

**Pollen dans l'air du Plateau suisse.  
Paramètres climatiques et  
nouveaux risques pour les allergies.**

**Thèse**

présentée à la Faculté des Sciences  
Institut de Biologie  
Université de Neuchâtel, Suisse

pour l'obtention du grade de Docteur ès sciences

par  
Bernard Clot

Acceptée sur proposition du jury :

Prof. Philippe Küpfer, directeur de thèse  
Prof. Michel Brossard, rapporteur  
Prof. Paul Comtois, rapporteur  
Dr. Claudio Defila, rapporteur  
Prof. Carmen Galan, rapporteur  
Dr. Michel Thibaudon, rapporteur

Soutenue le 6 Juillet 2007

Université de Neuchâtel  
2007

## IMPRIMATUR POUR LA THESE

# Pollen dans l'air du Plateau Suisse. Paramètres climatiques et nouveaux risques pour les allergies

## Bernard CLOT

UNIVERSITE DE NEUCHATEL

FACULTE DES SCIENCES

La Faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel,  
sur le rapport des membres du jury

Mme C. Galan (Cordoue E),  
MM. P. Küpfer (directeur de thèse), M. Brossard, C. Defila (Zürich),  
P. Comtois (Montréal), M. M. Thibaudon (St-Denis-d'Argentièrre F)

autorise l'impression de la présente thèse.

Neuchâtel, le 16 octobre 2007

Le doyen :  
T.Ward

UNIVERSITE DE NEUCHATEL  
FACULTE DES SCIENCES  
Secrétariat-Décanat de la faculté  
Rue Emile-Argand 11 - CP 158  
CH-2009 Neuchâtel

Le vent souffle où il veut et tu entends sa voix, mais tu ne sais ni d'où il vient, ni où il va.  
Jean 3 : 8.

A Isabelle,  
Amélie, Bastien, Quentin, Benjamin et Samuel.

## Remerciements

Il n'est pas très facile de trouver les mots justes pour rédiger une thèse, mais il est encore plus délicat de formuler les remerciements qui tentent d'exprimer notre reconnaissance. Sachez que ceux qui suivent viennent du cœur.

Mes premiers remerciements vont naturellement à ma famille. A mon épouse, qui a en particulier assumé de nombreuses tâches pour que je puisse avancer dans mon projet. Tu es mon vis-à-vis et mon complément. Ton soutien, ta présence me sont indispensables.

A mes enfants, qui ont supporté d'avoir un père souvent absent ou enfermé dans son bureau sans lui faire de reproches. Au contraire, vous m'avez encouragé et soutenu. Vous faites ma joie et vous êtes ma fierté.

Je dois beaucoup à mes parents, qui depuis tout petit m'ont appris à regarder autour de moi. A la montagne ou près de la maison, vous avez stimulé mon intérêt et mon amour pour la nature, merci.

Philippe Küpfer, professeur, directeur de thèse et ami. Merci pour ta confiance, tes encouragements, tes conseils avisés. Merci pour l'aide que tu m'as apportée à divers moments de mes études, puis de ma carrière, pour la liberté que tu m'as laissée dans mes choix de recherche. C'est toi qui as proposé au jeune étudiant avec charge de famille que j'étais il y a vingt ans d'arrondir les fins de mois en réalisant des analyses de pollen : ni toi ni moi n'imaginions où cela me mènerait... Tu es un exemple par tes vastes connaissances, ta passion pour la découverte, ta rigueur scientifique. Merci pour ton enthousiasme communicatif, ton engagement envers les étudiants, ton respect pour les personnes, ton dévouement pour ton équipe. Nous fait un bout de chemin ensemble, puisque je suis arrivé à l'université l'année après ta nomination, et que cette thèse s'achève l'année de ta retraite. Que de bons souvenirs !

Au cours de ces années, j'ai eu la chance de collaborer avec de nombreuses personnes. Je citerai seulement May Udriet, Françoise Vuillemin-Bourquin et Christine Sallin, qui m'ont secondé pendant respectivement quinze, neuf et six ans. J'ai toujours pu compter sur votre appui et votre amitié et je vous en suis très reconnaissant. Que les autres sachent cependant qu'ils et elles ne sont pas oubliés.

De nombreux scientifiques suisses et étrangers m'ont fait bénéficier de leur savoir et de leur amitié. J'ai pu progresser en confrontant mes idées aux vôtres, nous avons préparé de nombreux projets et travaillé ensemble pour les réaliser. Je vous dois également beaucoup.

Cinq de ces collègues ont pris la peine de lire ma thèse, de la commenter et de la juger : Carmen Galan, Michel Brossard, Paul Comtois, Claudio Defila et Michel Thibaudon méritent toute ma gratitude pour leurs commentaires pertinents et leurs encouragements.

Des remerciements tout particuliers sont adressés aux co-auteurs des publications qui ont fait la trame de cette thèse. Elle vous appartient un peu. J'espère que nous aurons l'occasion d'écrire encore ensemble.

En 1993, le réseau de mesure du pollen était intégré à MétéoSuisse. Merci à Claudio Defila, chef du groupe de biométéorologie, pour son soutien et sa confiance au cours de ces années.

Depuis plus de dix ans, Regula Gehrig et moi nous complétons au sein du réseau national de mesure du pollen. Merci pour cette collaboration fructueuse et amicale.

Beaucoup de personnes m'ont aidé ou soutenu d'une manière ou d'une autre, par leurs services, leurs conseils ou simplement leur amitié. Collaborateurs de l'Université, de MétéoSuisse, membres de diverses sociétés, collègues, amis... à toutes et tous, merci.

Et par-dessus tout, merci à Dieu pour la Vie.

<b>Table des matières</b>	<b>Page</b>
Mots clés / Résumé	6
Avant-propos ; objectifs	8
<b>1. Introduction</b>	
1.1. Pollen et anémogamie	11
1.2. Distribution des plantes	13
1.3. Phénologie	14
1.4. Pollinoses	16
1.5. Aérobiologie; aéropalynologie	17
1.6. Histoire de l'aéropalynologie en Suisse	26
<b>2. La mesure du pollen de l'air</b>	
2.1. Mesures et données	33
2.2. Réseau de mesures	37
<b>3. Prévision saisonnière</b>	
3.1. Saison pollinique et prévision : introduction	40
3.2. Prévision de la saison du pollen des graminées	42
Cf. chapitre 7.1.	
3.3. Prévision de la saison du pollen de bouleau	46
Cf. chapitre 7.2.	
<b>4. Conséquences du changement climatique</b>	
4.1. Changement climatique	49
4.2. Influence du changement climatique sur la phénologie	52
Cf. chapitre 7.3.	
4.3. Tendances aéropalynologiques	54
Cf. chapitre 7.4.	
<b>5. Nouveaux risques d'allergies</b>	
5.1. Nouvelles sensibilisations à des pollens locaux	62
Cf. chapitre 7.5.	
5.2. Extension d'aires de répartition, introduction de nouvelles espèces	65
5.3. L'ambroisie menace la Suisse	67
<b>6. Conclusions et perspectives</b>	
6.1. Conclusions	80
6.2. Perspectives	82
<b>7. Publications en anglais</b>	
7.1. Clot B. Forecast of the Poaceae pollination in Zurich and Basle (Switzerland). Aerobiologia 14: 267-268 (1998).	86
7.2. Clot B. Airborne birch pollen in Neuchâtel (Switzerland): onset, peak and daily patterns. Aerobiologia 17: 25-29 (2001).	86
7.3. Defila C, Clot B. Phytophenological trends in Switzerland. Int. J. Biometeorol. 45: 203-207 (2001).	86
7.4. Clot B. Trends in airborne pollen : an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). Aerobiologia 19: 227-234 (2003).	87
7.5. Gumowski P, Clot B, Davet A, Saad S, Hassler H, Dunoyer-Geindre S. The importance of hornbeam (Carpinus sp.) pollen hypersensitivity in spring allergies. Aerobiologia 16: 83-86 (2000).	88
<b>8. Références bibliographiques</b>	90

