



ELSEVIER
MASSON

Disponible en ligne sur
SciVerse ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.com

REVUE FRANÇAISE
D'**Allergologie**

Revue française d'allergologie xxx (2013) xxx–xxx

Article original

Incidence des spores fongiques de l'air de Tétouan (NW du Maroc) et influence des paramètres météorologiques

Incidence of fungal spores in the atmosphere of Tetouan (NW Morocco) and the effect of meteorological parameters

F. Bardei^a, H. Bouziane^{a,*}, M.M. Trigo Perez^b, N. Ajouray^a, F. El Haskouri^a,
F. Filali Ben Sidel^a, R. Abiri^c, M. Kadiri^a, M. Kazzaz^a, H. Riadi^a

^a Laboratoire diversité et conservation des systèmes biologiques, département de biologie, faculté des sciences, université Abdelmalek Essaâdi, Mhannech II, BP 2121, Tétouan, Maroc

^b Département de biologie végétale, université de Malaga, BP 59, 29080 Malaga, Espagne

^c Laboratoire d'énergétique, département de physique, faculté des sciences, université Abdelmalek Essaâdi, Mhannech II, BP 2121, Tétouan, Maroc

Reçu le 8 avril 2013 ; accepté le 15 mai 2013

Résumé

Introduction. – L'implication des spores fongiques dans le déclenchement de rhinite et d'asthme a pris une place de plus en plus importante dans l'allergie respiratoire.

But. – Réaliser une analyse aérobiologique des spores fongiques dans l'atmosphère de la ville de Tétouan au Maroc durant 2009, 2010 et 2012, déterminer leur diversité, leur abondance et leurs variations interannuelles et saisonnières et corréler ces données aux paramètres météorologiques.

Matériel et méthodes. – L'échantillonnage aérobiologique a été entrepris à l'aide d'un capteur volumétrique de type Burkard placé sur le toit du département de biologie de la faculté des sciences de Tétouan. La préparation, le montage et le comptage des lames microscopiques ont été réalisés en suivant la méthodologie proposée par le Réseau Espagnol d'Aérobiologie (REA). La concentration moyenne journalière a été exprimée en nombre de spores par mètre cube d'air. Le test Spearman de corrélations a été utilisé pour analyser l'influence des paramètres météorologiques sur la concentration des spores.

Résultats. – Plus de 80 types de spores ont été identifiés et le taux sporal annuel a oscillé entre 474 867 et 615 193 spores en 2009 et 2012 respectivement. Les principaux types ont représenté presque 99,5 % du total annuel des spores parmi lesquels on peut citer *Cladosporium*, Basidiospores, *Ustilago*, *Alternaria*, *Leptosphaeria*, *Aspergillaceae*, Urédospores et *Pleospora*. La plupart des spores ont présenté une forte incidence du printemps à l'automne, mais certaines peuvent accuser une baisse de leur indice mensuel en été. Les spores d'*Alternaria*, *Cladosporium* *Stemphylium*, et *Ustilago* ont été corrélées positivement et très significativement à la température. Pour la majorité de ces spores, l'humidité et les précipitations ont exercé un effet négatif à l'exception de *Cladosporium*. Les ascospores et les basidiospores ont manifesté en général une corrélation négative et significative à la température, alors qu'elles ont été associées positivement et très significativement à l'humidité et aux précipitations.

Conclusion. – L'exposition des personnes sensibles aux fortes concentrations des spores allergisantes peut être à l'origine de la survenue de crises allergiques.

© 2013 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Spores fongiques ; Aérobiologie ; Paramètres météorologiques ; Tétouan ; Maroc

Abstract

Fungal spores are known to cause rhinitis and asthma and are playing an increasingly important role in respiratory allergy. The aim of this work was to analyse the airborne fungal spores in the atmosphere of Tetouan, Morocco during 2009, 2010 and 2012, to determine their diversity and abundance, their seasonal and annual variations, and the effect of meteorological parameters on the concentration of these spores. Aerobiological sampling was performed using Burkard volumetric spore traps located on the flat roof of the biology department of the Tetouan faculty of sciences.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : hasbouz@hotmail.com (H. Bouziane).

The preparation, mounting and counting of microscopic slides was done according to methods recommended by the Spanish Aerobiological Network (REA). Daily mean concentrations were expressed as the number of spores per cubic metre of air. The Spearman correlation coefficient was used to analyse the influence of meteorological parameters on the daily incidence of these spores. More than 80 types of fungal spores were identified and the annual spore load varied between 474,867 in 2009 and 615,193 in 2012. The principal taxa accounted for approximately 99.50% of the annual total, the most abundant being *Cladosporium*, *Basidiospores*, *Ustilago*, *Alternaria*, *Leptosphaeria*, *Aspergillaceae*, *Uredospores* and *Pleospora*. The highest incidence of most spores occurred during the spring and autumn months, although some were less abundant in the summer months. *Alternaria*, *Cladosporium*, *Stemphylium*, and *Ustilago* spore counts correlated positively and very significantly positive with the temperature. With the exception of *Cladosporium*, humidity and rainfall had a negative influence on most of these spores. Ascospores and basidiospores generally correlated negatively with the temperature at a significant to highly significant level, while they correlated positively with humidity and rainfall at a significant to highly significant level. The annual spore levels we observed were within the range or superior to those reported by other authors, depending on the region, the period and the taxa studied. Exposure of pre-sensitized individuals to high fungal spore concentrations can be the cause of respiratory allergic diseases.

© 2013 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Fungal spores; Aerobiology; Meteorological parameters; Tetouan; Morocco

1. Introduction

Les spores fongiques sont les particules biologiques de l'air les plus nombreuses et les plus diversifiées. Elles sont toujours présentes dans l'atmosphère et leur nombre dépasse fréquemment la concentration pollinique par 100 à 1000 fois [1–4]. Les champignons sont capables de disséminer leurs spores par voie aérienne et coloniser divers habitats en fonction de la disponibilité des nutriments et des facteurs de l'environnement tels que les caractéristiques biogéographiques de la région et son climat. L'inhalation de spores en quantité suffisante entraîne des pathologies respiratoires diverses de type rhinite, asthme, aspergillose bronchopulmonaire allergique et alvéolite allergique [5–7]. Plus de 80 genres sont considérés responsables de troubles respiratoires [8,9].

Les études qui tentent de définir la composition fongique de l'air au Maroc sont encore très insuffisantes et les résultats sont encore incomplets et inexploitable. La méthode de prélèvement par sédimentation a été utilisée par Bouziane et al. [10] et n'a donné qu'un aperçu qualitatif de la mycoflore de l'air de Tétouan car nombreuses sont les spores qui ne sédimentent pas dans ces conditions. Ce manque dans l'information est encore aggravé par le fait que nombre de champignons ne se développent que sur des milieux spécifiques.

