BJMS
www.batnajms.net

Batna Journal of Medical Sciences 2026;13(2):08
https://doi.org/10.48087/BJMS.2026.130208

ORIGINAL ARTICLE

First pollen calendar for Batna and its surrounding areas (Tazoult, Hamla): results of an aeropalynological study conducted during the pollen year 1 November 2022–31 October 2023

Abdelkader AMROUNE[1], Nabil MOHAMDI[1], Mohammed Tahar BEN MOUSSA[1], Dorra GHARBI[2,3], Dalila SMATI[4]

ABSTRACT

Objectives: Airborne pollen is a major cause of respiratory diseases, whose clinical expression is closely related to the bioclimatic context and the structure of local vegetation. This study aimed to provide the first detailed aeropalynological characterization of the atmosphere of Batna and its nearby areas (Tazoult, Hamla), located in the semi-arid Mediterranean zone of eastern Algeria, in order to describe the composition, intensity, and seasonal dynamics of the pollen spectrum and to establish a reference pollen calendar directly applicable in allergology. **Materials and Methods:** A prospective descriptive study was conducted over a full pollen year, from November 1, 2022, to October 31, 2023. Atmospheric particles were continuously collected using a Hirst-type volumetric sampler (Lanzoni VPPS 2000), installed in accordance with international recommendations, and subsequently analyzed by light microscopy for pollen identification and counting. For each taxon, the Annual Pollen Index (API), Monthly Pollen Indices (MPIs), and the Main Pollen Season (MPS) were calculated. The pollen calendar was established by retaining taxa with an API of at least 36 grains/m³/year. **Results:** A total of 31,853 pollen grains/m³ were recorded, distributed among 34 pollen types belonging to 28 families, with a marked predominance of trees and shrubs (85.40% of the API) over herbaceous taxa (12.70%) and Poaceae (1.60%). Four taxa accounted for 83.23% of the annual load: Cupressaceae (66.28%), *Quercus* sp. (9.77%), Chenopodiaceae–Amaranthaceae (3.80%), and *Olea europaea* L. (3.38%). The temporal distribution was highly skewed, with 88.41% of the annual load recorded from February to June, and a "hyper-pollinic" March alone accounting for 52.28% of the API. The calendar retained 24 taxa, 58% of which had confirmed allergenic potential, and made it possible to distinguish three pollen seasons and three successive allergenic pollen periods. **Conclusion:** This work provides the first aeropalynological reference for the Batna region, characterized by a high pollen load and the dominance of Cupressaceae in a semi-arid setting. The resulting data offer an operational basis for improving the diagnosis, prevention, and management of pollen allergies and support the implementation of regional monitoring and dissemination tools for allergenic pollen information.

Keywords: Aeropalynology; Pollen calendar; Batna; Allergenic pollen; Cupressaceae.

1.Département de Pharmacie – Faculté de Médecine- Université de Batna 2 – Algérie. 2- Université du Nord-Ouest, Potchefstroom, Afrique du Sud. 3- Analyse et Expérimentation de l'écosystème, Gif sur Yvette, France. 4- Faculté de Pharmacie – Université des Sciences de la Santé-Alger – Algérie.

Received: 28 Dec 2025
Accepted: 11 Jan 2026

Correspondance to: Abdelkader AMROUNE
E-mail : a.amroune@univ-batna2.dz

1. INTRODUCTION

Les pollens atmosphériques représentent des bioaérosols majeurs impliqués dans la genèse des rhinites allergiques, des conjonctivites et des exacerbations d'asthme, c'est ce qu'on appelle actuellement la pollinose [1]. La première définition de la pollinose a été donnée par Bostck en 1819, qui l'a désignée sous l'appellation « rhume des foins » dans l'ouvrage intitulé « Un cas d'affection périodique des yeux et du thorax », publié à Londres [2]. Toutefois, il a fallu près de quatre décennies pour que Blackley établisse la relation entre les réactions allergiques liées au rhume des foins et l'exposition aux grains de pollen, qui sont les principaux déclencheurs [3].

L'intensité, la durée et le calendrier d'exposition varient fortement selon les conditions bioclimatiques locales, la composition floristique et l'occupation des sols, ce qui justifie des études aéropalynologiques régionales standardisées permettant de caractériser finement les périodes de risque et d'orienter les stratégies diagnostiques, préventives et thérapeutiques [4]. L'aéropalynologie, fondée sur l'échantillonnage volumétrique de type Hirst et le comptage en grains/m³, s'est imposée comme la méthode de référence pour décrire la dynamique saisonnière des pollens et élaborer des calendriers polliniques utilisés par les réseaux européens de surveillance et les cliniciens allergologues [5,6].

L'aérobiologie s'est développée comme discipline de surveillance mondiale, avec au moins 879 stations actives de suivi pollinique, dont plus de 600 utilisant la méthode de Hirst, essentiellement concentrées en Europe et dans le bassin méditerranéen [7]. En Afrique, le domaine reste émergent avec une couverture très limitée, le premier réseau sud-africain composé de 7 stations n'ayant été établi qu'en 2019 [8]. L'Algérie présente une lacune majeure dans la surveillance aéropalynologique malgré sa diversité bioclimatique : seul le calendrier pollinique d'Alger (Ghernaout, 2008) utilise un capteur volumétrique de type Hirst à l'échelle nationale [9,10].

Ce travail établit le premier référentiel aéropalynologique standardisé pour les hautes plaines semi-arides du versant oriental algérien, palliant une carence majeure en surveillance volumétrique continue dans la région. En caractérisant exhaustivement le spectre pollinique atmosphérique et les profils saisonniers des principaux taxons allergènes à Batna et ses environs, cette étude génère un outil opérationnel directement applicable à l'optimisation du diagnostic, de la prévention et de la prise en charge des pollinoses au niveau régional, tout en contribuant à l'édification d'une cartographie aéropalynologique plus équilibrée à l'échelle nationale.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Type d'étude et période

Il s'agit d'une étude aéropalynologique descriptive, prospective, réalisée sur une année pollinique complète, du 1er novembre 2022 au 31 octobre 2023, période définie à partir du début de la saison pollinique des Cupressaceae, pollens précoces dominant l'atmosphère de la région et détectés dès novembre en contexte semi-aride.

Zone d'étude

La zone d'étude couvre la ville de Batna et ses environs proches, notamment Tazoult et la nouvelle ville de Hamla, situées dans le nord-est de l'Algérie en contexte bioclimatique méditerranéen à tendance semi-aride [11,12]. La végétation locale associe une flore naturelle (*Quercus* sp., Pinaceae, Chenopodiaceae–Amaranthaceae, *Artemisia* sp.), des espèces cultivées (*Olea europaea* L.) et de nombreuses espèces ornementales urbaines (Cupressaceae, *Casuarina* sp., Myrtaceae, *Phoenix dactylifera, Platanus* sp.) qui contribuent conjointement au spectre pollinique atmosphérique, reflétant à la fois l'empreinte bioclimatique naturelle et l'influence anthropique liée à l'urbanisation et aux aménagements paysagers.