## Mots clés / Keywords

Aérobiologie, pollen, prévision, phénologie, temps, climat, changement climatique, allergie, ambrosie.

Aerobiology, pollen, forecast, phenology, weather, climate, climate change, allergy, ragweed.

## Résumé

L'augmentation spectaculaire de la prévalence des allergies au pollen dans les dernières décennies a stimulé le développement des réseaux de mesures aérobiologiques et les recherches concernant le pollen de l'air. Le but de ce travail consistait à mieux circonscrire les paramètres climatiques et météorologiques qui influencent la saison pollinique, dans une perspective prédictive, à évaluer l'influence du changement climatique sur la saison pollinique et à déterminer quels pollens pourraient exposer la population à de nouveaux risques dans le domaine des allergies.

Les données aéropalynologiques, phénologiques et météorologiques proviennent des réseaux de MétéoSuisse et sont obtenues par des méthodes standardisées.

Une méthode de prévision de la saison pollinique a été proposée pour chacun des deux taxons les plus allergisants dans notre pays, les graminées et le bouleau. La maturité des fleurs est modélisée par un cumul de températures et donc prévisible à moyen terme. La libération effective du pollen dépend des conditions météorologiques à court terme, température, précipitations, et est à considérer comme un phénomène « intra saison ». La formule de prévision proposée reste valable dans le temps, mais n'est pas facilement transposable à d'autres stations.

L'influence du changement climatique sur la saison pollinique et l'intérêt de l'aéropalynologie et de la phénologie comme indicateurs de la réaction de la végétation au changement climatique ont été mis en évidence. Les hivers plus doux ont eu pour conséquence un développement de la végétation précoce au printemps, une avance moins marquée des phases estivales et automnales et un allongement de la saison de végétation dans son ensemble. Les tendances aéropalynologiques ont été étudiées pour un grand nombre de taxons, offrant ainsi une vision d'ensemble sur toute la saison pollinique. L'avance du début de la saison est particulièrement remarquable, alors que l'augmentation des quantités de pollen, bien réelle pour certains taxons, est lente. Selon toute vraisemblance, elle n'est pas une cause directe de l'augmentation rapide des allergies. Pour les personnes allergiques, la période de risque s'allonge et les seuils risquent d'être dépassés plus fréquemment à l'avenir.

L'intérêt de porter attention à des taxons autres que ceux considérés comme des allergènes majeurs a été souligné. En particulier, l'importance quantitative et qualitative du pollen de charme a été démontrée. Quelque 60 pour cent du groupe de patients allergiques au printemps étudié sont sensibles à la fois aux pollens de charme et de bouleau. Le pollen de charme augmente en moyenne de 17 pour cent leur exposition à ces pollens. Dans ce même groupe, 12,5 pour cent des personnes sont allergiques au pollen de charme seulement. Certaines années, elles sont exposées à des concentrations très élevées de ce pollen. En raison du développement important des allergies, il est fort possible, comme cela a été observé par le passé, que du pollen de taxons indigènes joue un rôle plus important comme nouvelle cause d'allergies. De plus, que ce soit par l'introduction de variétés ornementales, la migration naturelle d'espèces ou l'installation d'une plante envahissante, l'arrivée de nouveaux allergènes dans l'air de notre région est relativement fréquente et vraisemblablement amenée à se poursuivre. La reconnaissance précoce des situations à risque particulier pour la santé humaine, comme les taxons dont l'allergénicité est connue ailleurs, est importante pour permettre de mener à bien des actions de prévention à un moindre coût.

L'aéropalynologie s'est avérée très performante dans le contrôle de l'environnement et la prévention, puisqu'elle a permis la découverte de l'arrivée de l'ambrosie dans la région de Genève. Un contrôle des populations d'ambrosie a ainsi pu être mis en place à un stade précoce de la phase d'envahissement. Le pollen d'ambrosie a été utilisé comme un excellent modèle pour la compréhension des phénomènes de transport à moyenne et longue distance et pour l'évaluation de l'importance relative des sources locales de pollen dans l'exposition de la population genevoise.

Ce travail a confirmé que les relations de cause à effet entre la présence des espèces potentiellement allergisantes et la manifestation des allergies ne sont pas simples à décrire dans un système complexe comme celui-ci, où le nombre de paramètres pouvant influencer positivement ou négativement un mécanisme est très grand.

Les changements qui interviennent dans notre environnement, provoqués directement ou indirectement par les activités humaines, tendent à favoriser la présence et l'augmentation d'allergènes "traditionnels" et celle d'allergènes nouveaux pour nos régions. Une exposition accrue au pollen s'ajoute donc à l'augmentation de la prévalence des pollinoses dans notre pays et conduit à un risque d'allergies plus important. Pourtant, dans la mesure où l'être humain est à l'origine de la plupart de ces situations négatives, et que ses activités les maintiennent et les renforcent, on peut espérer que cette évolution n'ait pas un caractère inéluctable et que la tendance pourra être renversée.

## **Avant-propos ; objectifs**

La micrographie, à l'origine de l'aérobiologie, est née au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle avec les travaux de savants comme Louis Pasteur et Pierre Miquel qui cherchaient des arguments pour combattre la théorie de la génération spontanée. Le terme "aérobiologie" a été introduit en 1937 par Fred C. Meier pour désigner l'étude des particules d'origine biologique en suspension dans l'air. Mais c'est surtout dès les années 1970, en parallèle avec le programme biologique international en aérobiologie (IBP-aerobiology), que cette science a pris son essor : les travaux devinrent plus nombreux, les mesures systématiques, et les premières organisations firent leur apparition.

Depuis Charles Blackley, qui a établi en 1873 que le pollen est la cause du rhume des foins, les médecins qui souhaitent disposer de données pour les confronter avec les manifestations allergiques observées chez leurs patients et juger de l'efficacité des traitements appliqués jouent un rôle moteur dans le développement de l'aéropalynologie, la branche de l'aérobiologie qui étudie plus particulièrement le pollen. Ce n'est cependant qu'au cours des deux dernières décennies du XX<sup>ème</sup> siècle -et surtout au cours des années 1990- que les importants réseaux de mesure du pollen que l'on connaît actuellement en Europe (plus de 400 stations de mesures) furent mis en place. L'augmentation spectaculaire de la prévalence des allergies dans la même période n'y est sans doute pas étrangère.