Devant cette situation, il est nécessaire de réaliser une analyse aéromycologique de la composition qualitative et quantitative des spores fongiques de l'atmosphère de Tétouan afin d'élucider leur diversité, leur abondance, leurs variations interannuelles et saisonnières et de corréler ces données aux paramètres météorologiques.

2. Matériels et méthodes

2.1. Zone d'étude

La province de Tétouan est située à l'extrême Nord du Maroc. Elle est limitée au Nord par la province de Fehs-Anjra et la préfecture de M'diq-Fnideq, à l'Ouest par la préfecture de Tanger-Asilah, au Sud par les provinces de Larache et Chefchaouen et à l'Est par la mer Méditerranée. Son territoire

s'étend sur une superficie de 2,574 km², soit 0,36 % de la superficie totale du territoire national.

La province de Tétouan s'étend sur une aire géographique caractérisée par un paysage essentiellement montagneux (partie ouest de la chaîne rifaine) à topographie très accidentée et tourmentée, à l'exception de certaines zones à relief peu élevé et de quelques plaines méditerranéennes très exiguës. La climatologie de la province se caractérise par l'existence de deux saisons différentes : la première, humide et fraîche, s'étend d'octobre à avril et la seconde, sèche et chaude, débute en mai et se prolonge jusqu'à fin septembre. Ce qui permet de classer la province de Tétouan parmi les régions à climat de type méditerranéen [11].

2.2. Méthodes de mesure aérobiologique

L'échantillonnage a été réalisé au moyen d'un capteur volumétrique de type Hirst placé à 15 m du sol, sur le toit du département de biologie de la faculté des sciences de Tétouan, permettant l'aspiration des particules biologiques à un débit équivalent à la respiration humaine de 10 L/min. Les spores sont impactées sur une bande transparente de cellophane enduite d'une résine et fixée sur un tambour animé d'un mouvement de rotation par un système d'horlogerie et qui défile devant la buse d'aspiration à une vitesse de 2 mm/h.

Après une semaine de fonctionnement, la bande est découpée en sept segments qui correspondent à chaque jour de la semaine. Chaque segment est placé entre lame et lamelle dans un milieu de montage à base de glycérogélatine colorée à la fuchsine basique 0,1 % et analysé directement au microscope optique [12]. Le comptage des spores est réalisé par balayage de deux transects horizontaux des lames et la concentration moyenne journalière a été exprimée en sp/m³ par jour. Certaines spores ne pouvant être identifiées au niveau genre sont regroupées dans les catégories ascospores et basidiospores.

L'échantillonnage a été réalisé en 2009, 2010 et 2012. Durant cette période l'échantillonnage a été interrompu 17 jours en 2010 et 11 jours en 2012 à cause des problèmes techniques et des coupures électriques. Les données météorologiques ont été relevées de la station de météorologie du

Tableau 1

Variations mensuelles des paramètres météorologiques à Tétouan en 2009, 2010 et 2012.

	Données météorologiques								
	Température (°C)			Humidité (%)			Pluviométrie (mm)		
	2009	2010	2012	2009	2010	2012	2009	2010	2012
Janvier	13,7	15,2	12,0	64,4	71,8	72,3	64,5	106	53,6
Février	14,2	16,7	10,7	66,8	70	63,1	119	159	11,4
Mars	15,8	16,8	14,0	70,1	68,1	70,5	45	87	24,2
Avril	17,8	18,9	15,5	55,5	71,8	63,8	61	59	51,4
Mai	20,8	20,8	19,0	58,9	57,7	66,5	3	25,9	11,8
Juin	24,9	23,2	23,3	52,3	59,7	61,0	0	18,3	0
Juillet	27,6	26,2	24,7	45,9	65,3	58,3	0	5,2	1,2
Août	26,8	26,4	26,2	61,7	68,1	55,7	0	23,8	0
Septembre	23,9	23,2	23,2	61,6	69,6	70,1	85	13,6	29,6
Octobre	22,1	19,2	19,8	69,6	70,8	73,5	106	123,4	131,6
Novembre	18,7	15,8	16,5	62,8	70	75,2	60,9	184,6	182,4
Décembre	16,8	15,1	13,4	65,5	75	71,3	341	202,6	20,6

laboratoire d'énergétique du département de physique de la faculté des sciences de Tétouan.

Les corrélations avec les paramètres météorologiques ont été réalisées en utilisant le test de Spearman à $p \leq 0,05$ et $p \leq 0,01$. Les variables météorologiques utilisées pour ces analyses statistiques sont les valeurs journalières de la température maximale (Tmax), la température minimale (Tmin), la température moyenne (Tmoy), l'humidité relative maximale (Hmax), l'humidité relative minimale (Hmin), l'humidité relative moyenne (Hmoy), les précipitations (Pr), les pourcentages des vents du nord-est (NE) ; du sud-est (SE) ; du sud-ouest (SW) et nord-ouest (NW) et les pourcentages de calme.

3. Résultats

3.1. Données météorologiques

L'analyse des données météorologiques pendant les trois années d'étude (2009–2010 et 2012) a montré une moyenne annuelle de la température moyenne (Tmoy) de l'ordre de 19,4 °C. La Tmoy la plus basse (10,7 °C) a été enregistrée en février 2012 et la plus élevée (27,6 °C) en juillet 2009 (Tableau 1).

Les températures ont inscrit une augmentation progressive depuis février (ou mars 2012) jusqu'à août (ou juillet 2009) pour atteindre des valeurs maximales pendant les mois estivaux (juillet et août). À partir du mois de septembre, les températures amorcent une diminution et enregistrent des minima entre décembre et février. Janvier, février et décembre ont été les mois les plus froids en 2009, 2012 et 2010 respectivement.

La proximité de la Méditerranée a modéré l'oscillation thermique entre l'hiver et l'été. Ainsi, la différence de la Tmoy entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud s'est située entre 11,3 °C en 2010, 13,9 °C en 2009 et 15,5 °C en 2012. Par conséquent, la ville de Tétouan se caractérise par un hiver doux, avec des moyennes mensuelles des Tmoy, généralement supérieures à 13 °C et un été chaud, enregistrant parfois des Tmax journalières qui ont dépassé 39 °C (2010 et 2012).

Une variation interannuelle importante a été observée aussi bien au niveau volumétrique des précipitations qu'à l'échelle du temps durant lequel ont eu lieu les pluies.

La moyenne annuelle des précipitations de la période d'étude a été de 803,9 mm. L'année 2012 a connu moins de précipitations (518 mm) avec 87 jours pluvieux, tandis que l'an 2010 a été le plus pluvieux avec presque 1008 mm enregistrés pendant 97 jours.