Matériel

La surveillance aéropalynologique a été réalisée au moyen d'un échantillonneur volumétrique de type Hirst, modèle VPPS 2000 (Lanzoni srl®, Bologne, Italie), conçu pour le captage continu des particules biologiques de 2 à 200 µm (6). L'appareil, en aluminium anodisé et alliage inoxydable, était monté sur trépied et équipé d'une pompe aspirant 10 L/min, débit contrôlé régulièrement par débitmètre de haute précision afin d'assurer la fiabilité des mesures quantitatives. Les particules étaient impactées sur un ruban plastique transparent imprégné d'une solution de silicone à 2% (Lanzoni®), servant d'adhésif, fixé sur un tambour rotatif à mécanisme d'horlogerie (2 mm/h, autonomie 7 jours). Les préparations microscopiques étaient montées sur lames (24 × 76 mm) et lamelles (24 × 50 mm) dans une glycérogélatine colorée à la fuchsine (Lanzoni®), permettant une visualisation optimale des grains de pollen et de leurs caractéristiques morphologiques. L'analyse était effectuée avec un microscope optique binoculaire au grossissement 400×, niveau recommandé pour l'identification palynologique de routine.

Méthodes

Dispositif d'échantillonnage

Le capteur VPPS 2000 a été installé sur le toit du centre hospitalo-universitaire de Batna, à 21 m au-dessus du sol, sur une surface plane, dégagée et électriquement sécurisée, conformément aux recommandations du réseau espagnol d'aéropalynologie et du groupe « contrôle qualité » de la société européenne d'aérobiologie [1,13]. L'emplacement évitait les obstacles proches, les bords de toit et les sources ponctuelles majeures (parcs immédiats, panaches de fumée), et est considéré comme représentatif d'un disque de 40 km de rayon [14], couvrant Batna, Tazoult et Hamla, permettant ainsi de capter les contributions à la fois urbaines, périurbaines et rurales environnantes. L'appareil aspirait en continu 10 L/min d'air à travers une fente de 14 × 2 mm, maintenue face au vent par une girouette assurant une orientation optimale, soit 14,4 m^3/24 h. Les particules étaient déposées sur le ruban adhésif fixé au tambour ; après sept jours, le tambour était retiré, le ruban décollé à l'aide d'un support rotatif, puis découpé en segments de 48 mm correspondant chacun à 24 h d'échantillonnage, permettant une résolution temporelle journalière.

Préparation des lames et lecture microscopique

Chaque segment quotidien était monté sur lame, recouvert de glycérogélatine à la fuchsine liquéfiée, puis surmonté d'une lamelle, en veillant à limiter les bulles d'air et à assurer une répartition homogène du milieu de montage. Après solidification, les préparations étaient analysées au microscope (400×) selon la méthode de Galán et al. 2014 [13], en réalisant quatre balayages horizontaux continus et équidistants couvrant environ 12–13% de la surface impactée, ce qui répond aux exigences de représentativité du réseau européen et assure une estimation fiable des concentrations polliniques. L'identification des types polliniques reposait sur les caractères morphologiques (taille, forme, apertures, ornementation) en comparaison avec une palynothèque locale de 68 lames de référence élaborée spécifiquement pour cette étude et plusieurs atlas spécialisés permettant de couvrir la diversité taxonomique régionale[15–19]. Les grains non identifiables (détérioration, masquage par poussières ou autres particules) étaient classés comme «non identifiés » et représentaient une fraction négligeable du total.

Traitement quantitatif et paramètres aérobiologiques

Pour chaque lame, le nombre de grains de pollen de chaque type observé lors des quatre balayages a été converti en concentration (grains/m^3) à l'aide d'un facteur de correction. Ce facteur tient compte de la surface totale impactée en 24 h (14 × 48 mm = 672 mm^2), de la surface effectivement lue (0,45 mm de diamètre de champ × 48 mm × 4 balayages = 86,4 mm^2) et du volume d'air aspiré (14,4 m^3). Le calcul conduit ainsi à un facteur de conversion de 0,54 m^{-3} : *(FC = (672 mm^2/ 86,4 mm^2) /14,4 m^3= 0,54 m^{-3})*

Ce facteur de 0,54 m^{-3} est conforme aux recommandations méthodologiques établies par Galán et al. (2014) [13] et résulte directement des caractéristiques optiques de notre microscope utilisé : le diamètre du champ microscopique à 400× (0,45 mm) conduit à une surface effectivement analysée de 12,9% de la surface totale, dépassant ainsi l'exigence minimale de 10% fixée par la société européenne d'aérobiologie. Comme précisé dans le manuel du réseau espagnol d'aérobiologie [1], le facteur de conversion est inversement proportionnel à la surface lue : un pourcentage élevé (12,9%) génère mathématiquement un facteur plus bas, cette variabilité entre stations dépendant du matériel optique employé.

La teneur en pollen par mètre cube d'air est donc donnée par la relation :

Teneur en pollen (grains/m^3) = N × 0,54, où N représente le nombre total de grains de pollen comptés sur les quatre balayages. Ce facteur permettait d'exprimer les résultats en concentrations atmosphériques standardisées. Les valeurs journalières obtenues ont ensuite servi au calcul de trois indicateurs principaux :

- pollinique annuel (IPA, somme des concentrations quotidiennes en grains/m^3/an), reflétant la charge pollinique totale sur l'année
- les Indices polliniques mensuels (IPM, somme mensuelle par taxon), permettant d'identifier les mois de plus forte exposition ;
- la période principale de pollinisation (PPP), définie comme l'intervalle couvrant 5 à 95% du cumul annuel d'un taxon [20], avec détermination des dates de début et de fin, de la durée, du jour et de la valeur du pic journalier, paramètres essentiels pour caractériser la dynamique temporelle de chaque taxon et identifier les fenêtres d'exposition critique.

Le calendrier pollinique a été élaboré en retenant les taxons présentant un IPA ≥ 36 grains/m^3/an, seuil permettant de concentrer l'analyse sur les contributeurs significatifs à l'exposition régionale [21].

Analyse statistique

Les données (concentrations journalières en grains/m^3) ont été saisies et traitées par **statistiques descriptives** sous Microsoft® Excel® (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA), avec production des tableaux et graphiques. Les indicateurs aérobiologiques (IPA, IPM et paramètres de la PPP, définie sur l'intervalle 5–95% du cumul annuel) ont été calculés à partir des concentrations journalières.

