation des données. Cette étape de délimitation des différents niveaux d'échelles est également impérative pour déterminer les sites de mesure qui permettront d'évaluer l'impact de l'état de surface et de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle de l'aérodynamisme local. Cette méthode est liée au fonctionnement de l'atmosphère. En effet, "sachant qu'une même masse d'air, générant un même type de temps, peut concerner un territoire étendu, il est certain que sur une entité plus petite, des caractères communs sont présents" [Quénol, 2002]. Et plus le niveau d'observation s'affine, plus les éléments influant sur les paramètres météorologiques sont importants. Ainsi Beltrando et Chemery écrivaient-ils en 1995: "Schématiquement, la compréhension augmente au fur et à mesure que l'espace se réduit... les notions d'échelles spatiale et temporelle sont donc essentielles pour sélectionner les informations et pour choisir l'implantation des instruments météorologiques".

L'application de la méthode de régression des échelles spatio-temporelle à l'étude des brises de mer et de terre dans la région de Beyrouth, qui repose sur la hiérarchisation des phénomènes atmosphériques en fonction des niveaux scalaires auxquels ils se manifestent [Carréga, 1989; Quénol, 2002], peut se caractériser de la manière suivante:

À l'échelle synoptique (plusieurs centaines de kilomètres), les conditions favorables à l'apparition des brises de mer et de terre, elles-mêmes soumises à la circulation atmosphérique générale, sont mises en évidence. Une situation anticyclonique favorise en effet la mise en place de ces circulations. Ce niveau d'échelle est un niveau "de compréhension générale" dans le sens où la présence d'un anticyclone peut entraîner la formation des brises de mer et de terre quelle que soit la région littorale considérée.

À l'échelle locale (10 km – 1 km), voire microlocale (100 m – 1 m), les unités géographiques déterminant les modifications climatiques sont liées à la topographie et à l'occupation du sol. C'est la diversité de ces paramètres sur des espaces relativement restreints qui va engendrer une forte variabilité spatiale de l'aérodynamisme local. Ce climat local est toujours lié au climat régional auquel il appartient, mais avec des modifications caractérisées par des échanges énergétiques locaux [Beltrando, 1995].

Il peut donc être retenu que les brises de mer et de terre, comme toute circulation d'échelle régionale, dépendent de différents phénomènes d'échelle supérieure (conditions

synoptiques, conditions régionales), qui permettent de comprendre le phénomène en tant que tel et d'échelle inférieure (facteurs locaux et microlocaux) qui apportent des informations quant à leur fonctionnement. Ainsi, pour améliorer les connaissances sur les brises thermiques dans la région de Beyrouth, ces différents niveaux d'échelle doivent être considérés et une approche méthodologique doit être adoptée en conséquence.

MÉTHODES ET DONNÉES

Pour définir la topographie et l'occupation du sol nous avons eu recours à des prises de vue aérienne pour la topographie et une image Landsat Thematic Mapper pour l'occupation du sol. L'étude de ces données nous a permis de mieux comprendre les relations entre le milieu, les brises thermiques et la pollution atmosphérique, aux échelles fines.

Les instruments utilisés pour mesurer la direction et la vitesse du vent sont des girouettes portables: une girouette portable Kestrel et un anémomètre-girouette sans fil Vion C6500.

La topographie complexe de Beyrouth

Aux échelles fines, la topographie peut perturber la circulation des brises. La région de Beyrouth est une région littorale au relief assez accidenté et élevé (fig. 1). Plusieurs éléments distincts ont des effets sur la circulation des brises.

- À l'Est de la région de Beyrouth les plages rocheuses de 10 mètres d'altitude en moyenne longent toutes la côte de part et d'autre de Ras Beyrouth qui se projette dans la mer.
- La plaine étroite de Beyrouth de 40 mètres d'altitude en moyenne est accidentée par plusieurs hauteurs dont Hamra et Achrafiyyé d'une hauteur maximale de 100 mètres.
- À l'Ouest à 7 kilomètres à vol d'oiseau environ, la plaine de Beyrouth s'adosse contre le massif montagneux du Mont-Liban. Des sommets de 2300 mètres d'altitude en moyenne ainsi que des plateaux inclinés et taillés par des vallées à pentes raides (fig. 2) dominent la ville. Deux vallées principales encaissées avec des gorges grandioses, débouchent avec un faible élargissement sur la ville.