Les taux de précipitations les plus élevés ont été détectés durant l'automne et l'hiver. Le mois le plus pluvieux s'est situé en novembre (2012) et en décembre (2009 et 2010), tandis que l'été a présenté généralement une sécheresse typique du climat méditerranéen.

Pour la période étudiée, l'humidité relative moyenne a été de 65,4 %. L'année 2010 a été la plus humide et a accusé les valeurs les plus élevées suivie de 2012. Tandis que l'année 2009 a été plus sèche, en montrant des valeurs d'humidité les plus faibles.

3.2. Analyse du spectre sporal total

Pendant la période d'étude, 83 types de spores fongiques ont été identifiés dans l'air de Tétouan en 2009, 67 en 2010 et 70 en 2012. Les différentes spores sont réparties essentiellement en 3 classes, les deutéromycètes 74 % suivis par les basidiomycètes 19 % et les ascomycètes 6 % (Fig. 1).

Bien que l'incidence des différents types de spores dans l'atmosphère ait varié d'une année à une autre, une constance a été maintenue dans les types de spores les plus importants. Les Tableaux 2 et 3 énumèrent toutes ces spores et la moyenne de leurs nombres totaux et de leurs pourcentages annuels de contribution au spectre sporal durant la période d'étude. Les principaux types représentant presque 99,5 % du total annuel des spores sont : *Cladosporium* (64 %), *Basidiospores* (10,3 %), *Ustilago* (7,4 %), *Alternaria* (3,9 %), *Leptosphaeria* (2,7 %), *Aspergillaceae* (1,7 %), *Cunninghamella* (1,1 %), *Pleospora* (0,9 %), *Urédospores* (0,9 %), *Venturia* (0,9 %), *Arthrinium* (0,8 %), *Oidium* (0,7 %), *Stemphylium* (0,7 %), *Ascospores* (0,5 %), *Torula* (0,5 %), *Diatrypes* (0,5 %), *Levure* (0,3 %),

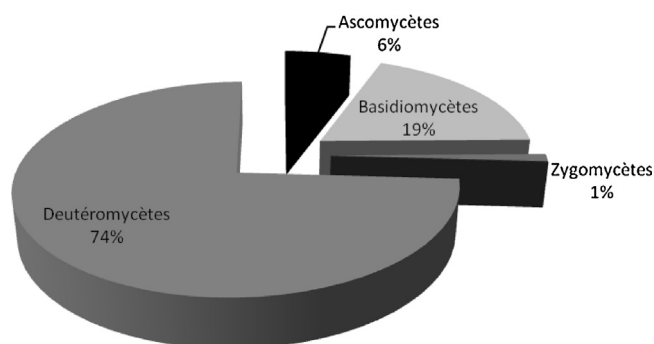


Fig. 1. Pourcentage annuel moyen des différentes classes fongiques de l'air de Tétouan en 2009, 2010 et 2012.

Nigrospora (0,3 %), *Drechslera* (0,2 %), *Chaetomium* (0,2 %), *Epicoccum* (0,1 %), *Fusarium* (0,1 %), *Téleutospores* (0,1 %), *Agrocybe* (0,1 %), *Asperisporium* (0,1 %), *Pithomyces* (0,1 %) et *Tilletia* (0,1 %). Les autres types n'ont représenté que 0,4 % du total annuel des spores (Tableau 3).

L'année 2012 a montré l'indice sporal annuel maximal avec une valeur de 615193 spores. Les taux détectés durant l'année 2009 et 2010 ont affiché des valeurs plus basses de l'ordre de 474 867 et 480 446 respectivement (Tableau 4). Les moyennes annuelles des concentrations moyennes journalières ont oscillé entre 1301 et 1733 sp/m³ d'air en 2009 et 2012 respectivement.

Les spores ont été enregistrées dans l'atmosphère de Tétouan pendant toute la période d'échantillonnage. Cependant, la distribution des concentrations a été très inégale tout au

Tableau 3

Origine fongique des « Autres spores » représentant moins de 0,4 %.

Origine fongique des « autres spores »

<i>Acrodictys</i>	<i>Oncopodiella</i>
<i>Arthrobotrys</i>	<i>Otidea</i>
<i>Ascobolus</i>	<i>Oospores</i>
<i>Beltrania</i>	<i>Paraphaeosphaeria</i>
<i>Botrytis</i>	<i>Periconia</i>
<i>Brachysporium</i>	<i>Peronospora</i>
<i>Bractodesmium</i>	<i>Pestalotiopsis</i>
<i>Cercospora</i>	<i>Phaeosphaeria</i>
<i>Ceraphom</i>	<i>Polythrincium</i>
<i>Cerebella</i>	<i>Rhizopus</i>
<i>Chaetosphaerella</i>	<i>Scleroderma</i>
<i>Chlamydosporos</i>	<i>Scolecobasidium</i>
<i>Cleistothèce</i>	<i>Scopulariopsis</i>
<i>Circinotricum</i>	<i>Septonem</i>
<i>Curvularia</i>	<i>Sordaria</i>
<i>Dendryphion</i>	<i>Spegazzinia</i>
<i>Dictyosporium</i>	<i>Spondylocradiella</i>
<i>Didymosphaeria</i>	<i>Sporidesmium</i>
<i>Diplococcium</i>	<i>Sporormiella</i>
<i>Diplodia</i>	<i>Stachybotrys</i>
<i>Exosporiella</i>	<i>Tétraploa</i>
<i>Exosporium</i>	<i>Tranzschelia</i>
<i>Lophiostoma</i>	<i>Trichocladium</i>
<i>Massarina</i>	<i>Trichodelitschia</i>
<i>Microsporium</i>	<i>Triposperuim</i>
<i>Monacosporium</i>	<i>Trichothecium</i>
<i>Moniliella</i>	
<i>Monodictys</i>	
<i>Myxosporos</i>	

Tableau 4

Indices mensuels des spores de l'air de Tétouan en 2009, 2010 et 2012.

Mois	Indices mensuels sp/m ³		
	2009	2010	2012
Janvier	14 749	19 707	17 876
Février	10 357	16 850	12 970
Mars	18 676	8261	40 422
Avril	24 751	47 857	81 697
Mai	29 012	46 441	43 827
Juin	36 655	57 130	29 740
Juillet	34 786	41 065	39 820
Août	45 620	75 281	66 821
Septembre	93 171	47 528	81 226
Octobre	92 075	47 528	110 068
Novembre	39 946	38 030	58 839
Décembre	35 070	34 770	31 887
Total	474 867	480 446	615 193

long de l'année, le plus grand contenu des spores est enregistré depuis le printemps jusqu'à la fin de l'automne. La saison d'hiver a été marquée par une baisse des concentrations en spores fongiques atmosphériques. Ces concentrations augmentent ensuite pour atteindre les scores maximums en automne (Fig. 2), mais en juillet 2009 et 2010 et entre mai et juillet 2012, nous avons enregistré une diminution de l'indice sporal mensuel (Tableau 4). Septembre, août et octobre sont les mois qui ont affiché les plus fortes incidences sporales en 2009, 2010 et 2012 respectivement (Tableau 4).