Déclaration éthique : l'étude a été conduite conformément aux standards éthiques. Étant donné qu'elle ne comportait que des prélèvements environnementaux (surveillance aérobiologique) sans sujets humains/animaux ni données identifiables, aucune approbation éthique n'était requise.

3. RÉSULTATS

Spectre pollinique, hiérarchie des groupes biologiques et principaux taxons

Sur la période 1er novembre 2022 – 31 octobre 2023, l'indice pollinique annuel (IPA) atteint 31 853 grains/m³, avec une détection de pollen presque ininterrompue tout au long de l'année, confirmant une exposition pollinique continue bien que d'intensité variable. Trente-quatre types de pollen appartenant à 28 familles ont été identifiés (Tableau 1); la distribution des contributions met en évidence une nette prédominance des arbres et arbustes (85,40% de l'IPA), devant les plantes herbacées (12,70%) et les Poaceae, qui ne représentent que 1,60% de la charge annuelle. Cette répartition souligne le poids déterminant de la strate ligneuse urbaine et périurbaine dans la composition de l'aérosol pollinique régional, et contraste avec de nombreux calendriers méditerranéens où les graminées occupent une place plus importante.

Selon l'ordre décroissant de leurs indices annuels, quatre taxons dominent très largement le spectre et cumulent 83,23% de l'IPA : les Cupressaceae (21 113 grains/m³, 66,28%), *Quercus* sp. (3111 grains/m³, 9,77%), les Chenopodiaceae–Amaranthaceae (1209 grains, 3,80%) et *Olea europaea* L. (1078 grains/m³, 3,38%). Les Cupressaceae occupent une position hégémonique exceptionnelle, avec plus de 21 000 grains/an et près des deux tiers du total, ce qui confère au spectre une physionomie nettement « résineuse » rare à ce niveau dans les séries méditerranéennes et suggère une contribution majeure des plantations ornementales urbaines. *Quercus*, bien qu'à plus de 50 points en dessous en termes de pourcentage, reste le deuxième pilier de l'aérosol et témoigne de la présence de formations naturelles à chênes dans l'arrière-pays, tandis que Chenopodiaceae–Amaranthaceae et *Olea europaea* L. assurent respectivement une contribution de fond steppique/rudérale et un signal oléicole typique des paysages méditerranéens cultivés.

Les pollens secondaires forment un second cercle quantitatif, mais jouent un rôle clé dans la structuration temporelle du calendrier et dans l'exposition des patients polysensibilisés. Ils comprennent *Plantago* sp. (819 grains/m³, 2,57 %), Pinaceae (772 grains/m³, 2,42 %), Urticaceae (677 grains/m³, 2,13 %), Poaceae (509 grains/m³, 1,60 %), Caryophyllaceae (421 grains/m³, 1,32 %), *Artemisia* sp. (297 grains/m³, 0,93 %), Myrtaceae (288 grains/m³, 0,90 %), *Fraxinus* sp. (265 grains/m³, 0,83 %), Moraceae (161 grains/m³, 0,51 %), Ericaceae (126 grains/m³, 0,40 %), Asteraceae liguliflores (123 grains/m³, 0,39 %), *Casuarina* sp. (118 grains/m³, 0,37 %) et Apiaceae (109 grains/m³, 0,34 %). Au-delà, un cortège de pollens minoritaires (IPA < 100 grains/an), incluant notamment *Ligustrum* sp., *Ambrosia* sp., *Betula* sp., *Rumex* sp., *Platanus* sp. et d'autres, enrichit la diversité taxonomique et peut intervenir chez des sujets polysensibilisés, même si son poids global reste faible.

Tableau 1. L'indice pollinique annuel (IPA) des différents types de pollens collectés.

Taxons	IPA (grain/an)	Pourcentage	*Taxons*	IPA (grain/an)	Pourcentage
Cupressaceae	21 113	66,28%	*Ligustrum sp.*	87	0,27%
Quercus sp	3111	9,77%	*Ambrosia sp.*	69	0,22%
Chenopodiaceae - Amaranthaceae	1209	3,80%	*Echuim sp.*	65	0,20%
Olea europaea L.	1078	3,38%	*Betula sp.*	56	0,18%
Plantago sp.	819	2,57%	*Acer sp.*	55	0,17%
Pinaceae	772	2,42%	*Rumex sp.*	52	0,16%
Urticaceae	677	2,13%	*Platanus sp.*	42	0,13%
Poaceae	509	1,60%	Brassicaceae	29	0,09%
Caryophyllaceae	421	1,32%	Ranunculaceae	27	0,08%
Artemesia sp.	297	0,93%	Asteraceae Tubul.	21	0,07%
Myrtaceae	288	0,90%	Arecaceae	18	0,06%
Fraxinus sp.	265	0,83%	*Juglans sp.*	16	0,05%
Moraceae	161	0,51%	*Pistacia sp.*	15	0,05%
Ericaceae	126	0,40%	*Ulmus sp.*	7	0,02%
Astéraceae Ligul.	123	0,39%	Rosaceae	3	0,01%
Casuarina sp.	118	0,37%	*Corylus sp.*	1	0,003%
Apiaceae	109	0,34%	*Tilia sp.*	1	0,003%
Non identifiés	93	0,29%			

Distribution mensuelle, chiffres remarquables et saisons polliniques

La répartition mensuelle de l'IPA est fortement asymétrique et constitue l'une des signatures les plus frappantes du calendrier de Batna : 88,41 % de la charge annuelle est concentrée sur la seule période février — juin, avec un effondrement de l'activité pollinique en automne et hiver (hors Cupressaceae précoces) (figure 1). Le mois de mars se distingue par un pic exceptionnel de 16 654 grains, soit 52,28 % de l'IPA, constituant un mois « hyperpollinique » qui concentre à lui seul plus de la moitié des émissions annuelles, phénomène rare dans les séries publiées et directement attribuable à l'explosion des Cupressaceae (figure 2). Ce maximum est suivi d'avril (3 515 grains, 11,04 %), de juin (2 644 grains, 8,30 %) et de mai (2 087 grains, 6,55 %), alors que novembre apparaît comme le mois le plus pauvre (182 grains, 0,57 %), avec également de faibles charges en décembre et en octobre. Ce contraste très marqué entre un cœur printanier explosif et un automne quasi quiescent témoigne d'une saisonnalité extrême de l'émission pollinique, conditionnant directement la fenêtre de risque allergique.