De nombreuses questions viennent à l'esprit de l'aéropalynologue, pendant les heures passées au microscope, lors de la compilation des données ou dans la préparation des informations qu'il délivre. Elles sont, comme le réseau de mesures, orientées vers les aspects allergologiques de l'aéropalynologie. En voici quelques exemples : comment prévoir le début de la saison pollinique et donc l'apparition des symptômes de la pollinose ? Quelles informations peut-on extraire des données aéropalynologiques afin d'améliorer la connaissance et la prise en charge des maladies allergiques ? Quel sera l'impact du changement climatique sur la présence de pollen dans l'air et, en conséquence, sur les allergies ? De nouveaux pollens allergisants peuvent-ils apparaître en Suisse ? Les réponses à ces questions ont des aspects appliqués importants pour l'exploitation et le développement du réseau national de mesure du pollen en Suisse.

Les travaux présentés dans cette thèse se situent peu après le travail des pionniers qui ont implanté les réseaux de mesures aérobiologiques et formulé bon nombre d'hypothèses. Au tournant du 20<sup>ème</sup> siècle, les séries de mesures sont devenues suffisamment longues pour permettre de préciser l'importance relative des différents paramètres qui modulent la présence de pollen dans l'air et constater que la situation n'est pas stable, mais qu'elle évolue rapidement sous différentes contraintes (modifications de l'environnement, changement climatique) dont les principales seront présentées dans les chapitres qui suivent. Au travers d'un paramètre atmosphérique (la concentration de pollen dans l'air) ce sont aussi les interactions d'un système (aéropalynologique : de la plante productrice de pollen aux effets de celui-ci sur la santé) avec d'autres (par exemple météorologique et climatique, immunitaire) que nous tenterons d'esquisser par l'étude particulière des causes et des impacts de quelques changements importants intervenus au cours des dernières décennies. Changement, le mot est lâché : il est non seulement devenu une composante « permanente » de la société contemporaine, mais est aussi une réalité dans notre environnement et l'un des thèmes principaux de ce travail.

### **Objectifs**

Cette thèse a pour objet central le pollen de l'air. Notre attention s'est portée en priorité sur les facteurs qui déterminent la diversité taxonomique et quantitative des pollens dans les aérosols atmosphériques. Parmi eux, la composition de la végétation et les facteurs climatiques interfèrent de

manière complexe. Le spectre pollinique ayant une influence directe sur la prévalence des allergies au pollen (pollinoses), notre étude devait fournir des éléments pratiques de nature à :

- mieux circonscrire les paramètres climatiques et météorologiques qui influencent la saison pollinique, dans une perspective prédictive,
- évaluer l'influence du changement climatique sur la saison pollinique (dates et intensité), du double point de vue de la végétation productrice et du pollen présent dans l'air,
- déterminer quels pollens, déjà présents dans nos régions ou susceptibles d'y apparaître à l'avenir, pourraient exposer la population à de nouveaux risques dans le domaine des allergies,
- comprendre l'influence des paramètres climatiques et météorologiques sur l'émergence de ces « nouveaux » pollens.

Il apparaît cependant que les relations de cause à effet entre la présence des espèces potentiellement allergisantes et la manifestation des allergies ne sont pas simples à décrire dans un système complexe comme celui-ci, où le nombre de paramètres pouvant influencer positivement ou négativement un mécanisme est très grand.

Ces éléments sont présentés en 8 chapitres :

- le chapitre 1 présente l'état des connaissances en aéropalynologie, et introduit diverses notions utiles
- le chapitre 2 décrit les méthodes de mesures
- le chapitre 3 étudie la prévision du début de la saison des deux types de pollens qui provoquent le plus grand nombre de cas d'allergies dans notre pays
- le chapitre 4 montre l'influence du changement climatique en cours sur la saison pollinique et l'intérêt de l'aéropalynologie et de la phénologie comme indicateurs de la réaction de la végétation au changement climatique
- le chapitre 5 met en évidence la contribution de l'aéropalynologie à l'identification des causes d'allergies et traite des risques de développer de nouvelles allergies en relation avec la présence de pollen dans l'air ; décrit en détails l'analyse de l'influence relative du pollen local par rapport au pollen transporté à distance dans le cas de l'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*)
- le chapitre 6 conclut et présente les perspectives futures en aéropalynologie
- le chapitre 7 contient les publications en anglais
- le chapitre 8 liste les références bibliographiques

Les travaux développés dans cette thèse ont déjà fait l'objet de plusieurs publications, qui sont chaque fois mentionnées en tête de chapitre. Les publications scientifiques en anglais ont été regroupées dans le chapitre 7. Les chapitres qui y font référence présentent en français un résumé des principaux résultats obtenus et les commentent, parfois avec un recul permis par l'expérience acquise depuis leur publication. Des résultats présentés aux chapitres 4 et 5, de nouvelles publications seront soumises prochainement.

## **1. INTRODUCTION**

## 1.1 Pollen et anémogamie

Extrait et modifié de la publication :

Felber F, Clot B. **Dispersion du pollen et des graines, distribution des plantes.** *In*: Felber F, Clot B, Leimgruber A, Spertini F (Eds). *Plantes, pollen, allergies.* Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208pp. (2003).

### Le pollen

Le grain de pollen des Gymnospermes et des Angiospermes est à l'origine une microspore issue de la méiose. La méiospore se développe en gamétophyte mâle et produit les gamètes destinées à assurer la fécondation. Sa fonction est liée à la reproduction sexuée de la plante. D'un point de vue anthropocentrique, le pollen présent dans l'atmosphère est important à deux titres : il est nécessaire à la fécondation de la grande majorité des plantes dont l'être humain tire sa nourriture et il est aussi la cause des maladies environnementales les plus répandues dans les sociétés industrialisées, les allergies au pollen ou pollinoses. Ces deux aspects sont totalement indépendants : l'allergénicité du pollen, dont la plante ne tire aucun avantage, n'interfère pas avec sa fonction de reproduction. Nous nous attacherons ici surtout à la fonction du pollen, la pollinisation.