Tableau 2

Principales spores fongiques identifiées dans l'air de Tétouan.

Les principales spores fongiques identifiées	%	Classes fongiques
<i>Alternaria</i>	3,9	Deutéromycètes
<i>Arthriniun</i>	0,8	Deutéromycètes
<i>Ascosporos</i>	0,5	Ascomycètes
<i>Aspergillaceae</i>	1,7	Deutéromycètes
<i>Basidiosporos</i>	10,3	Basidiomycètes
<i>Cladosporium</i>	64,4	Deutéromycètes
<i>Cunninghamella</i>	1,1	Zygomycètes
<i>Drechslera</i>	0,2	Deutéromycètes
<i>Epicoccum</i>	0,1	Deutéromycètes
<i>Fusarium</i>	0,1	Deutéromycètes
<i>Leptosphaeria</i>	2,7	Ascomycètes
<i>Oidium</i>	0,7	Deutéromycètes
<i>Pleospora</i>	0,9	Ascomycètes
<i>Stemphylium</i>	0,7	Deutéromycètes
<i>Torula</i>	0,5	Deutéromycètes
<i>Téleutospores</i>	0,1	Basidiomycètes
<i>Urédosporos</i>	0,9	Basidiomycètes
<i>Ustilago</i>	7,4	Basidiomycètes
<i>Venturia</i>	0,9	Ascomycètes
<i>Agrocybe</i>	0,1	Basidiomycètes
<i>Asperisporium</i>	0,1	Deutéromycètes
<i>Chaetomium</i>	0,2	Ascomycètes
<i>Diatrypes</i>	0,5	Ascomycètes
<i>Levure</i>	0,3	Ascomycètes
<i>Nigrospora</i>	0,3	Deutéromycètes
<i>Pithomyces</i>	0,1	Deutéromycètes
<i>Tilletia</i>	0,1	Basidiomycètes
Total	99,5	

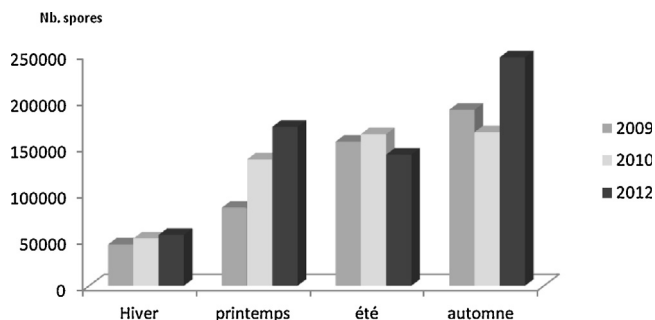


Fig. 2. Variations saisonnières des spores en 2009, 2010 et 2012.

Quant aux moyennes des concentrations journalières des spores, elles ont varié entre 177 et 12 082 sp/m³ par jour (Fig. 3). Le genre le plus fréquent est *Cladosporium* qui a dépassé 57 % de l'aéromycoflore de Tétouan en 2010 et 67 % en 2009 et 2012. Bien que les quantités quotidiennes maximales des spores aient été enregistrées en septembre et octobre, on a

apprécié d'autres accroissements des concentrations pendant les mois de printemps produits fondamentalement par *Alternaria*, les basidiospores, les ascospores, *Ustilago* et les urédospores, mais moins marqués en comparaison à celles de septembre et octobre (Fig. 3).

Le profil de la courbe de la variation mensuelle du taux des spores de *Cladosporium* a montré un spectre unimodal en 2009 et 2010 (Fig. 4) avec des taux mensuels maximaux de 78 298 et 60 746 spores en septembre et août respectivement. En 2012, le spectre sporal de la concentration moyenne journalière de *Cladosporium* a montré deux pics, le premier en avril et un second plus intense en octobre (Fig. 4).

3.3. Corrélations entre les spores fongiques et les paramètres météorologiques

Les concentrations des spores fongiques ont été corrélées aux paramètres météorologiques (Tableau 5). Les spores d'*Alternaria*, *Cladosporium*, *Stemphylium* et *Ustilago* ont

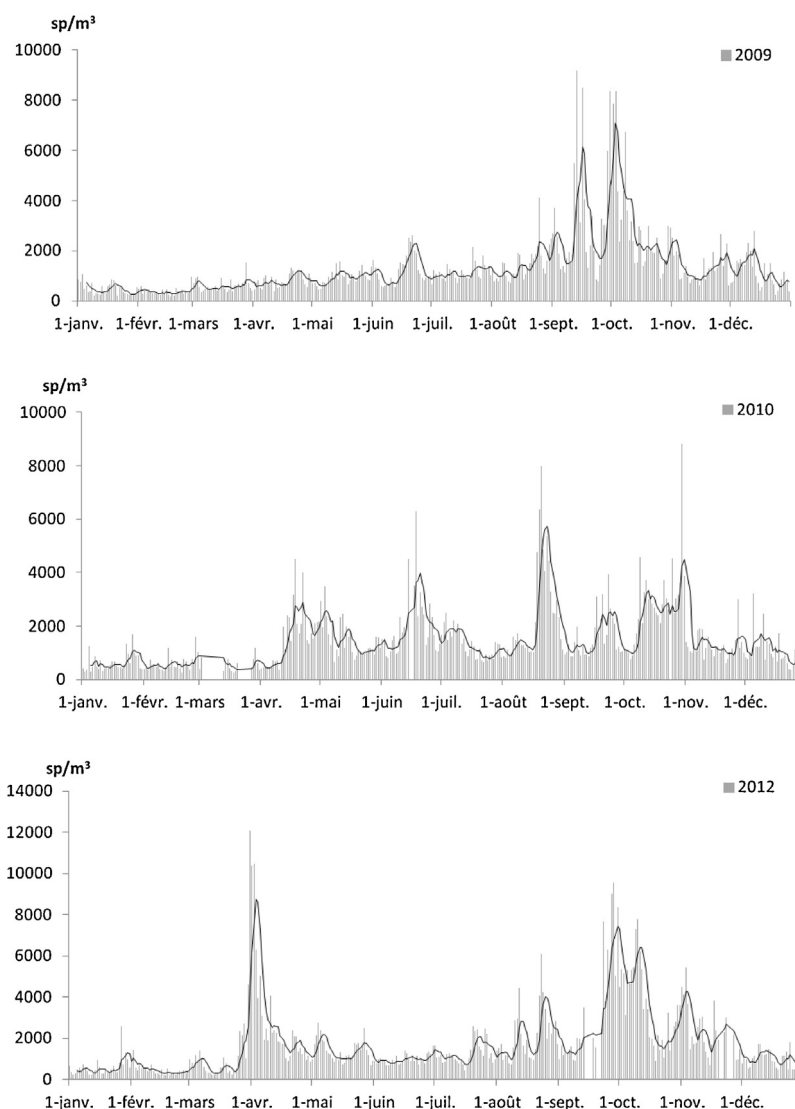


Fig. 3. Spectre sporal de la concentration moyenne journalière de l'ensemble des spores (histogrammes) durant la période d'étude. La ligne représente la moyenne mobile de cinq jours.