L'agrégation des IPM et des PPP permet de distinguer trois grandes saisons polliniques structurant l'année :

- une saison hivernale préprintanière (décembre — mars), dominée par les Cupressaceae, détectées dès novembre et atteignant leurs plus fortes concentrations en février — mars, période critique pour les sujets sensibilisés à ce groupe ;
- une saison de printemps — début d'été (mars — juillet), au cours de laquelle le nombre de taxons présents atteint son maximum (jusqu'à 19 des 24 types du calendrier en avril), avec les pics successifs et parfois superposés de *Quercus* sp., *Olea europaea* L., *Fraxinus* sp., Poaceae, Urticaceae et *Plantago* sp., formant une fenêtre de coexposition complexe particulièrement problématique pour les patients polysensibilisés ;
- Une saison estivo-automnale (juillet — octobre), marquée par la persistance ou la réapparition de pollens de Chenopodiaceae–Amaranthaceae, Urticaceae, *Artemisia* sp., Caryophyllaceae, *Casuarina* sp. et *Ambrosia* sp., maintenant une exposition résiduelle mais non négligeable jusqu'à l'automne.

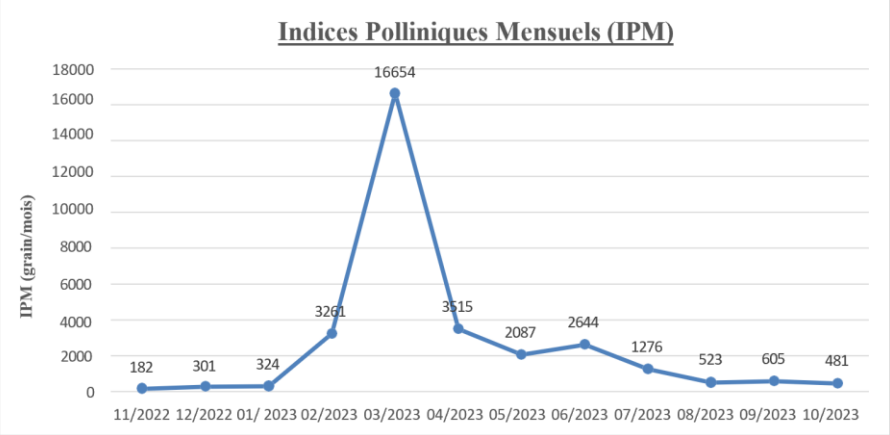


Figure 1. L'indice pollinique mensuel (IPM) des différents types de pollens collectés.

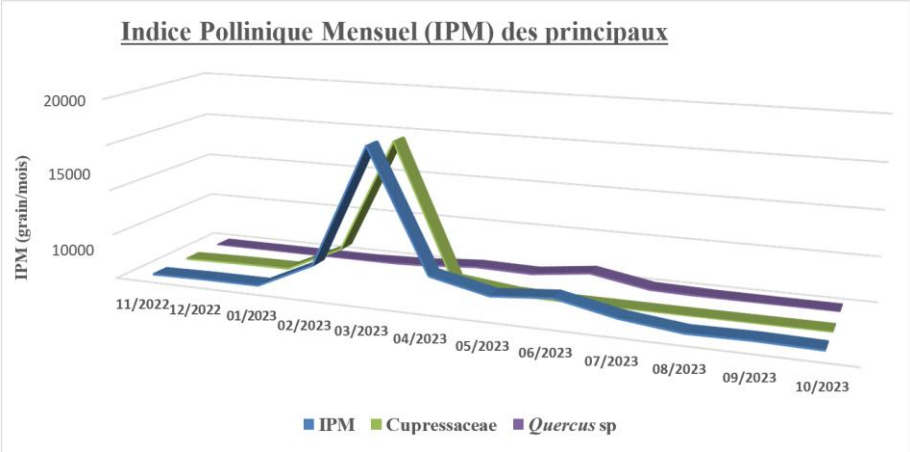


Figure 2. L'indice pollinique mensuel (IPM) des principaux pollens.

Calendrier pollinique, taxons allergisants et périodes de risque

Le calendrier pollinique de Batna, Tazoult et Hamla, établi pour la période 1er novembre 2022-31 octobre 2023, intègre 24 types de pollen présentant un IPA ≥ 36 grains/m³/an, seuil retenu pour concentrer l'analyse sur les contributeurs significatifs (Figure 3). Parmi ces 24 taxons retenus, 58 % sont considérés comme allergisants d'après la littérature spécialisée : Cupressaceae, *Quercus* sp., Chenopodiaceae–Amaranthaceae, *Olea europaea* L., *Plantago* sp., Urticaceae, Poaceae, *Artemisia* sp., *Fraxinus* sp., Asteraceae liguliflores, *Casuarina* sp., *Ligustrum* sp., *Ambrosia* sp. et *Betula* sp. Cette sélection permet de focaliser l'analyse sur les sources polliniques les plus pertinentes en termes de risque clinique, sans perdre la richesse taxonomique globale nécessaire à la compréhension du spectre régional. L'évolution saisonnière de ces pollens allergisants fait émerger trois périodes allergo-polliniques de risque accru, directement exploitables pour la pratique clinique :