Le grain de pollen est entouré par une paroi épaisse qui a pour rôle de le protéger contre la dessiccation et le rayonnement ultraviolet. Si le pollen est probablement l'organisme vivant le plus fréquemment fossilisé, il le doit également à la grande résistance de cette paroi à la dégradation. Cela fait de lui une source d'information importante pour la reconstruction des climats et végétations passés (paléoécologie). Ces propriétés sont en grande partie conférées à la paroi par une substance appelée sporopollenine qui imprègne sa partie extérieure (exine). Ce sont encore les caractéristiques et l'ornementation de la paroi qui permettent l'identification du pollen, parfois jusqu'à l'espèce, mais le plus souvent seulement au niveau du genre ou de la famille (par exemple le pollen des poacées). Les principaux caractères distinctifs du grain de pollen sont la forme, la symétrie, la taille (de 10 à 250  $\mu\text{m}$  selon l'espèce), le nombre, la forme et la répartition des ouvertures (pores et sillons), ainsi que la structure et l'ornementation de la surface. Le pollen de la majorité des plantes anémogames a une taille comprise entre 10 et 40  $\mu\text{m}$ . Celui des pinacées est une exception notable (de 60 à 140  $\mu\text{m}$ ), mais sa masse volumique est relativement faible en raison de la présence de ballonnets remplis d'air.

### La pollinisation

Au cours de l'évolution, l'allogamie a conduit à l'apparition de plusieurs types de mécanismes de transport du pollen. La pollinisation est assurée soit par des facteurs abiotiques, surtout le vent (anémogamie), soit par des facteurs biotiques, les animaux (zoogamie). Le pollen peut également être dispersé par l'eau, comme chez le potamogeton, une plante aquatique de nos lacs et rivières. Les animaux jouant le plus souvent le rôle de pollinisateur sont les insectes (entomogamie) ; cependant, d'autres groupes comme les chiroptères (chauves-souris) ou les oiseaux (colibris) remplissent cette fonction pour certaines espèces de plantes. De nombreuses plantes présentent un mode de pollinisation mixte.

Un effort important est consenti par les plantes anémogames pour produire de très grandes quantités de pollen. En effet, les pertes engendrées par ce mode de dispersion au hasard sont énormes et la seule façon de les compenser est d'augmenter le nombre de grains libérés dans l'air. Par exemple, un pied de maïs (*Zea mays*) produit quelque 50 millions de grains de pollen pour 1000 ovules. Les caractères morphologiques associés à l'anémogamie (syndrome de l'anémogamie) sont les stigmates plumeux augmentant la probabilité d'une rencontre entre papilles stigmatiques et pollen, et les filets allongés des étamines, sensibles au moindre petit courant d'air. Le pollen est aussi souvent léger, sec, avec une surface relativement lisse, ce qui facilite sa dispersion.

## La dispersion du pollen par le vent

La libération du pollen des plantes anémogames s'effectue par différents mécanismes. A maturité, les anthères de la fleur s'ouvrent et le pollen est libéré dans l'air de façon passive (par exemple le vent secoue les anthères qui pendent hors de la fleur), ou active (par exemple la paroi du sac pollinique se rompt brutalement suite à un changement du taux d'humidité, se détend comme un ressort et les grains de pollen sont éjectés). Les mouvements de l'air et les conditions météorologiques déterminent la trajectoire que suit le grain de pollen. La rencontre entre le pollen et les papilles stigmatiques est donc aléatoire. Le dépôt du pollen a finalement lieu par sédimentation, collision ou lessivage.

En l'absence de vent, le pollen tombe assez rapidement vers le sol, avec une vitesse de sédimentation de l'ordre de 2 à 5 cm par seconde pour les grains de taille moyenne (20 à 40  $\mu\text{m}$ ). La dispersion du pollen peut se mesurer directement entre une source et des capteurs disposés à des distances croissantes. Le moindre souffle d'air fait dévier la trajectoire des grains de pollen, car une légère brise a déjà une vitesse de l'ordre du mètre par seconde. Les mouvements de l'air sont très complexes et il faut les considérer à différentes échelles pour comprendre les déplacements du pollen (Aupetit 1991, Levizzani 1998). Les principaux phénomènes qui provoquent le brassage de l'air et la diffusion des particules sont les effets thermiques par convection (l'air chaud est plus léger que l'air froid et s'élève) et les turbulences provoquées par des obstacles (touffe d'herbe, haie, arbre, bâtiment, colline...). Ces mouvements répartissent le pollen dans la couche d'air proche du sol que l'on appelle couche de mélange. Son épaisseur varie de quelques dizaines de mètres à deux kilomètres, selon le moment de la journée, de l'année et les conditions météorologiques. Lorsque le vent se superpose à ce brassage, le pollen peut être entraîné sur une distance pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. Dans certaines situations (fortes convections par exemple), les particules peuvent atteindre des couches plus élevées de l'atmosphère et entrer dans des vents d'altitude capables de les transporter sur quelques centaines, voire plusieurs milliers de kilomètres. On retrouve par exemple en Europe du pollen provenant d'Afrique du Nord (comme aussi parfois du sable du Sahara) ou en Scandinavie du pollen de bouleau (*Betula* sp.) provenant d'Europe centrale à une période où ces arbres ne fleurissent pas encore dans les pays nordiques (Hjelmroos 1992).

Lorsque le courant d'air qui transporte le grain de pollen est dévié par un obstacle, l'inertie a tendance à précipiter le grain de pollen sur celui-ci, c'est la collision. Il est ainsi facile de comprendre comment une forêt exerce un important effet de filtration : d'une part le vent y est freiné, ce qui favorise la sédimentation, d'autre part les surfaces de collision sont très importantes lorsque le vent est plus fort. Ceci explique aussi pourquoi la très grande majorité des arbres fleurissent avant le développement de leurs feuilles : leur pollen est ainsi dispersé d'autant plus facilement que les obstacles sont moins nombreux. Le même phénomène de filtration se retrouve dans les voies respiratoires : lors d'une inspiration par le nez, la plupart des grains de pollen sont retenus au niveau des cavités nasales, alors que des particules plus petites peuvent descendre jusque dans les poumons. La pluie, qui entraîne les particules présentes dans l'air vers le sol (lessivage), est également un facteur de dépôt très important. Dans certaines circonstances particulières, du pollen qui a été déposé peut être remis en suspension dans l'air, par exemple par un fort vent. En Méditerranée près des grandes oliveraies, du pollen d'olivier (*Olea* sp.) est mesuré en petites quantités dans l'air au moment de la récolte des fruits par gaulage des arbres.

La dispersion du pollen a bien sûr comme conséquence la diminution de sa concentration. Comme les manifestations allergiques sont dépendantes de la quantité de pollen présent, les symptômes étant déclenchés par le dépassement d'un seuil d'exposition, une personne sensible aura donc intérêt à se tenir à l'écart des plantes auxquelles elle est allergique.

## Dispersion du pollen et fécondation

Pour que les grains de pollen puissent accomplir leur rôle reproducteur, ils doivent être viables lorsqu'ils se posent sur le stigmate de la plante réceptrice. La mesure du transport du pollen ne reflète ainsi pas directement le flux de gènes puisqu'elle ne prend généralement pas en compte la viabilité du pollen. Cette dernière est limitée et dépend en particulier de la température et de l'humidité. Par exemple, dans l'air, le pollen de maïs voit sa viabilité diminuer de 80 % en 1 h et il n'est plus viable après 2h. Cependant, il peut être viable plusieurs jours s'il est conservé dans des conditions fraîches et saturées en humidité (Luna et al. 2001). L'analyse génétique des graines dans le but d'établir leur paternité, c'est-à-dire d'identifier la plante qui a produit le pollen à l'origine de la graine, confirme généralement que le pollen provient de plantes peu éloignées. Cependant, une faible proportion de pollen se disperse à grande distance et joue un rôle essentiel dans la cohésion des espèces, évitant la dérive génétique des populations et partant leur divergence taxonomique.