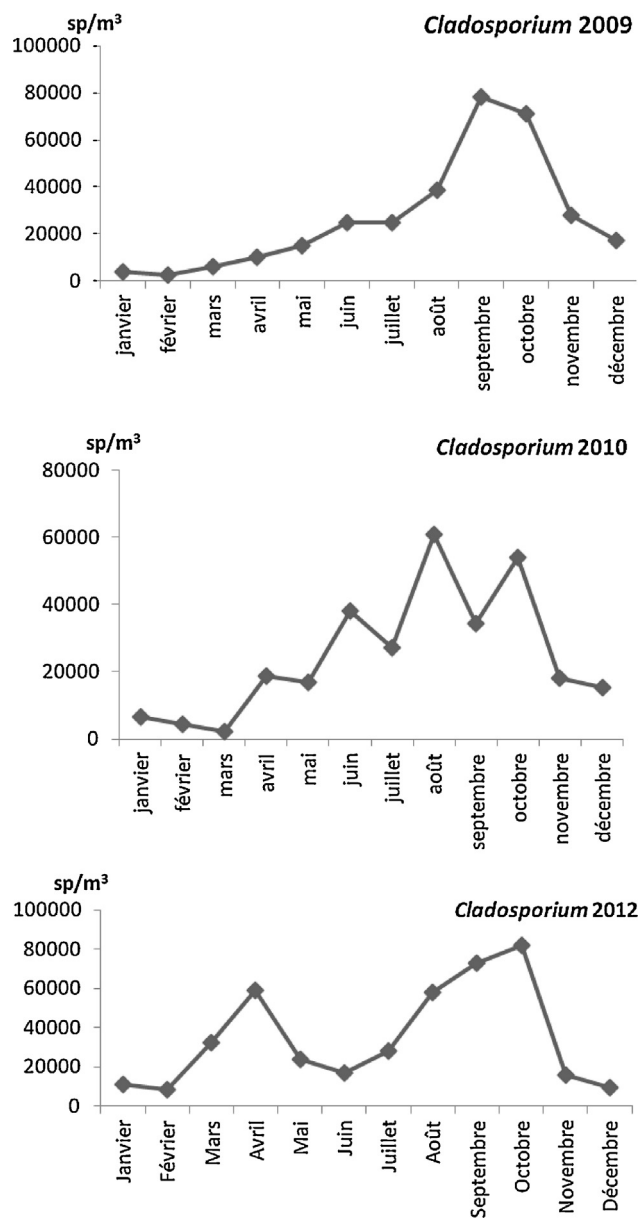


Fig. 4. Courbes de la variation mensuelle du taux des spores de *Cladosporium* en 2009, 2010 et 2012.

montré une corrélation positive et très significative à la température (Tmax, Tmin, Tmoy) durant les trois ans d'étude, alors que ce paramètre n'a été associé à *Drechslera*, *Epicoecum* et aux urédospores qu'en 2010 et 2012. Pour la majorité de ces spores et à l'exception de *Cladosporium*, l'humidité et les précipitations ont exercé un effet négatif.

Les ascospores, *Leptosphaeria*, *Pleospora* et *Venturia* ont manifesté en général une corrélation négative et très significative à la Tmax et la Tmoy, alors que la corrélation négative n'a été que significative vis-à-vis de la Tmin en 2010. Ces différents types d'ascospores ont été associés positivement et très significativement à l'humidité et aux précipitations. Quant aux basidiospores la corrélation a été négative, significative à la Tmax et fortement significative à la Tmin et la Tmoy en 2009. En 2012, cette corrélation a été négative et significative à la

Tmoy et très significative à la Tmax. En revanche, aucune association significative n'a été rencontrée en 2010. La corrélation a été toujours hautement significative et positive entre l'humidité et les basidiospores. Les basidiospores ont révélé un effet positif et très significatif des précipitations uniquement en 2012.

Pour la variable direction des vents, *Alternaria* et *Cladosporium* ont été corrélés positivement et très significativement aux vents d'origine NW en 2012, *Stemphylium* a montré une association positive et significative à cette même direction en 2010. Les ascospores ont manifesté une relation positive et très significative aux vents provenant du SW et NW en 2010 et 2012. *Leptosphaeria* a été affecté positivement et significativement par les vents du NW uniquement en 2012. Les ascospores de *Pleospora* ont montré une corrélation hautement significative et positive aux vents soufflant du SE et du SW en 2010 et 2012 respectivement. Les vents du NW ont affecté positivement, significativement en 2009 et très significativement en 2012, les ascospores de *Venturia*. Les vents du NE provenant de la mer ont accusé un effet négatif sur toutes les spores avec des degrés de significations différents d'un type de spores à l'autre et en fonction de l'année. Les basidiospores, *Drechslera*, *Leptosphaeria* et *Venturia* ont montré une corrélation positive et très significative avec le calme en 2009 et 2010, la même corrélation a été observée uniquement en 2009 pour les Ascospores. Quant aux autres types de spores non montrés au tableau, les corrélations peuvent être de signe positif ou négatif à $p \leq 0,05$ ou à $p \leq 0,01$.

4. Discussion

L'étude aéromycologique de l'atmosphère suscite un intérêt marqué chez les experts en bio-aérosols, qualité épidémiologique de l'air en relation avec la santé publique (allergologie) et l'agriculture. Au Maroc, la biosurveillance du contenu fongique de l'atmosphère en 2009, 2010 et 2012 a révélé de forts indices annuels en spores fongiques allant de 474 867 à 615 193, distribués de façon inégale tout au long de l'année.

Les spores identifiées et regroupées en classes montrent que les deutéromycètes (champignons se reproduisant uniquement par voie asexuée) dominent l'atmosphère de Tétouan avec un pourcentage de 74 %, suivis par les basidiomycètes (19 %). Un même classement a été observé en Espagne et au Portugal [13,14]. À la Martinique, les ascomycètes et les basidiomycètes ont montré une forte incidence [15].