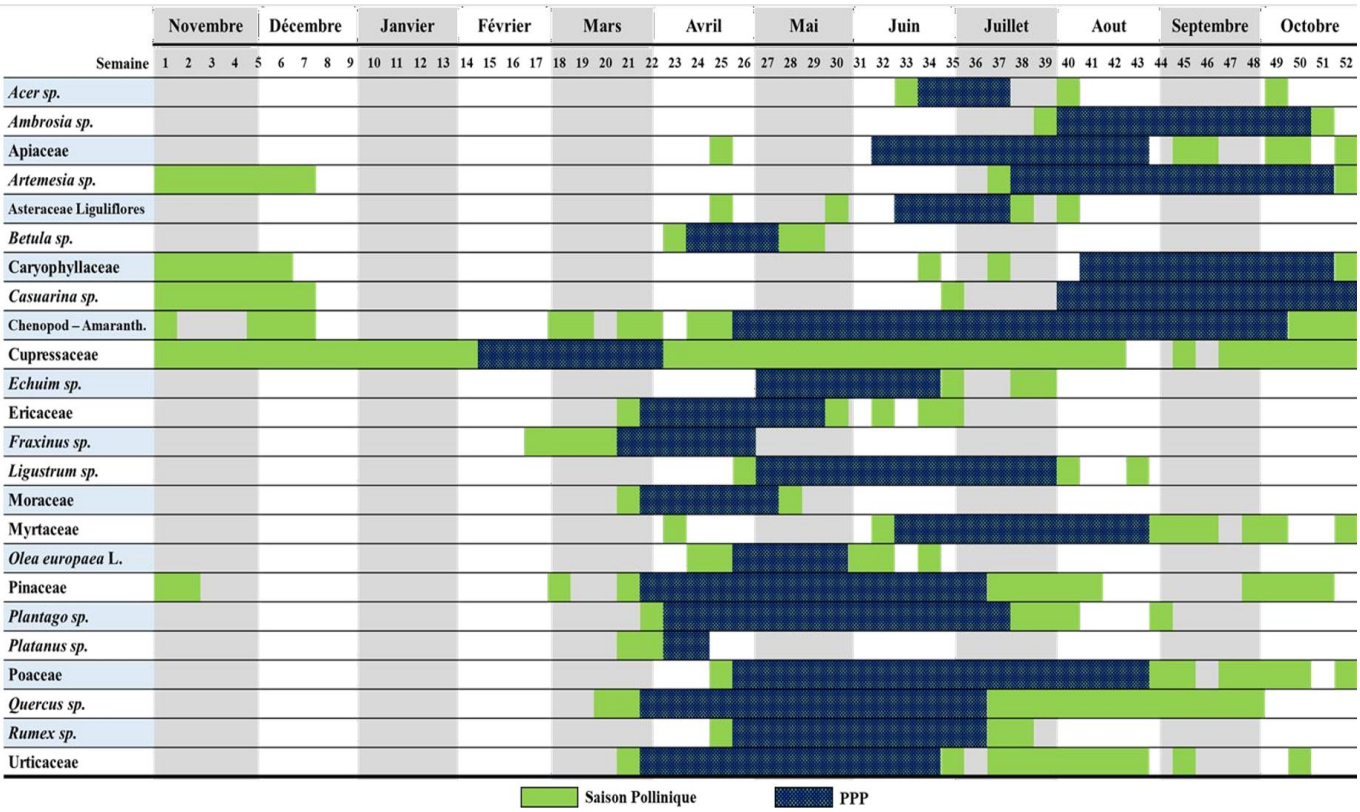


Figure 3. Calendrier Pollinique de la Ville de Batna, Tazoult et Hamla durant la période d'étude 1er novembre 2022 - 31 octobre 2023.

- Une première période hivernale (janvier — mars), dominée par les Cupressaceae, avec des niveaux journaliers pouvant dépasser 2900 grains/m³, exposant les patients sensibilisés à un risque majeur de rhinoconjonctivite et d'exacerbation asthmatique ;
- une deuxième période printanière (mars — juin), où interviennent simultanément *Quercus* sp., *Olea europaea* L., *Fraxinus* sp., *Plantago* sp. et Urticaceae, en superposition sur la décroissance des Cupressaceae et l'ascension des Poaceae, formant une fenêtre de risque maximal pour les patients polysensibilisés et justifiant une surveillance clinique rapprochée et une optimisation des traitements ;
- Une troisième période tardive (août — novembre), dominée par Chenopodiaceae–Amaranthaceae, *Casuarina* sp. et *Artemisia* sp., épaulés par d'autres taxons rudéraux, qui entretiennent une exposition allergénique résiduelle en fin d'été et en automne, souvent sous-estimée mais pertinente pour certains patients.

4. DISCUSSION

La région de Batna, incluant Tazoult et Hamla, présente un spectre pollinique particulièrement riche et structuré, dont la dynamique annuelle et l'intensité se comparent avantageusement aux principales villes du Maghreb, d'Europe méditerranéenne et de certaines régions d'Afrique et du Moyen-Orient, tout en révélant des traits originaux liés au contexte semi-aride et à l'empreinte urbaine locale.

Le spectre pollinique global et sa structure

Cette étude constitue la première analyse détaillée des variations temporelles du pollen atmosphérique pour la ville de Batna et ses environs, réalisée au moyen d'un capteur volumétrique de type Hirst et couvrant une année pollinique complète. Comme dans de nombreuses régions méditerranéennes, du pollen est détecté dans l'atmosphère tout au long de l'année, mais avec des variations marquées de concentration et de composition selon les saisons. Au total, 34 types polliniques appartenant à 28 familles ont été recensés, avec une nette prédominance des arbres et des arbustes (85,40 % de l'IPA), suivis des plantes herbacées (12,70 %) et des Poaceae (1,60 %). Cette structure reflète directement l'abondance locale des espèces anémophiles et la forte empreinte de la végétation urbaine et périurbaine [22]. Les paysages urbains (arbres d'alignement, jardins, parcs) et périurbains (formations naturelles à *Quercus* sp., Pinaceae, cultures) contribuent conjointement à ce profil, avec une place importante accordée aux essences ornementales à fort potentiel allergénique : Cupressaceae, Oleaceae, *Casuarina* sp., *Morus* sp., Myrtaceae, les palmiers (*Phoenix dactylifera* L.) et le platane [23–25]. Le choix des espèces pour les aménagements paysagers, ainsi que la sélection sexuée dans le cas des espèces dioïques, jouent un rôle déterminant dans l'incidence locale des affections allergiques [26,27].

L'utilisation intensive des Cupressaceae dans les espaces verts explique en grande partie leurs concentrations très élevées dans l'air ambiant, phénomène observé dans d'autres villes méditerranéennes, mais atteignant à Batna un niveau d'intensité remarquable. Du côté herbacé, les types dominants (Chenopodiaceae–Amaranthaceae, *Plantago* sp., Urticaceae) représentent des mauvaises herbes typiques des milieux rudéraux et des climats semi-arides, fréquemment signalées comme abondantes dans la région méditerranéenne [28]. Les pollens minoritaires, de présence sporadique, n'ont pas été intégrés au calendrier en raison de leur faible contribution annuelle, souvent liée à une faible densité de plantes, à une pollinisation entomophile ou à la masse et à la taille importantes des grains qui limitent leur dispersion aérienne. Dans ce contexte semi-aride, certains taxons (notamment les Cupressaceae) apparaissent dans l'atmosphère avant le 1er janvier ; conformément aux recommandations pour ces régions [29], l'année pollinique a donc été définie du 1er novembre 2022 au 31 octobre 2023, le début de la saison étant gouverné par l'apparition précoce du pollen de Cupressaceae.