## **1.2 Distribution des plantes**

Extrait et modifié de la publication :

Felber F, Clot B. **Dispersion du pollen et des graines, distribution des plantes.** In: Felber F, Clot B, Leimgruber A, Spertini F (Eds). *Plantes, pollen, allergies.* Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208pp. (2003).

### Aires naturelles de distribution des plantes

La distribution naturelle des plantes est le reflet de facteurs biotiques (exigences écologiques et potentialités de reproduction et de dispersion propres à chaque espèce) et abiotiques (distribution des niches écologiques potentielles) dans une perspective historique, l'histoire paléoclimatique et paléogéographique ayant profondément interféré sur la distribution actuelle des espèces. Ainsi, nos régions ont été marquées par les glaciations qui ont détruit la végétation sur de grands territoires lors de leur crue maximale. La flore et la faune ont pu se maintenir à leur périphérie ou localement, dans certaines zones non recouvertes de glace, les nunataks. Lors du retrait des glaciers, ces espèces ont à nouveau envahi les territoires libérés. Aujourd'hui, chaque espèce occupe une niche écologique plus ou moins large, déterminées par une combinaison favorable de facteurs biotiques et abiotiques. Parmi les plus importants, on note la température, la lumière, la disponibilité en eau et en nutriments et la concurrence interspécifique. Par ses activités, l'homme a considérablement modifié la répartition des espèces. Il a étendu la distribution de nombreuses espèces vivrières ou décoratives. Volontairement ou involontairement, il a introduit de nouvelles espèces influençant directement le spectre pollinique de son environnement.

La végétation de l'Europe reflète aujourd'hui l'ensemble de ces facteurs. Elle varie donc considérablement du Sud au Nord de l'Europe, ou avec l'altitude, sur de grandes comme sur de courtes distances. Chaque région bioclimatique offre un spectre d'espèces qui lui est propre. C'est à ce spectre d'espèces que la population humaine est exposée, avec les risques afférents d'allergie.

### Plantes naturalisées et plantes envahissantes

Certaines plantes ont été introduites suite aux activités humaines, parfois depuis des temps très anciens. Elles se sont alors intégrées à notre flore et sont considérées comme naturalisées. Elles sont apparues à différentes époques. Les archéophytes se sont implantés entre le néolithique et la découverte de l'Amérique. Ainsi, le châtaignier (*Castanea sativa*) et le noyer (*Juglans* sp.) ont été introduits dans nos régions à l'époque romaine. Les néophytes sont arrivés postérieurement à la découverte de l'Amérique. Certaines espèces bouleversent les équilibres naturels par l'explosion de leurs populations. On parle alors de néophytes envahissants (Weber 1999). Ils ont connu une progression rapide dans les milieux perturbés par les activités humaines, comme le long des voies

de chemin de fer et des autoroutes. Le réchauffement global du climat pourrait également contribuer à leur expansion. Ces espèces ne connaissent généralement pas d'ennemis naturels dans les régions nouvellement envahies, car elles viennent de très loin, souvent d'autres continents. Durant une assez longue période, les individus sont peu nombreux et ne perturbent pas l'équilibre écologique des milieux qu'ils occupent. Cependant, une explosion démographique peut survenir, qui correspond à la phase d'envahissement. Les plantes forment alors des peuplements denses couvrant de grandes surfaces et concurrençant la flore locale. Les plantes envahissantes induisent toujours une perte de la diversité biologique. Des moyens de lutte existent, mais la prévision et la prévention restent les meilleures armes. En effet, l'extermination des espèces lors de la phase d'établissement est beaucoup moins coûteuse que lors de la phase d'envahissement. Si les plantes envahissantes créent des problèmes écologiques, elles peuvent aussi présenter des dangers sanitaires. L'ambrosie ou herbe à poux, ragweed en anglais (*Ambrosia artemisiifolia*), est l'exemple d'une espèce en pleine progression. Partout où elle croît, son pollen très allergisant qui induit de fréquents cas d'asthme est considéré comme un important problème de santé publique. Elle est également une mauvaise herbe redoutée dans certaines cultures et peut coloniser des milieux naturels.

### 1.3 Phénologie

La phénologie étudie le moment d'apparition des étapes annuelles de croissance et de développement des êtres vivants et les facteurs qui l'influencent. Nous nous limiterons, dans cette introduction, à présenter la phénologie des plantes et excluons volontairement les autres organismes, qui seraient ici hors sujet. La méthode classique de la phénologie consiste à observer ces étapes, ou phases phénologiques (ou phénophases), le plus souvent dans la nature mais aussi parfois dans des jardins, et enregistrer la date d'apparition correspondante. Les phénophases correspondent par exemple au déploiement des feuilles, à la floraison, à la coloration et la chute des feuilles, etc.). Les stades phénologiques sont précisément décrits et la façon d'effectuer les observations partiellement standardisée. Pour la Suisse, les critères sont bien décrits dans le livre de Brügger et Vassella (2003).

#### Observations anciennes

Depuis des temps immémoriaux, l'être humain a dû s'intéresser aux rythmes de la nature. Les chasseurs-cueilleurs avaient par exemple tout intérêt à savoir où et quand trouver leur nourriture, par exemple des baies mûres. Plus tard, les premiers cultivateurs ont appris à planifier les travaux des champs, semailles, plantations, récoltes, en fonction des rythmes de croissance et de développement des plantes. Ainsi certaines phases comme l'apparition des feuilles, la pleine floraison, la maturité des fruits, la coloration et la chute des feuilles, sont observées et la date de leur apparition est notée. La plus ancienne série phénologique au monde est japonaise et remonte à l'an 812. La floraison des cerisiers (*Prunus avium*) est observée et notée chaque année depuis cette date. Elle donne lieu à une importante fête de printemps, le hanami. Deux longues séries continues sont également disponibles en Suisse. L'apparition des feuilles de marronnier (*Aesculus hippocastanum*) officiel de la Treille a été observée à Genève depuis 1808. Elle est annoncée officiellement par le Sautier du Grand Conseil et marque le début du printemps. La pleine floraison du cerisier est notée à Liestal, près de Bâle, depuis 1894 (Defila et Clot 2001a).