À Tétouan, les concentrations en spores fongiques augmentent nettement depuis le printemps et atteignent les valeurs maximales en automne, les mois de septembre, août et octobre ont enregistré les plus forts indices sporaux en 2009, 2010 et 2012 respectivement. Ce sont surtout les conidies de *Cladosporium*, les basidiospores et les ascospores qui sont responsables de l'augmentation automnale du taux de spores. En effet, les précipitations n'ont pas montré de corrélations significatives et négatives avec les spores de *Cladosporium*. La forte concentration des basidiospores et des ascospores est attribuée aux premières pluies automnales. Ce résultat est justifié par les corrélations positives obtenues entre les

Tableau 5

Corrélations entre les principaux Taxons et les paramètres météorologiques.

	Température ^a			Humidité ^a			Précipitations ^a		Direction des vents ^a			
	Tmax	Tmin	Tmoy	Hmax	Hmin	Hmoy	Pr	Calme	% NE	% SE	% SW	% NW
<i>Alternaria</i>												
2009	0,45^b	0,42^b	0,43^b	−0,08	−0,16^b	−0,12^c	−0,13^c	−0,02	0,03	−0,18^b	0,07	−0,07
2010	0,50^b	0,48^b	0,52^b	−0,14^b	−0,16^b	−0,18^b	−0,21^b	−0,04	0,07	−0,07	−0,02	0,03
2012	0,40^b	0,29^b	0,41^b	−0,05	−0,16^b	−0,14^b	−0,15^b	0,01	−0,16^b	−0,02	0,07	0,32^b
Ascospores												
2009	−0,18^b	−0,15^b	−0,21^b	0,17^b	0,19^b	0,20^b	0,21^b	0,23^b	−0,14^b	−0,04	0,07	0,06
2010	−0,17^c	−0,15^c	−0,15^c	0,19^b	0,20^b	0,23^b	0,39^b	0,03	−0,22^b	0,09	0,14^b	0,16^b
2012	−0,25^b	−0,09	−0,19^b	0,26^b	0,25^b	0,26^b	0,47^b	−0,08	−0,23^b	0,05	0,18^b	0,14^b
Basidiospores												
2009	−0,12^c	−0,17^b	−0,15^b	0,22^b	0,21^b	0,25^b	0,1	0,25^b	0,02	−0,05	−0,06	0,14^b
2010	−0,06	−0,08	−0,06	0,21^b	0,21^b	0,25^b	−0,03	0,32^b	−0,06	0,02	−0,05	0,01
2012	−0,16^b	−0,05	−0,10^c	0,22^b	0,27^b	0,26^b	0,27^b	−0,08	−0,14^c	0,02	0,12^c	0,09
<i>Cladosporium</i>												
2009	0,42^b	0,42^b	0,39^b	0,03	−0,04	0	−0,06	0,03	0,02	−0,1	0,02	−0,01
2010	0,42^b	0,29^b	0,37^b	0,01	−0,08	−0,04	−0,01	0,09	0	0,03	−0,06	0,1
2012	0,23^b	0,23^b	0,27^b	0,04	0,03	0,02	0,08	0,01	−0,14^b	−0,02	0,06	0,30^b
<i>Drechslera</i>												
2009	−0,23^b	−0,27^b	−0,25^b	0,04	0,08	0,07	−0,02	0,16^b	−0,14^b	−0,10^c	0,12^c	0,02
2010	0,39^b	0,35^b	0,40^b	−0,02	−0,08	−0,06	−0,20^b	0,15^b	0,08	0,03	−0,16^b	0,05
2012	0,33^b	0,20^b	0,31^b	−0,02	−0,13^c	−0,1	−0,17^b	−0,03	−0,07	0,06	0	0,18^b
<i>Epicoccum</i>												
2009	−0,11^c	−0,13^c	−0,13^c	−0,06	−0,04	−0,05	−0,08	−0,03	0	−0,15^b	0,08	−0,04
2010	0,30^b	0,19^c	0,27^b	−0,22^b	−0,23^b	−0,26^b	−0,1	0	0,04	−0,1	0,02	0,03
2012	0,32^b	0,22^b	0,33^b	−0,08	−0,20^b	−0,18^b	−0,1	0,01	−0,14^b	0,02	0,08	0,16^b
<i>Leptosphaeria</i>												
2009	−0,42^b	−0,39^b	−0,43^b	0,25^b	0,31^b	0,30^b	0,35^b	0,34^b	−0,16^b	0,09	0,01	0,11
2010	−0,18^c	−0,18^c	−0,17^c	0,41^b	0,36^b	0,44^b	0,37^b	0,27^b	−0,06	0,1	−0,09	0,07
2012	−0,25^b	−0,09	−0,20^b	0,27^b	0,30^b	0,31^b	0,49^b	0,01	−0,08	0,05	0,02	0,12^c
<i>Pleospora</i>												
2009	−0,44^b	−0,41^b	−0,46^b	0,11^c	0,16^b	0,14^b	0,19^b	0,03	−0,22^b	0,13^c	0,11^c	0,03
2010	−0,28^b	−0,16^c	−0,24^b	0,33^b	0,25^b	0,32^b	0,44^b	0,11^c	−0,19^b	0,19^b	0,03	0,06
2012	−0,30^b	−0,17^b	−0,28^b	0,15^b	0,1	0,13^c	0,29^b	−0,08	−0,25^b	0,04	0,22^b	0,09
<i>Stemphylium</i>												
2009	0,32^b	0,31^b	0,31^b	0,02	0	0,02	−0,08	0,03	0,07	−0,16^b	0,01	−0,03
2010	0,37^b	0,36^b	0,40^b	−0,03	−0,07	−0,06	−0,16^c	0,03	0,06	0	−0,09	0,11^c
2012	0,25^b	0,16^b	0,25^b	0,01	−0,1	−0,05	−0,09	0,07	−0,16^b	−0,03	0,1	0,18^b
Urédospores												
2009	−0,12^c	−0,14^b	−0,12^c	−0,12^c	−0,07	−0,11^c	−0,08	−0,09	−0,05	−0,15^b	0,13^c	−0,05
2010	0,19^c	0,24^b	0,22^b	−0,39^b	−0,25^b	−0,34^b	−0,11	−0,05	−0,12^c	0,03	0,13^c	−0,05
2012	0,12^c	0,19^b	0,14^b	−0,22^b	−0,21^b	−0,24^b	−0,05	−0,06	−0,23^b	−0,01	0,24^b	−0,03
<i>Ustilago</i>												
2009	0,50^b	0,50^b	0,50^b	−0,17^b	−0,24^b	−0,25^b	−0,11^c	−0,07	0,01	−0,13^c	0,07	−0,04
2010	0,48^b	0,44^b	0,47^b	−0,32^b	−0,37^b	−0,41^b	−0,1	−0,07	−0,06	0,02	0,07	−0,03
2012	0,34^b	0,23^b	0,37^b	−0,15^b	−0,25^b	−0,26^b	−0,01	0,08	−0,11^c	−0,13^c	0,1	0,12^c
<i>Venturia</i>												
2009	−0,36^b	−0,34^b	−0,39^b	0,24^b	0,28^b	0,28^b	0,26^b	0,27^b	−0,14^b	0,02	0,03	0,12^c
2010	−0,18^c	−0,19^c	−0,17^c	0,40^b	0,33^b	0,41^b	0,32^b	0,28^b	−0,1	0,09	−0,06	0,07
2012	−0,28^b	−0,12^c	−0,24^b	0,30^b	0,32^b	0,36^b	0,46^b	−0,01	−0,1	0,03	0,04	0,16^b