L'indice pollinique annuel et les comparaisons régionales

L'IPA total enregistré est de 31 853 grains/an, avec une nette prédominance des arbres à feuilles persistantes. Quatre types polliniques dominent l'atmosphère de Batna et cumulent 83,23 % de la charge annuelle : Cupressaceae (66,28 %), *Quercus* sp. (9,77 %), Chenopodiaceae–Amaranthaceae (3,80 %) et *Olea europaea* L. (3,38 %). Les deux premiers taxons représentent à eux seuls près des trois quarts de l'IPA, configuration qui rappelle les profils de nombreuses villes méditerranéennes où Cupressaceae et *Quercus* occupent également une place centrale [30], mais avec une intensité particulièrement marquée à Batna. Comparativement à d'autres villes, l'IPA de Batna est supérieur à ceux enregistrés sur deux sites d'Alger : 14 832 grains en 2002 à Alger-Centre et 23 683 grains en 2004 à Alger-Plateau, malgré un inventaire plus riche (54 taxons) à Alger, dominé par Cupressaceae, *Olea europaea* L., Urticaceae et Poaceae [10]. Batna se situe en revanche à un niveau inférieur à celui observé à Tétouan (Nord-Ouest du Maroc), où 62 848 grains ont été récoltés en 2009 [31], et à la moyenne de 42 557 grains rapportée pour le réseau portugais d'aérobiologie (2002-2017) [21]. Dans plusieurs villes espagnoles, les charges annuelles dépassent également celle de Batna : Tolède (56 000 grains en 2007) [32], Guadalajara (44 650 grains en 2011, 36 types) [33], Nerja (62 053 grains en 2001)[34], Chirivel en zone aride ibérique (52 428 grains et 44 types) [30]. À Guadalajara, les Cupressaceae (32,2 %), *Quercus* (15,1 %), *Platanus* (13,2 %) et l'olivier (8,3 %) dominent le spectre [33], configuration très proche de Batna pour les deux premiers taxons (Cupressaceae et *Quercus*), mais avec un poids relatif moindre des Cupressaceae. À Nerja, ce sont *Pinus, Olea europaea* L., Urticaceae, Cupressaceae, *Quercus* et Poaceae qui composent l'essentiel du flux [34], ce qui diffère de la hiérarchie observée à Batna où les Poaceae restent très secondaires.

En Italie, Cagliari (Sardaigne) enregistre 23 087 grains sur 1999-2000, un niveau inférieur à celui de Batna, avec toutefois la même famille dominante (Cupressaceae) [35], alors qu'à Trentin (nord de l'Italie), ce sont les Urticaceae qui occupent la première place (35,1 %), marquant une divergence nette avec Batna où ce rôle est assumé par les Cupressaceae [36]. Les données d'Istanbul montrent deux profils contrastés : 27 634 grains dans la partie asiatique (valeur inférieure à Batna) et 36 381 dans la partie européenne (valeur supérieure), la famille des Cupressaceae étant le taxon le plus abondant dans les deux cas, en accord avec les résultats de Batna [37]. À Split (Croatie dalmate), la charge annuelle atteint 65 897 grains, dominée par des concentrations extrêmement élevées de Cupressaceae (33 496 grains, plus de 50 %), ce qui rapproche nettement cette ville du profil cupressacé de Batna [38]. En hémisphère sud et plus précisément en Afrique du sud, des IPA nettement plus faibles sont rapportés : Johannesburg (19 868 grains/an, cyprès au

4e rang), Cape Town (14 337 grains/an, cyprès taxon principal), Bloemfontein (22 038 grains/an, Graminées en tête) [39]. Au-delà des comparaisons inter-méditerranéennes et des contextes de l'hémisphère Sud, dans un contexte climatique encore plus contrasté, par exemple au Qatar, les IPA restent très bas : 1 011 grains/an à Doha et 1 603 à Al-Khor, dominés à 73,5 % par les Amaranthaceae [40], alors que ce groupe n'occupe que le 4e rang à Batna. Ces comparaisons soulignent que l'IPA de Batna, bien que inférieur à certaines stations méditerranéennes très productives (Tétouan, Nerja, Chirivel, Split), se situe au-dessus de nombreuses villes nord-africaines, européennes et africaines, tout en présentant une hyperdomination remarquable des Cupressaceae.

La distribution mensuelle et comparaisons temporelles

Sur le plan temporel, la distribution mensuelle du pollen à Batna est fortement concentrée : 28 161 grains, soit 88,41 % de l'IPA, sont enregistrés entre février et juin. Ce résultat est très proche de celui retrouvé à Tétouan, où 89 % de la charge annuelle est également collectée sur cette même période [31]. Le mois de mars représente à lui seul 52,28 % de l'IPA à Batna, essentiellement sous l'effet des Cupressaceae qui contribuent à 95 % de l'indice mensuel, ce qui en fait un mois critique pour les sujets allergiques. À Tétouan, les concentrations maximales mensuelles sont également observées en mars, mais avec un pourcentage plus modéré (26,38 % du total annuel) [31], ce qui met en évidence le caractère exceptionnellement concentré du mois de mars à Batna. Dans d'autres régions méditerranéennes, les périodes de plus forte activité pollinique montrent des décalages de un à deux mois. Au Portugal, la majorité du pollen est détectée de mars à juillet à Funchal (Madère), à Ponta Delgada (Açores) et à Porto, avec des pics mensuels en avril à Porto et à Lisbonne, et en mai à Coimbra, à Évora, à Portimão et à Funchal [41]. À Tolède, 70 à 90 % de l'IPA est collecté entre février et mai, le mois de maximum variant selon les années (mars en 2003, avril en 2004, mai de 2005 à 2007)[32].

À Guadalajara, les concentrations les plus élevées sont également enregistrées de février à juin, période identique à celle de Batna, mais le mois de maximum varie d'une année à l'autre, avec une concordance sur mars pour certaines années (2009 et 2012) [33]. À Palma de Majorque, la période février — juin concentre 88,74 % de la charge annuelle, avec 26,94 % du total en mars [42], valeur proche de Tétouan mais nettement inférieure à celle observée à Batna. À Nerja, les plus fortes concentrations sont relevées de février à mai (80–85 % de l'IPA), avec des pics principaux en février et en mai [34], montrant un schéma moins focalisé sur un seul mois. Dans les parties européenne et asiatique d'Istanbul, la période active est plus courte, de mars à mai, avec respectivement 69,44 % et 77,43 % de l'IPA sur ces trois mois et un maximum en avril dans les deux secteurs [37]. En Afrique du Sud, l'inversion saisonnière modifie complètement le schéma : au Cap, les niveaux de pollen de cyprès et de Pinaceae augmentent progressivement au printemps et au début de l'été (août--novembre) jusqu'à atteindre des valeurs élevées [39]. Au Qatar, le régime désertique induit une saisonnalité dominée par les plantes herbacées, avec une période de maximum d'août à octobre (71 % et 51 % de l'IPA à Al-Khor et Doha respectivement), et un pic en septembre (33 % à Al-Khor ; 26 % à Doha)[40]. Ces comparaisons montrent que, si la fenêtre principale de pollinisation comprise entre février — juin est partagée avec plusieurs villes méditerranéennes (Tétouan, Guadalajara, Palma, Tolède), la concentration exceptionnellement élevée du flux pollinique au mois de mars à Batna, essentiellement imputable aux Cupressaceae, constitue un trait distinctif majeur. Cette configuration singulière conditionne directement les stratégies cliniques, préventives et de santé publique à mettre en œuvre à l'échelle régionale.