De nombreuses notes phénologiques datent du Moyen-Age. A cette époque, c'étaient surtout les événements sortant de l'ordinaire qui étaient rapportés dans les chroniques, comme une deuxième floraison des cerisiers au cours de la même année. Ces observations étaient souvent réalisées par des moines ou des novices. Elles apportent des informations intéressantes concernant le climat de période où les instruments de mesures météorologiques n'étaient pas encore disponibles (Pfister 1984). En 1750, le botaniste Carl von Linné fonda un réseau d'observations phénologiques en Suède. En Suisse, un premier réseau phénologique date de 1760, mais les observations n'ont été

poursuivies que quelques années. Au 19<sup>ème</sup> siècle, un réseau européen a réalisé des observations en Belgique, en Hollande, en Italie, en France, Grande-Bretagne et en Suisse (Schnelle 1955). De 1869 à 1882, le Service des forêts du canton de Berne a entretenu un réseau d'observations phénologiques, comme cela se faisait également dans d'autres pays d'Europe (Vassella 1997).

### **Les réseaux**

Au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle, de nombreux pays européens mettent en place des réseaux d'observations systématiques au sein de leur service météorologique. Le réseau allemand est ainsi inauguré en 1953 (Schnelle 1955). En 1957, le renommé phénologue F. Schnelle fonde les Jardins phénologiques internationaux IPG, dont la vocation est de planter dans différents pays d'Europe des clones d'arbres et d'arbustes et de suivre leur comportement phénologique sous différents climats. Le réseau suisse d'observations phénologiques, qui couvre toutes les régions et une large amplitude altitudinale, est fondé en 1951 (Primault 1955). A ses débuts, il comportait 70 lieux d'observation, où 37 espèces et 70 phénophases étaient relevées. Il compte maintenant des observateurs dans 160 stations. Le programme d'observations a été légèrement modifié en 1996: il comprend actuellement 26 espèces de plantes et est surtout consacré à l'étude des plantes sauvages. Pour chaque espèce, une ou plusieurs des phénophases suivantes sont observées : déploiement des feuilles, floraison, maturité des fruits, coloration et chute des feuilles ; en tout 69 phénophases. Un réseau d'information en temps réel a été introduit en 1986: 40 stations annoncent au fur et à mesure de leur apparition 17 phases phénologiques sur l'ensemble de la période de végétation. Un bulletin phénologique peut ainsi être tenu à jour et publié régulièrement au cours de la saison. En 2001, 15 stations forestières ont été ajoutées à ce réseau suisse. L'institut de géographie de l'université de Berne poursuit depuis 1970 un programme d'observations phénologiques le long d'un transect qui s'étend du Jura aux Alpes Bernoises (Jeanneret 1996). Depuis 1994, des observations phénologiques sont également réalisées dans le parc national. Ce programme inclut des plantes alpines qui croissent à des altitudes où l'influence directe des activités humaines se fait peu ou pas sentir.

### **Intérêts pour la phénologie**

Les données phénologiques trouvent leur application en production intégrée, pour la prévision de phénophases (Bider et Meyer 1946), la prévention du gel ou l'établissement des cartes phénologiques (Primault 1984; Schreiber, 1977). A l'époque du dépérissement des forêts, on s'est beaucoup demandé si les dommages causés aux arbres influençaient la phénologie de ceux-ci (Hartmann 1991). Plus récemment, la question s'est posée de la réaction de la végétation à un possible changement climatique global (Menzel 1997, Menzel et Fabian 1999). La longueur du jour et les conditions météorologiques sont les principaux facteurs qui influencent l'apparition des phases phénologiques chez les plantes. Au printemps, l'augmentation de la température est un facteur particulièrement important (Defila 1991, Studer et al. 2005). Dans l'éventualité d'un réchauffement climatique global, les températures plus élevées en hiver et au printemps laisseraient ainsi prévoir une apparition plus précoce des phénophases. Les tendances mises en évidence par l'étude des données phénologiques pourraient donc se révéler d'intéressants indicateurs et seront discutées au chapitre 4. La phénologie a ainsi une longue tradition en Suisse, où les études menées sont rendues particulièrement intéressantes par la structure orographique complexe, la diversité des climats régionaux et les importantes différences d'altitudes.

## 1.4 Pollinoses

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, les allergies ont pris une importance spectaculaire (Spertini 2003). Parmi elles, les allergies au pollen, ou pollinoses, tiennent le haut du pavé: désormais près de 15% de la population suisse en souffre. Pour mieux comprendre ce phénomène, aider au diagnostic et au contrôle de l'efficacité de la thérapie et renforcer la prévention de ces maladies, des mesures du contenu pollinique de l'air sont effectuées par les aéropalynologues. En Suisse, c'est MétéoSuisse (Office fédéral de météorologie et de climatologie), qui gère le réseau national de mesure du pollen et diffuse informations et prévisions polliniques.

L'allergie est causée par une réaction immunitaire anormale et excessive à différentes substances étrangères au corps, en général des protéines, que l'on regroupe sous le terme d'allergènes (Sauty 2003) et qui, en quantités et circonstances comparables, ne provoquent pas de telles réactions chez les autres personnes. En raison de son abondance dans l'air, le pollen des plantes anémogames a toutes les chances d'entrer en contact de façon répétée avec le corps humain, c'est pourquoi il est fréquemment responsable d'allergies. Celles-ci peuvent se manifester au niveau des yeux (conjonctivite), des voies respiratoires (rhinite, asthme) ou de la peau (dermatite atopique, urticaire). Les facteurs principaux amenant au déclenchement d'une allergie sont d'origines génétique et environnementale. Outre l'exposition à des allergènes, l'environnement joue un rôle dans le développement ou la modulation du système immunitaire (infections, pollution, alimentation, etc...). Le développement de l'allergie comprend d'abord une phase de sensibilisation au contact d'un allergène (ou de plusieurs), au cours de laquelle le système immunitaire produit de IgE (immunoglobulines de type E) spécifiques chargés de reconnaître l'allergène, en l'absence de symptômes. Lors d'un contact ultérieur, la liaison IgE-allergène provoque la libération de nombreuses substances irritantes et inflammatoires qui engendrent une série de réactions immédiates (écoulement de liquide, gonflement, démangeaison, toux, asthme) et plus tardives (inflammation, persistance des manifestations allergiques) : l'allergie est alors manifeste.

Seul le pollen d'un petit nombre d'espèces est à la fois allergisant et abondant dans l'air, ces deux conditions étant nécessaires pour qu'une partie de la population humaine d'une région soit sensibilisée. En Europe, les espèces qui provoquent le plus d'allergies dans la population appartiennent aux familles des Graminées, Bétulacées, Oléacées, Astéracées et Cupressacées, mais d'autres familles comme les Fagacées et les Chénopodiacees, ou genres comme la pariétaire (*Parietaria* sp.) ou le platane (*Platanus* sp.) sont également importants dans certaines régions.

Toute mesure permettant d'éviter un contact avec l'allergène (évitement de l'allergène) constitue la méthode la plus importante de prévention des allergies. Dans le cas du pollen, il n'est en général pas possible d'éviter tout contact avec l'air extérieur chargé de pollen, mais on peut, en suivant quelques règles simples de comportement, en limiter les conséquences. La prévision des pollens de l'air participe de cette prévention. En raison de la fonction naturelle indispensable du pollen, il ne saurait être question de chercher à supprimer ou limiter sa présence dans l'air. Cependant, dans certains cas bien particuliers, lorsque ce pollen provient de plantes situées hors de leur aire de répartition naturelle, favorisées par les activités humaines, et qu'il présente un risque particulier pour la santé publique, il peut être considéré comme une pollution : au chapitre 5, nous verrons qu'il est souhaitable de ne pas introduire dans nos régions des allergènes reconnus comme tels dans d'autres parties du monde.