Tmax : température maximale ; Tmin : température minimale ; Tmoy : température moyenne ; Hmax : humidité relative maximale ; Hmin : humidité relative minimale ; Hmoy : humidité relative moyenne ; Pr : précipitations ; NE : pourcentages des vents du nord-est ; SE : sud-est ; SW : sud-ouest ; NW : nord-ouest. Le caractère gras correspond à une corrélation significative (c) à très significative (b).

^a Voir Matériel et méthodes.

^b Très significatif ($p \leq 0,01$).

^c Significatif ($p \leq 0,05$).

précipitations et ces deux types de spores. L'hiver s'est caractérisé par les plus faibles scores fongiques. La saison hivernale a accusé aussi une baisse des scores fongiques à Sousse en Tunisie [16], à Grenade en Espagne [13] et à Porto et Amares au Portugal [14]. En comparaison avec d'autres études, les comptes saisonniers des spores montrent un comportement variable d'une région à l'autre. Les plus fortes scores ont été enregistrés au printemps à Sousse [16], au printemps et automne à Grenade en Espagne [13] et en été au Portugal [14]. Dans les régions tempérées, le calendrier des spores fongiques prend tout son importance d'avril à novembre, les mois de juillet et d'août sont les plus chargés en spores fongiques [17–20].

Au cours de la période d'étude, les spores du genre *Cladosporium* sont les plus abondantes et présentent de plus loin les concentrations les plus fortes dans l'air. Ce genre a dépassé 57 % de l'aéromycoflore de Tétouan en 2010, et 67 % en 2009 et 2012, ce qui est conforme à plusieurs études [13,16,21–24]. Ce résultat est attribué à la forte production de ce type de spores par ce genre fongique et à leur petite taille leur permettant une permanence dans l'air et une plus forte dispersion.

Après *Cladosporium*, et par ordre décroissant de représentativité des trois types de spores qui le suivent, on trouve les spores d'*Ustilago*, les basidiospores et les conidies d'*Alternaria*. Dans d'autres études, les spores les plus abondantes sont les spores de *Cladosporium* et d'*Alternaria* [17–20]. Mais à la Martinique, c'est la famille des Aspergillaceae qui est quantitativement la plus abondante [15]. Au Sud de l'Espagne, cette famille a atteint 50 % du total annuel des spores de l'atmosphère intérieure des Grottes de Nerja à Malaga durant la période d'étude [25].

Les genres *Cladosporium* et *Alternaria* suscitent un intérêt marqué dans la plupart des études aéromycologiques, cela est dû principalement à leur effet allergisant [24]. À Tétouan, les indices annuels de *Cladosporium* sont dix à 22 fois plus élevés que ceux d'*Alternaria*, en France et à Malaga en Espagne, les concentrations atmosphériques de *Cladosporium* sont dix fois plus supérieures à celles d'*Alternaria* [24,26]. Le profil de la courbe de la dynamique journalière de la concentration moyenne des spores de *Cladosporium* a montré des fluctuations et des concentrations journalières maximales atteignant 11 276 sp/m³ le 31 mars 2012. La distribution saisonnière a révélé un indice mensuel maximal en septembre 2009, août 2010 et octobre 2012. Les résultats de 2009 sont cohérents avec ceux obtenus en Lituanie [27]. L'incidence maximale d'août 2010 a été également obtenue à Vigo en Espagne [23] et à la Martinique [15]. Dans cette dernière étude, un pic se détache en fin mars–début avril. En France, Thibaudon et Lachasse [24], ont détecté en 2005 les plus fortes incidences sporales durant juillet dans plusieurs régions du territoire français (Paris, Bordeaux, Nantes, Toulouse, Troyes, Reims, et Aix-en-Provence).

Les conditions météorologiques influencent principalement l'émission des spores et leur dispersion. Généralement, on a noté des différences de signe et de degré de signification des corrélations effectuées entre les paramètres météorologiques et les concentrations en spores d'une année à l'autre et d'un type

de spore à l'autre. En générale, la température (Tmax, Tmoy, Tmin) influence de façon positive et très significative les spores d'*Alternaria*, *Cladosporium* et *Ustilago*. Le même résultat a été obtenu pour les deux premières par plusieurs auteurs [13,14,23,28,29] mais cette corrélation a été positive et significative à Sousse en printemps [16]. Pour les spores d'*Ustilago*, leur corrélation à la température a été négative et très significative en Espagne [13].

À Tétouan, les ascospores ont montré une corrélation négative, et significative à la Tmin en 2010, et très significative à la Tmax et la Tmoy durant la période d'étude. En Inde [30], la corrélation des ascospores a été positive et très significative à la Tmin, et significative à la Tmoy. Les basidiospores ont montré à Tétouan une corrélation négative significative à très significative avec la température, contrairement à ce qui a été obtenu en Inde [30] où la corrélation a été positive, très significative avec la Tmoy et Tmin et significative avec la Tmax. L'humidité n'a montré aucun effet sur les spores de *Cladosporium*, mais a été corrélée négativement aux spores d'*Alternaria* à Tétouan et à Grenade [13]. Cet effet sur *Alternaria* a été également négatif et significatif à Porto [14] avec l'Hmoy et l'Hmin. Les spores de *Cladosporium* ont été corrélées de manière négative et significative avec l'humidité en Inde [30] et à Porto [14]. Une corrélation négative et significative à très significative a été observée entre les spores d'*Alternaria* et les précipitations. Cette corrélation a été positive et très significative avec les ascospores. Des résultats similaires ont été obtenus mais avec des degrés de signification différentes à Grenade [13], à Porto [14] et en Inde [30].