Intérêt clinique, valorisation et perspectives

Le calendrier pollinique établi, fondé sur 24 types choisis sur un seuil d'abondance et dont 58 % sont reconnus allergisants, constitue un outil opérationnel de premier plan pour la pratique clinique. Il permet de relier la chronologie des symptômes aux périodes de pollinisation des Cupressaceae, du *Quercus* sp., d'Olea*europaea* L., des Poaceae, des Urticaceae et des Chenopodiaceae–Amaranthaceae, facilitant l'interprétation des tests cutanés et des dosages d'IgE spécifiques, ainsi que la planification des traitements saisonniers et de l'immunothérapie. Pour la santé publique, ce calendrier offre un socle scientifique solide pour développer des bulletins allergo-polliniques régionaux, des systèmes d'alerte et des recommandations d'éviction adaptées aux périodes de risque [43]. Au-delà de la production de données aéropalynologiques, ce travail a permis la mise en place de la plateforme Batna-Pollen (*https://batna-pollen.com*), première interface régionale dédiée à la diffusion de bulletins allergo-polliniques hebdomadaires en Algérie. Ce site présente, sous une forme synthétique, les niveaux de pollens mesurés pour les principaux taxons allergisants, accompagnés d'une estimation du risque clinique et de recommandations pratiques d'éviction pour les patients sensibilisés. Il intègre également des fiches descriptives sur les espèces végétales en cause (morphologie, période de floraison, potentiel allergisant) et une description transparente de la méthodologie de mesure. En rendant ces informations accessibles en continu aux cliniciens, aux autorités sanitaires et au grand public, la plateforme Batna-Pollen traduit les résultats de la surveillance aéropalynologique en un outil opérationnel d'aide à la décision, aligné sur les pratiques des réseaux européens établis.

Limites de l'étude

Deux limites principales doivent toutefois être prises en compte : la présence d'une seule station, qui ne permet pas de saisir les micro-variations intra-urbaines ou les gradients centre-ville/périphérie, et l'analyse d'une seule année pollinique, alors que la

variabilité interannuelle des flux polliniques est bien documentée. Ces limites ouvrent des perspectives claires : prolonger la surveillance sur plusieurs années afin d'établir des moyennes de référence et des intervalles de variabilité, implanter des stations complémentaires en périphérie urbaine et en zone rurale, et intégrer les données aéropalynologiques à des modèles prédictifs locaux combinant couverture végétale, phénologie et paramètres environnementaux. Un tel renforcement du dispositif consoliderait encore la capacité de la région à anticiper les pics polliniques et à optimiser les stratégies de prévention ciblées pour les populations sensibles.

5. CONCLUSION

Ce travail apporte une contribution originale en décrivant pour la première fois, avec une méthodologie volumétrique standardisée, l'organisation spatio-temporelle du pollen atmosphérique dans une zone méditerranéenne semi-aride de l'Est algérien jusque-là non documentée. Il fournit un référentiel aéropalynologique robuste pour Batna, Tazoult et Hamla, directement comparable aux grandes séries européennes et maghrébines, et comble une lacune importante dans la cartographie régionale des bioaérosols allergéniques. L'élaboration d'un calendrier pollinique régional, centré sur les taxons les plus pertinents cliniquement, transforme ces données environnementales en outil opérationnel pour les allergologues, pneumologues et médecins généralistes, en facilitant le lien entre dynamique pollinique et prise en charge des pollinoses. La mise en place d'une plateforme numérique dédiée à la diffusion de bulletins allergo-polliniques positionne ce travail au-delà de la simple observation, en l'inscrivant dans une démarche de santé publique et de prévention active. Par son ancrage dans un contexte semi-aride marqué à la fois par des conifères urbains et des taxons steppiques, ce dispositif apporte un modèle original pour comprendre l'impact combiné des choix d'aménagement, de la flore locale et du climat sur l'exposition pollinique, et ouvre la voie à des comparaisons fines avec d'autres villes du Maghreb et du pourtour méditerranéen.

Competing interests: The authors declare that they have no competing interest.

Funding: This research received no external funding.

REFERENCES

1. Galán C, Cariños P, Alcázar P, Domínguez E, Aira M, Alba MJ, et al. Spanish Aerobiology Network (REA) management and quality manual. Córdoba: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba; 2007. 184 p.
2. Bostock J. Case of a periodical affection of the eyes and chest. Med Chir Trans. 1819;10(Pt 1):161-5.
3. Blackley CH, Cohen SG. Experimental researches on the causes and nature of catarrhus aestivus (hay-fever or hay-asthma). Abingdon: Oxford Historical Books; 1988.
4. González Minero FJ, Candau Fernández-Mensaque P, Tomás C, Morales J. Patrones de distribución de concentraciones polínicas de varios tipos de polen alergógenos (herbáceas) en relación con factores climatológicos. Rev Esp Alergol Inmunol Clin. 1997;12(6):357-62.
5. Burge HA. An update on pollen and fungal spore aerobiology. J Allergy Clin Immunol. 2002 Oct;110(4):544-52. doi:10.1067/mai.2002.128991
6. Hirst JM. An automatic volumetric spore trap. Ann Appl Biol. 1952;39(2):257-65. doi:10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x
7. Buters JTM, Antunes C, Galveias A, Bergmann KC, Thibaudon M, Galán C, et al. Pollen and spore monitoring in the world. Clin Transl Allergy. 2018;8:9. doi:10.1186/s13601-018-0193-8
8. Ajikah L, Neumann FH, Berman D, Peter J. Aerobiology in South Africa: a new hope. S Afr J Sci. 2020 Jul 29;116(7-8). available from: https://sajs.co.za/article/view/8112
9. Ghernaout M, Bencharif N, Abdelaziz R, Douagui H. Calendrier pollinique de la ville d'Alger. Rev Mal Respir. 2009;26:154-60.
10. Gharnaout M. Corrélation entre comptes polliniques et symptomatologie respiratoire allergique au niveau de la ville d'Alger [PhD thesis]. Alger: Faculté de médecine d'Alger; 2007. available from: https://www.ccdz.cerist.dz/admin/notice.php?id=00000000000000214881000000
11. Dahmani M. Présentation géographique et historique de la ville antique de Tazoult (Lambese). Rev Etud Archeol. 2011 Dec 10;9(1):57-62.
12. Bensouci S, Smira O. Régime thermique dans quelques stations de l'Est algérien: cas de Batna et Béjaïa (1998–2021) [Master's thesis]. Constantine: Université Frères Mentouri Constantine 1; 2021.
13. Galán C, Smith M, Thibaudon M, Frenguelli G, Oteros J, Gehrig R, et al. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis. Aerobiologia. 2014 Dec;30(4):385-95. doi:10.1007/s10453-014-9335-5
14. Haberle SG, Bowman DMJS, Newnham RM, Johnston FH, Beggs PJ, Buters J, et al. The macroecology of airborne pollen in Australian and New Zealand urban areas. PLoS One. 2014;9(5):e97925. doi:10.1371/journal.pone.0097925
15. Charpin J, Surinyach RO, Frankland AW, Sandoz L. Atlas of European allergenic pollens. Paris: Éditions Groupe Orange; 229 p.
16. Smith EG. Sampling and identifying allergenic pollens and molds: an illustrated identification manual for air samplers. 1st ed. San Antonio (TX): Blewstone Press; 2000. 196 p.
17. Reille M. Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord. Aix-Marseille: Université Aix-Marseille III, Labo de Botanique Historique et Palynologie; 1992. 558 p.