Il est intéressant de se demander si des changements intervenus dans la composition en allergènes de l'atmosphère, telle que révélée par les quantités de pollens mesurées, ont pu être à l'origine de l'augmentation de la prévalence des pollinoses. Des éléments de réponse à cette question seront donnés aux chapitres 4 et 5.

## 1.5 Aérobiologie ; aéropalynologie

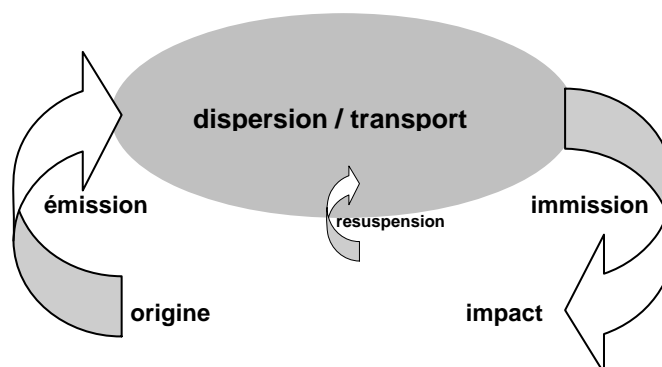
Extrait et modifié de la publication :

Clot B. **Aérobiologie**. In: Felber F, Clot B, Leimgruber A, Spertini F (Eds). Plantes, pollen, allergies. Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208pp. (2003).

### Introduction

A côté des nombreuses particules minérales, l'air est chargé d'une multitude de particules d'origine biologique (bioaérosols) qui sont ainsi transportées *passivement*. Leur concentration peut atteindre plusieurs dizaines de milliers d'unités par mètre cube d'air. Il peut s'agir d'organismes entiers, d'organes de résistance et de dissémination, d'agents de la reproduction, de fragments et débris ou de substances produites par des êtres vivants. Les organismes tels que virus, bactéries, algues, lichens, spores de champignons, pollen, spores de mousses et de fougères, insectes et autres arthropodes sont ainsi extrêmement abondants dans l'atmosphère, qu'ils utilisent comme vecteur de transport. L'aérobiologie est la science qui étudie ces particules, les sources qui les produisent (origine), les voies et les conditions de leur libération dans l'air (émission), de leur dispersion et (ou) de leur transport, puis de leur dépôt (immission) (Fig. 1.1). La prévision de la concentration des bioaérosols, ainsi que les effets qu'ils auront sur les organismes ou les écosystèmes (impact) sont également des préoccupations majeures des aérobiologistes.

Figure 1.1. L'aérobiologie étudie les différentes étapes de la dispersion des particules d'origine biologiques dans l'atmosphère.



Les études aérobiologiques sont complexes (Isard et Gage 2000) et nécessitent la collaboration de spécialistes de nombreuses disciplines : l'aérobiologie est une science d'intégration, on peut la considérer comme l'écologie de l'air. Les applications de l'aérobiologie intéressent de nombreux domaines comme la santé (allergies, transmission des infections), l'agriculture et la foresterie (en particulier la phytopathologie), l'étude des changements climatiques, l'écologie des milieux terrestres et aquatiques, la paléoécologie, la protection des héritages (bâtiments, œuvre d'art, qui subissent les attaques de microorganismes transportés par l'air), l'étude des flux de gènes (phénomènes évolutifs) et la biosécurité. Cette dernière, qui comprend l'étude des flux de pollen d'organismes génétiquement modifiés et la dispersion d'agents pathogènes, a récemment suscité un regain d'intérêt en raison de l'attention accrue accordée au risque terroriste.

L'étude de la qualité biologique de l'air à l'intérieur des bâtiments constitue une discipline particulière de l'aérobiologie : la teneur en bioaérosols y est influencée d'une part par les apports de l'air extérieur, mais aussi et parfois surtout par les conditions propres à chaque construction, qui déterminent la production locale de ces particules. Ce chapitre consacré au pollen se limite à quelques suggestions pour éviter l'intrusion de ce dernier dans les maisons.

Les grains de pollen sont parmi les plus grandes particules biologiques que l'on rencontre en abondance dans l'air. Selon les espèces, leur taille varie de 10 à 250  $\mu\text{m}$  (millièmes de millimètre). Les spores de champignons sont pour la plupart inférieures à 10  $\mu\text{m}$ , mais certaines espèces se situent dans la gamme de dimension des pollens. Les bactéries mesurent pour la plupart moins de 2  $\mu\text{m}$ . De façon générale, plus les bioaérosols sont petits, plus leur nombre et leur masse présente dans l'atmosphère sont grands.

De tous les types de particules véhiculées par l'air, le pollen a certainement fait l'objet du plus grand nombre de recherches ; c'est plus particulièrement dans le cadre des études concernant les pollinoses que l'aéropalynologie a pris son essor. L'aéropalynologie est, comme l'aérobiologie, interdisciplinaire : elle requiert au moins les savoirs de la botanique, de la météorologie et de la phénologie. Elle trouve ses applications en particulier dans les domaines de la santé (allergies), de l'agriculture (prévision des récoltes), de la foresterie, de la génétique (flux de gènes) et, plus récemment, de la climatologie (changement climatique).