Fig. 1. Topographie de la région de Beyrouth
Fig. 1. Topography of the region of Beirut

Fig. 2. Carte des pentes en degré
Fig. 2. Map of slopes in degree

Occupation du sol

L'occupation du sol a une influence importante sur l'aérodynamisme de la région. En effet selon la rugosité de surface, le flux d'air au niveau du sol peut être freiné ou dévié. De plus, la pollution est étroitement liée aux caractéristiques de l'occupation du sol.

Trois parties bien distinctes peuvent être identifiées dans la région de Beyrouth (fig. 3).

- Le littoral se distingue par des plages rocheuses derrière lesquelles de petits marais peuvent être observés surtout à proximité du port de Beyrouth. Vers le Sud, l'aéroport international de Beyrouth longe le bord de la mer.

- La ville de Beyrouth et son agglomération constituent une zone urbaine densément peuplée (2 millions d'habitants) regroupant les activités commerciales et les services les plus importants du pays, assurant un nombre d'emplois élevé attirant chaque jour un nombre important de personnes, induisant des déplacements pendulaires et donc des émissions de polluants d'origines automobile. Le réseau routier de la ville est divisé en quatre groupes hiérarchiques : le boulevard périphérique autour de la ville dont la longueur approximative est de 3.6 km ayant des voies de 3.50 mètres de largeur comporte des passages souterrains, des tunnels afin d'avoir accès au centre-ville. Ce boulevard connaît des flux quotidiens très importants de voiture, acheminant la population des régions périphériques vers la ville. Les routes principales représentent à leur tour des points d'accès importants au centre-ville, leurs largeurs sont comprises entre 3.25 et 3 mètres et le nombre quotidien de voitures est aussi très élevé. Les routes secondaires et tertiaires servent essentiellement de desserte locale aux zones résidentielles et commerciales.

- Vers l'Ouest les plateaux inclinés incisés par des vallées comportent sur leurs crêtes des installations de villages. Les pentes sont fréquemment couvertes de garrigue avec de petits buissons, des cistes à fleurs blanches, des chênes et des forêts mélangées dans la vallée de Nahr Beyrouth.

Fig. 3. L'occupation du sol dans la région de Beyrouth

Fig. 3. The occupation of the soil in the area of Beirut

Beyrouth et son agglomération constituent un milieu très contraignant pour les brises thermiques en raison de la rugosité très importante provoquée par les bâtiments et la présence des hauteurs densément peuplées (de 90 mètres d'altitude en moyenne) à proximité de la côte qui freinent et dévient les flux en surface. Notons aussi que des éléments perturbateurs peuvent être observés le long de la côte rocheuse à cause de la présence de falaises.

Les hauteurs et les plateaux inclinés peuvent être considérés comme des milieux très perturbateurs, en effet la topographie assez accidentée peut engendrer de nombreuses perturbations pour les brises. Il se peut, d'une part, que la brise de mer atteigne difficilement les hauteurs, et d'autre part, en période nocturne, il se peut que des brises de pente se mettent en place et domine les écoulements nocturnes de la ville. Lorsque les conditions atmosphériques sont stables avec un ciel clair et un vent faible, des écoulements de pentes (nommés catabatiques) peuvent se mettre en place. L'air froid issu des déperditions énergétiques de surface des hauts sommets du Mont-Liban s'écoule par gravité au niveau du sol suivant les lignes de pente [Carrega, 1994]. Ces écoulements peuvent s'associer avec les brises des vallées encaissées surtout celle du Nahr Beyrouth et canaliser le flux.

La mise en place d'une campagne de mesures itinérantes à l'échelle microlocale a permis en premier lieu d'avoir une zone d'étude avec un plus grand nombre de points de mesures pour mettre en évidence l'existence de brises nocturnes qui sont liées à la topographie et à l'occupation du sol. L'inconvénient dans ce type de mesure est l'écart temporel entre chaque point de mesure.

Lorsque les conditions atmosphériques sont stables avec un ciel clair et un vent synoptique faible (conditions radiatives), des écoulements très localisés se mettent en place selon les caractéristiques locales de la topographie. Les stations de mesures fixes sont éloignées les unes des autres pour couvrir l'ensemble de la ville. Les mesures itinérantes ont permis de contourner ce problème. Le matériel utilisé était suffisamment sensible pour observer les flux légers.