5. Conclusion

L'analyse qualitative et quantitative des spores de l'air de Tétouan a montré une grande diversité des types de spores rencontrés et l'abondance des Deutéromycètes en particulier *Cladosporium* et *Alternaria*. Leurs concentrations moyennes journalières sont corrélées positivement à la température et négativement à l'humidité. Le potentiel allergisant de ces spores peut être à l'origine de manifestations de pathologies allergiques de type respiratoire.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Références

- [1] Lacey J. The aerobiology of conidial fungi. In: Cole GT, Kendrick B, editors. Biology of conidial fungi. New York: Academic Press, Inc; 1981 p. 373–416.
- [2] Lehrer SB, Aukrust L, Salvaggio JE. Respiratory allergy induced by fungi. Clin Chest Med 1983;4:23–41.
- [3] Adhikari A, Sen MM, Gupta-Bhattacharya S, Chanda S. Airborne viable, non-viable, and allergenic fungi in a rural agricultural area of India: a 2-year study at five outdoor sampling stations. Sci Total Environ 2004;326:123–41.
- [4] Jones A, Harrison R. The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations. Sci Total Environ 2004;326:151–80.

- [5] D'Amato G, Spiekma FTM. Aerobiologic and clinical aspects of mould allergy in Europe. *Allergy* 1995;50:870–7.
- [6] Burge H, Rogers CA. Outdoor allergens. *Environ Health Perspect* 2000;108: 653–9.
- [7] Dales RE, Cakmak S, Burnett RT, Judek S, Coates F, Brook JR. Influence of ambient fungal spores on emergency visits for asthma to a regional children's hospital. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;162:2087–90.
- [8] Horner WE, Helbling A, Salvaggio JE, Lehrer SB. Fungal allergens. *Clin Microbiol Rev* 1995;8(2):161–79.
- [9] Latgé JP, Paris S. The fungal spore: reservoir of allergens. In: Cole GT, Hoch HC, editors. *The fungal spore and disease initiation in plants and animals*. New York: Plenum Press; 1991. p. 369–401.
- [10] Bouziane H, El Ftouh N, Kadir M, Riadi H, Kazzaz M. Qualitative analysis of the airborne fungi isolated from Tetouan city (NW Morocco). XV International Symposium of Palynology. Benalmadena (Malaga, Spain). *Polen* 2006;16:121.
- [11] El Mrini A, Nachite D, Taaouati M. Interactions physico-naturelles et socio-économiques sur le littoral Tétouanais (Maroc Nord Occidental). Actes du colloque international pluridisciplinaire « le littoral : subir, dire, agir ». Lille, France, 16–18 janvier 2008.
- [12] Galán C, Cariñanos P, Alcazàr P, Dominguez-Vilches E. Spanish Aerobiology Network (REA): management and quality manual.. Córdoba, Spain: Ed. Servicio de publicaciones de la universidad de Cordoba; 2007. , 61p.
- [13] Sabariego S, Diaz de la Guardia C, Alba F. The effect of meteorological factors on the daily variation of airborne fungal spores in Granada (southern Spain). *Int J Biometeorol* 2000;44(1):1–5.
- [14] Oliveira M, Ribeiro H, Delgado L, Fonseca J, Castel-Branco MG, Abreu I. Outdoor allergenic fungal spores: comparison between an urban and a rural area in northern Portugal. *J Investig Allergol Clin Immunol* 2010;20(2):117–28.
- [15] Desbois N, Beguin H, Ruck G, Nere J, Nolard N. Calendrier des spores fongiques de la Martinique. *J Mycol Med* 2006;16:189–96.
- [16] Gargouri I, Mezghani S, Hayouni A, Njima H, Abdelghani A, Garrouch A, et al. Recensement des spores fongiques de l'atmosphère de la ville de Sousse (Tunisie). *Rev Fr Allergol* 2010;50:603–10.
- [17] Bagni N, Davies RR, Mallea M, Nolard N, Spireksma FT, Stix E. Spore concentration in cities of the European Economic Community. II. Spores of *Cladosporium* and *Alternaria*. *Acta Allergol* 1977;32:118–38.
- [18] Vittal BP, Krishnamoorthi K. A census of airborne mould spores in the atmosphere of the city of Madras, India. *Ann Allergy* 1988;60:99–101.
- [19] Nolard N, Beguin H, Chasseur C. Mold allergy: 25 years of indoor and outdoor studies in Belgium. *Allerg Immunol* 2001;33:101–2.
- [20] Giuoleka D, Damialis A, Mpafoutis C, Papakosta D, Giuoleka P. Allergenic fungal spore records (15 years) and relationship meteorological parameters in Thessaloniki, Greece. *Allergy and Clinical Immunology International Journal of the World Allergy Organisation* 2004;16:52–9.
- [21] Aisha A, Al-Subai T. Air-borne fungi at Doha, Qatar. *Aerobiologia* 2002;18:175–83.
- [22] Pepelnjak S, Šegvić M. Occurrence of fungi in air and on plants in vegetation of different climatic regions in Croatia. *Aerobiologia* 2003;19: 11–9.
- [23] Rodríguez-Rajo FJ, Iglesias I, Jato V. Variation assessment of airborne *Alternaria* and *Cladosporium* spores at different bioclimatical conditions. *Mycol Res* 2005;109:497–507.
- [24] Thibaudon M, Lachasse C. *Alternaria*, *Cladosporium* : dispersion atmosphérique, rythmes nyctéméral et saisonnier. *Rev Fr Allergol Immunol Clin* 2006;46(3):188–96.
- [25] Docampo S, Trigo MM, Recio M, Melgar M, Garcia J, Cabezero B. Fungal spore content of the atmosphere of the Cave of Nerja (southern Spain): diversity and origin. *Sci Total Environ* 2011;409:835–43.
- [26] Recio M, Trigo MM, Docampo S, Melgar M, Garcia-Sanchez J, Bootello L, et al. Analysis of the predicting variables for daily and weekly fluctuations of two airborne fungal spores: *Alternaria* and *Cladosporium*. *Int J Biometeorol* 2012;56(6):983–91.
- [27] Lugauskas A, Sveistyte L, Ulevicius V. Concentration and species diversity of airborne fungi near busy streets in Lithuanian areas. *Ann Agric Environ Med* 2003;10(2):233–9.
- [28] Peternel R, Culig J, Hrga I. Atmospheric concentrations of *Cladosporium* spp. and *Alternaria* spp. spores in Zagreb (Croatia) and effects of some meteorological factors. *Ann Agric Environ Med* 2004;11:303–7.
- [29] Grinn-Gofron A, Rapiejko P. Occurrence of *Cladosporium* spp. and *Alternaria* spp. spores in Western, Northern and Central-Eastern Poland in 2004–2006 and relation to some meteorological factors. *Atmos Res* 2009;93:747–58.
- [30] Das S, Gupta Bhattacharya S. Enumerating outdoor aeromycota in sub-urban West Bengal, India, with reference to respiratory allergy and meteorological factors. *Ann Agric Environ Med* 2008;15:105–12.