18. Trigo MM, Rodríguez MVJ, González MDF, Galán C. Atlas aeropalinológico de España. Córdoba: Servicio de Publicaciones; 2008. available from: https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=714919
19. Laine C, Sulmont D, Dupuy N, Lachasse C, Thibaudon M. RNSA: le contenu pollinique de l'air – clé d'identification [CD-ROM]. Saint-Étienne (France): Studio Bouquet.
20. Nilsson S, Persson S. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden), 1973–1980. Grana. 1981;20(3):179-82. doi:10.1080/00173138109427645
21. Camacho I, Caeiro E, Nunes C, Morais-Almeida M. Airborne pollen calendar of Portugal: a 15-year survey (2002–2017). Allergol Immunopathol (Madr). 2020;48(2):194-201. doi:10.1016/j.aller.2019.06.006
22. Manzano JMM, Molina RT, Rodríguez SF, Palacios IS, Garijo ÁG. Distribution of ornamental urban trees and their influence on airborne pollen in the SW of Iberian Peninsula. Landsc Urban Plan. 2017;157:434-46. doi:10.1016/j.landurbplan.2016.08.010
23. Kwaasi AA, Parhar RS, Harfi H, Tipirneni P, Al-Sedairy ST. Characterization of antigens and allergens of date palm (Phoenix dactylifera) pollen. Allergy. 1992 Oct;47(5):535-44. doi:10.1111/j.1398-9995.1992.tb00685.x
24. Alcázar P, García-Mozo H, Trigo MDM, Ruiz L, González-Minero FJ, Hidalgo P, et al. Platanus pollen season in Andalusia (southern Spain): trends and modeling. J Environ Monit. 2011 Sep;13(9):2502-10. doi:10.1039/c1em10201a
25. Lu S, Ren J, Hao X, Liu D, Zhang R, Wu M, et al. Characterization of protein expression of *Platanus* pollen following exposure to gaseous pollutants and vehicle exhaust particles. Aerobiologia. 2014;30(3):281-91. doi:10.1007/s10453-014-9322-x
26. Cariñanos P, Casares-Porcel M. Urban green zones and related pollen allergy: a review. Landsc Urban Plan. 2011;101(3):205-14. doi:10.1016/j.landurbplan.2011.02.006
27. Cariñanos P, Casares-Porcel M, Quesada-Rubio JM. Estimating the allergenic potential of urban green spaces. Landsc Urban Plan. 2014;123:134-44. doi:10.1016/j.landurbplan.2013.12.009
28. Galán C, Alcázar P, Oteros J, García-Mozo H, Aira MJ, Belmonte J, et al. Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula. Sci Total Environ. 2016;550:53-9. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.069
29. Lo F, Bitz CM, Battisti DS, Hess JJ. Pollen calendars and maps of allergenic pollen in North America. Aerobiologia. 2019 Dec;35(4):613-33. doi:10.1007/s10453-019-09575-3
30. Cariñanos P, Galán C, Alcázar P, Domínguez E. Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of the Iberian Peninsula. Environ Exp Bot. 2004;52(1):11-22. doi:10.1016/j.envexpbot.2003.10.003
31. El Hassani L, Boullayali A, Janati A, Achmakh L, Bouziane H. Aerobiological study of airborne pollen in Tétouan (NW Morocco). Aerobiologia. 2022;38:1-17. doi:10.1007/s10453-022-09763-1
32. Perez-Badia R, Rapp A, Morales C, Sardinero S, Galán C, García-Mozo H. Pollen spectrum and risk of pollen allergy in central Spain. Ann Agric Environ Med. 2010;17(1):139-51.
33. Rojo J, Rapp A, Lara B, Sabariego S, Fernández-González F, Pérez-Badia R. Characterisation of the airborne pollen spectrum in Guadalajara (central Spain). Environ Monit Assess. 2016 Mar;188(3):130. doi:10.1007/s10661-016-5132-4
34. Docampo S, Recio M, Trigo MM, Melgar M, Cabezudo B. Risk of pollen allergy in Nerja (southern Spain). Aerobiologia. 2007 Sep;23(3):189-99. doi:10.1007/s10453-007-9066-7
35. Ballero M, Maxia A. Pollen spectrum variations in the atmosphere of Cagliari, Italy. Aerobiologia. 2003 Sep;19(3):251-9. doi:10.1023/B:AERO.0000006526.97711.2f
36. Cristofori A, Cristofolini F, Gottardini E. Twenty years of aerobiological monitoring in Trentino (Italy). Aerobiologia. 2010;26(3):253-61. doi:10.1007/s10453-010-9164-1
37. Celenk S, Bicakci A, Tamay Z, Guler N, Altunoglu MK, Canitez Y, et al. Airborne pollen in European and Asian parts of Istanbul. Environ Monit Assess. 2010;164(1-4):391-402. doi:10.1007/s10661-009-0901-8
38. Puljak T, Mamić M, Mitić B, Hrga I, Hruševar D. First aerobiological study in Dalmatia (Croatia). Aerobiologia. 2016 Dec;32(4):709-23. doi:10.1007/s10453-016-9445-7
39. Esterhuizen N, Berman DM, Neumann FH, Ajikah L, Quick LJ, Hilmer E, et al. The South African Pollen Monitoring Network. Clin Transl Allergy. 2023 Nov;13(11):e12304. doi:10.1002/clt2.12304
40. Al-Nesf MA, Gharbi D, Mobayed HM, Mohammed Ali R, Tuffaha A, Dason BR, et al. Aerobiological monitoring in a desert ecosystem in Qatar. PLoS One. 2022 Jul 13;17(7):e0270975. doi:10.1371/journal.pone.0270975
41. Camacho IC, Caeiro E, Ferro R, Camacho R, Câmara R, Grinn-Gofroń A, et al. Spatial and temporal variations in the annual pollen index in Portugal. Aerobiologia. 2017 Jun;33(2):265-79. doi:10.1007/s10453-017-9464-7
42. Boi M, Llorens L. Annual pollen spectrum in Palma de Mallorca. Aerobiologia. 2013 Sep;29(3):385-97. doi:10.1007/s10453-013-9283-1
43. Thibaudon M, Caillaud D, Besancenot JP. Méthodes d'étude des pollens atmosphériques et calendriers polliniques. Rev Mal Respir. 2013 Jun;30(6):463-79. doi:10.1016/j.rmr.2013.01.009