32 points de mesures en surface (fig. 4) ont été pris entre le littoral et les hauteurs situées à l'Est de la ville au pied du Mont-Liban. Ces points ont été choisis de manière à détecter les brises de terre et les brises de pente ou catabatiques liées à la topographie complexe de ce milieu.

Comme le nombre de points de mesures fixes est limité et ne couvre pas la totalité des reliefs accidentés et des vallées principales (Nahr Beyrouth et Nahr el Mawt) débouchant sur la ville, une campagne de mesures itinérantes a été dirigée afin d'étudier l'installation des brises de mer et la bascule entre la période nocturne et la période de l'installation de la brise de mer dans ces endroits (fig. 4).

Fig. 4. Localisation des points des mesures itinérantes
Fig. 4. Location of points of measurements the travelling

Les points de mesures localisés près du littoral avaient pour but de renseigner l'existence ou l'absence des brises de terre dans cette partie de la ville présentant une importante rugosité de surface liées aux constructions.

Les mesures ont été réalisées dans la vallée profonde et encaissée (dans le plateau de la partie Ouest du Mont-Liban) de Nahr Beyrouth, pour observer la canalisation du flux et des écoulements de pente. Des mesures ont été faites dans la vallée encaissée mais moins profonde, de Nahr El Mawt pour détecter la présence similaire d'un flux canalisé.

Les mesures effectuées autour des collines de Hamra et Achrafiyyé, densément construites et peuplées, ont mis en évidence l'existence de brises de pente, ainsi que l'effet de la topographie du Mont-Liban sur ces régions.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Brises nocturnes: les résultats de la campagne de mesures itinérantes à Beyrouth

L'objectif est d'améliorer les connaissances sur les écoulements nocturnes observés en période de brises. Le but est d'analyser les caractéristiques des brises nocturnes, ainsi que les brises diurnes dans les deux vallées principales (Nahr Beyrouth et Nahr el Mawt) débouchant

sur Beyrouth. En effet les données enregistrées par le réseau de mesures local ont permis de les détecter. La vitesse du vent mesurée pendant la nuit peut être faible. Le réseau de mesure adopté ne permet pas de couvrir toute la région, surtout dans les reliefs accidentés et les vallées encaissées situées à l'Est de la ville. Lorsque les conditions atmosphériques sont stables avec un ciel clair et un vent synoptique faible, des écoulements très localisés peuvent venir s'installer. Pour les étudier nous avons eu recours aux mesures itinérantes qui permettent de multiplier les points de mesures et ainsi de mieux prendre en compte les effets microlocaux. En effet aux échelles fines, la relation entre les caractéristiques du milieu, la topographie et l'occupation du sol, crée une variabilité très localisée. En effet lorsque les conditions atmosphériques sont stables les effets microlocaux tels que les brises de pente apparaissent. L'utilisation du MNT (modèle numérique du terrain) nous aide à identifier et extraire l'orientation et la direction des pentes, pour caractériser le relief assez marqué dominant la ville et conditionnant les brises de jour comme de nuit.

Résultats des mesures itinérantes nocturnes (8 et 9 aout 2017)

La campagne de mesures itinérantes mesurant les données aérologiques a été menée dans plusieurs endroits de la zone d'étude. Les situations synoptiques générales en altitude et en surface la nuit du 8 et 9 aout 2017 étaient caractérisées par la présence le 8 septembre en altitude les hautes pressions subtropicales alors qu'en surface (fig. 5) la situation barométrique dessine un talweg thermique arabo-persique se prolongeant vers le Liban. Un ciel clair et dégagé était visible la nuit du 8 au 9 aout 2017.

Fig. 5. Situation en altitude et en surface le 8/09/2017

Fig. 5. Situation at altitude and on the surface the 8/09/2017

Les mesures ont débuté vers les hauteurs de Mar Roukoz et Baabda ainsi que dans les principales vallées encaissées s'ouvrant sur la ville celle de Nahr Beyrouth et de Nahr el Mawt situées sur les versants Ouest du Mont Liban. Ensuite des mesures ont été réalisées à l'Est de la région d'étude vers le littoral (fig. 6). Le but de ces mesures était de vérifier l'existence des écoulements microlocaux liés à la topographie au niveau des vallées et de mettre en évidence l'existence des brises de terre.

Les conditions atmosphériques stables avec un ciel clair et un vent synoptique faible sont favorables à l'installation d'écoulement de pentes nocturnes (écoulements catabatiques). L'air plus froid que l'air ambiant, issu des déperditions énergétiques de la surface s'écoule par gravité au niveau du sol suivant les lignes de pente [Carrega, 1994]. Ces écoulements très localisés s'ajoutent à d'autres types d'écoulements comme les brises de vallée et peuvent compliquer l'aérologie locale.

Fig. 6. Campagne de mesures itinérantes de brises nocturnes la nuit du 9 aout 2017

Fig. 6. Campaign of measurements with roving breezes night-the night of the 9th of August 2017

Mar Roukoz

Les mesures ont été réalisées à Mar Roukoz entre 00h00 et 01h30. Les mesures itinérantes effectuées avec une girouette ont mis en évidence l'existence d'un flux très léger variant en direction et en force conformément à la topographie du site.

Nahr Beyrouth

Les mesures itinérantes ont été réalisées dans la zone de Nahr Beyrouth entre 02h10 et 03h35 Cette vallée est caractérisée par des versants présentant des pentes très raides en amont. Les flux ont été détectés au fond de la vallée ainsi que sur ses versants. Ces enregistrements ont mis en évidence que cette partie était sous l'influence d'un système de brises de pente, relayant les flux canalisés au fond de vallée de Nahr Beyrouth vers l'aval (vers l'Ouest).

Nahr el Mawt

Les mesures itinérantes ont été réalisées dans la zone de Nahr el Mawt entre 04h15 et 05h00. Les résultats ont montré la présence d'un flux bien canalisé dans la vallée encaissée dans la chaîne du Mont-Liban, en plus de l'existence des brises de pentes enregistrées sur les versants.

Les brises de terre dans la ville

Entre 05h35 et 06h35 des mesures ont été prises sur les voies principales reliant les hauteurs à l'Est aux côtes à l'Ouest. Les mesures ont montrées l'existence des brises de terre de direction Est et Sud-Est sur deux des voies principales menant vers la côte. Nous pouvons constater l'importance de la topographie bien marquée de la chaîne montagneuse responsable de l'installation des brises nocturnes et des brises de terre qui s'impose sur la région arrivant à la côte.

Plusieurs phénomènes nocturnes intéressants ont été observés. L'existence des brises orographiques bien canalisées à Nahr Beyrouth et Nahr el Mawt. L'existence des brises de pente à partir du relief important. L'existence des brises de terre.

Résultats des mesures itinérantes diurnes le 9 aout 2017

La campagne de mesures itinérantes a été menée le 9 aout 2017 au cours de la période matinale. Les conditions synoptiques générales en altitude sont caractérisées par la présence des hautes pressions subtropicales au-dessus du Liban et de la Syrie et d'un champ de pression supérieur à 1010 hPa en surface au-dessus du Liban. Une stabilité est marquée ce jour-là, avec une humidité relative nocturne qui a évolué entre 65 % et 80 %. A 10 heures (heure locale) la station de l'AUB a enregistré une brise de mer de direction Ouest avec une vitesse de 3.6 m/s. Deux équipes ont menés les mesures de la direction et de la vitesse des brises au même moment à Nahr el Mawt et Nahr Beyrouth (fig. 7).

Fig. 7. Campagne de mesures itinérantes de la brise de mer dans les vallées principales de Beyrouth le 8/9/2017

Fig. 7. Measurement campaign travelling the sea breezes in the valleys in the key of Beirut the 8/9/2017

Deux heures après l'apparition de la brise de mer à la station de l'AUB la première équipe a commencé les mesures de direction et vitesse du vent près de la côte en direction de la vallée de Nahr el Mawt. Alors que la deuxième équipe enregistrait la direction et la vitesse du vent depuis l'aval du Nahr Beyrouth vers l'intérieur. Les données enregistrées par la première équipe à partir de la côte montrent une direction WNW avec une vitesse de 3 m/s. En aval de la vallée de Nahr el Mawt l'anémomètre enregistre la même direction avec une vitesse de 2 m/s inférieure à celle enregistrée près de la côte. Vers l'intérieur la brise est déviée vers le Sud-ouest et l'Ouest, la vitesse étant localement accélérée dans la vallée à 3m/s probablement par des effets de dynamique locale liés à l'échauffement important des versants par le rayonnement solaire. Comme l'air au-dessus de la surface se réchauffe par contact et s'élève le long des pentes, il donne naissance à un vent *ascendant* : la brise de vallée [Bridier, 2001; Quénot, 2002; Madelin, 2004]. Au même moment la deuxième équipe prenait des mesures dans la vallée de Nahr Beyrouth plus profonde et plus encaissée que celle de Nahr el Mawt. Une brise de direction Sud-ouest au Nord-ouest a été enregistrée au fond de la vallée avec une vitesse de 4 m/s en moyenne. Quand une plaine est fermée par des montagnes et coupée par une vallée importante, la brise de vallée se développe pendant que la brise de mer s'installe et, quand les deux se rejoignent, l'air marin est entraîné plus à l'intérieur en remontant la vallée [Janoueix-Yacono, 1995], avec une vitesse élevée en particulier quand la brise de mer est combinée à une brise de vallée ou de pente montante [Mahrer, Pielke, 1977; Alpert et al., 1982; Bastin et al., 2004].

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de vérifier et d'étudier si la topographie et l'occupation du sol pouvaient influencer les caractéristiques des brises aux échelles fines, de jour et de nuit. Le traitement des données acquises à partir du réseau de mesures a permis de mettre en évidence les caractéristiques des brises dans la zone d'étude.

Des campagnes itinérantes ponctuelles ont été menées afin d'étudier les brises de vallée nocturne et diurne. Les résultats ont montrés l'existence de plusieurs types de brises. Des brises de terre et de pentes ont été observées dans les reliefs accidentés au pied du Mont-Liban, ainsi que des flux canalisés dans les vallées de Nahr Beyrouth et de Nahr el Mawt.

L'ensemble des mesures, même s'il s'agit d'une campagne ponctuelle, confirme la relation étroite entre la topographie et la localisation des brises, alors que l'occupation du sol influence les vitesses d'écoulements en fonction de la rugosité de surface. Une analyse très détaillée du MNT et des cartes d'occupation du sol constitue donc un bon moyen d'identifier les caractéristiques théoriques de l'aérologie locale durant les situations radiatives, favorables à la stabilité atmosphérique et à la mise en place des brises thermiques.

REFERENCES

1. Alpert P., Cohen A., Doron E., Neumann J. A model simulation of a summer circulation from the eastern Mediterranean past Lake Kinneret in the Jordan valley. *Monthly Weather Review*. 1982. 110. P. 994–1006.
2. Bastin S., Drobinski P., Delville P. et al. Impact of the Rhône and Durance valleys on sea-breeze circulation in the Marseille area. *Atmospheric Research*. 2004. V. 74. P. 303–328.
3. Beltrando G. Dictionnaire du climat. Edit. LAROUSSE, 1995. 344 p.
4. Beltrando G., Chemery L. Dictionnaire du climat. Édité. LAROUSSE, 1995. 344 p.
5. Bridier S. Modélisation de la répartition des brises et des températures en situation radiative. Thèse de doctorat, Université de Paris 7, 2001. 185 p.
6. Carrega P. Vent et échelles de contraintes géographiques: exemples en région niçoise. Publications de l'Association Internationale de Climatologie. 1989. V. 2. P. 309–316.

7. *Carrega P.* Topoclimatologie et habitat. Revue d'Analyse Spatiale Quantitative et Appliquée, Thèse d'Etat, 1999. V. 35 et 36. 408 p.
8. *Janouex-Yacono D.* Rapports entre brise de mer ou de lac, structure de la couche limite planétaire et pollution atmosphérique sur des plaines littorales urbanisées. GDR Climat et santé. 1995. P. 177–201.
9. *Madelin M.* L'aléa gélif printanier dans le vignoble marnais en Champagne: modélisation spatiale aux échelles fines des températures minimales et des écoulements d'air. Thèse, Université Paris 7, 2004. 412 p.
10. *Mahrer Y., Pielke R-A.* The effects of topography on sea and land breezes in a two dimensional numerical model. Mon. Wea. Rev. 1977. V. 105. P. 1151–1162.
11. *Pedelaborde P.* Sur les brises. Met Mar. 1987. N 136. P. 11–15.
12. *Quenol H.* Climatologie appliquée aux échelles fines: l'exemple de l'impact d'un remblai ferroviaire et des haies brise-vent sur le gel printanier et sur l'écoulement du mistral dans la basse vallée de la Durance. Thèse, Université de Lille 1, 2002. 284 p.