### **Influences des conditions météorologiques**

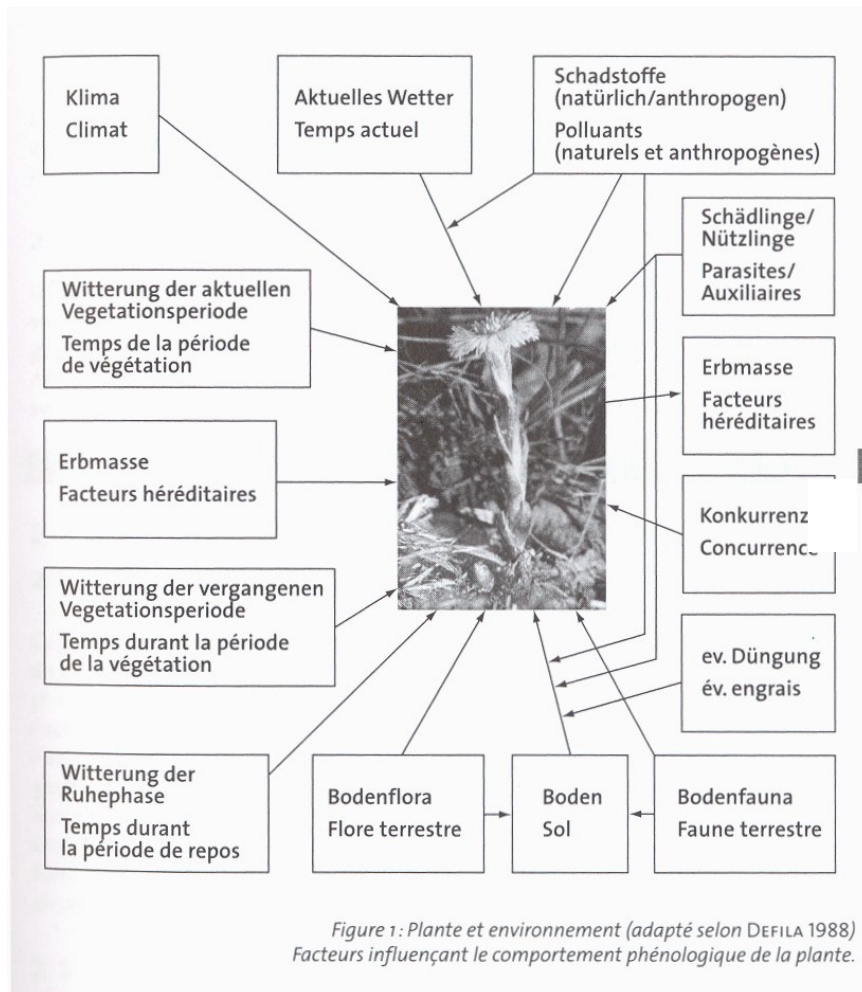
La présence et la concentration de pollen dans l'air sont de plusieurs façons et à différentes échelles de temps fortement influencées par les conditions météorologiques et climatiques (Huynen et al. 2003). Le climat définit directement ou indirectement la végétation capable de croître dans une région et donc la liste des espèces anémogames dont le pollen peut être présent dans l'air. A cette production locale vient s'ajouter du pollen transporté par les vents depuis des régions plus éloignées, mais généralement en moindre mesure.

L'abondance potentielle de la floraison à venir dépend déjà du temps qu'il fait au cours de l'année (ou période de végétation) précédente. Pour les plantes annuelles, le temps qu'il fait pendant la floraison (succès de fécondation), puis la période de maturation des graines (production de semences) est important. Pour les plantes ligneuses, c'est pendant la floraison, mais aussi pendant la formation puis la maturation des bourgeons floraux que les facteurs météorologiques jouent un grand rôle. Ils influencent également la santé de l'appareil végétatif, modulent l'importance de la production fruitière (une forte productivité va affaiblir la plante) et la maturation des rameaux qui porteront la nouvelle génération de fleurs, etc. L'année précédente ou l'année en cours, la générosité de la floraison va enfin dépendre des conditions de croissance au moment de la mise à fleurs (transformation du bourgeon végétatif en bourgeon sporogène), conditions au rang desquelles les facteurs climatiques (température, lumière) jouent un rôle déterminant.

Les conditions météorologiques pendant la phase de repos ont également leur importance. Dans le nord et le centre de l'Europe, la végétation est soumise à une phase de repos hivernal pendant laquelle on ne trouve pratiquement pas de pollen dans l'air. De nombreuses plantes et graines requièrent une certaine période de froid ou de gel pour lever leur dormance. Dans les régions soumises au climat méditerranéen au contraire, certaines plantes fleurissent presque toute l'année, avec une pause plus ou moins marquée en été en raison de la sécheresse et une légère diminution d'activité en hiver.

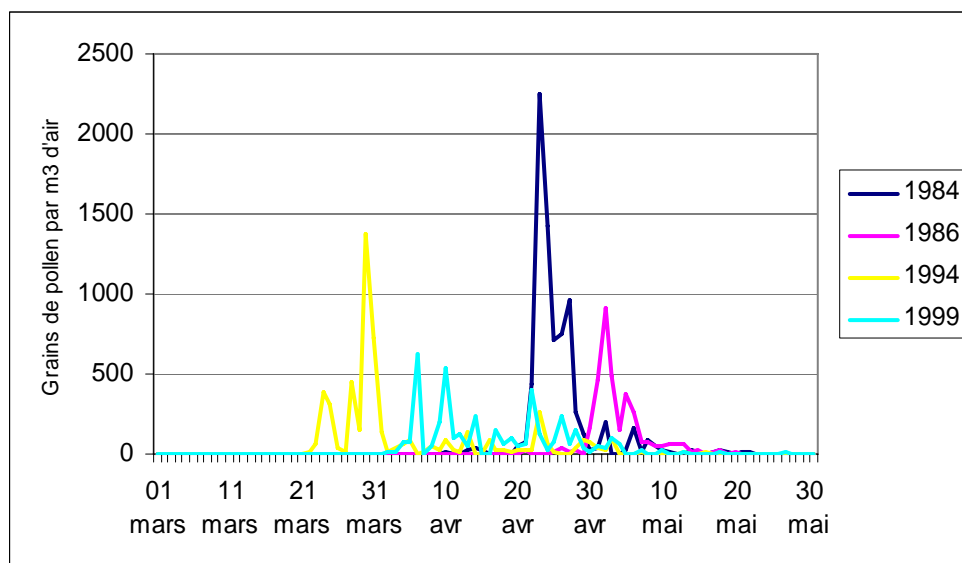
Le temps, en particulier la température qu'il fait pendant la période de végétation en cours, influence la vitesse de développement de la végétation et détermine le moment du début de la floraison (Defila 1991) (Fig. 1.2). On utilise ces caractéristiques pour la prévision quelques semaines à l'avance du début de la saison de différents types de pollen allergisants. Il module aussi l'abondance potentielle du pollen qui sera produit : des gels tardifs ou des périodes trop sèches ou trop pluvieuses au cours de certaines phases de croissance sont par exemple susceptibles d'endommager les boutons ou les fleurs.

Figure 1.2. Parmi les facteurs qui influencent les plantes, les facteurs météorologiques tiennent une place importante (tiré de Brügger et Vassella, 2003).



Enfin, les conditions météorologiques qui prévalent pendant la floraison sont décisives. Elles déterminent le moment précis de la libération du pollen dans l'air et favorisent ou non sa dispersion et son transport (voir aussi le chapitre 1.2). Le taux d'humidité de l'air, qui agit sur l'ouverture des anthères et peut modifier le poids et la vitesse de sédimentation du grain de pollen, ainsi que la vitesse et la direction du vent, qui déterminent la trajectoire et la distance de transport, prennent alors une grande importance. De façon générale, un temps sec, chaud et un léger vent favorisent la dispersion du pollen, un temps humide, froid, l'absence de vent ainsi que la pluie sont des facteurs défavorables. Ces multiples influences du temps sont à l'origine des importantes variations interannuelles observées dans les dates de présence et l'abondance des différentes espèces de pollen dans l'air (Fig. 1.3).

Figure 1.3. Exemples de variations dans le déroulement de la saison pollinique: concentrations journalières moyennes de pollen de bouleau (*Betula* sp.) à Neuchâtel lors de saisons : précoce (1994), tardive (1986), interrompue et prolongée par des épisodes pluvieux (1999) et particulièrement intense (1984).



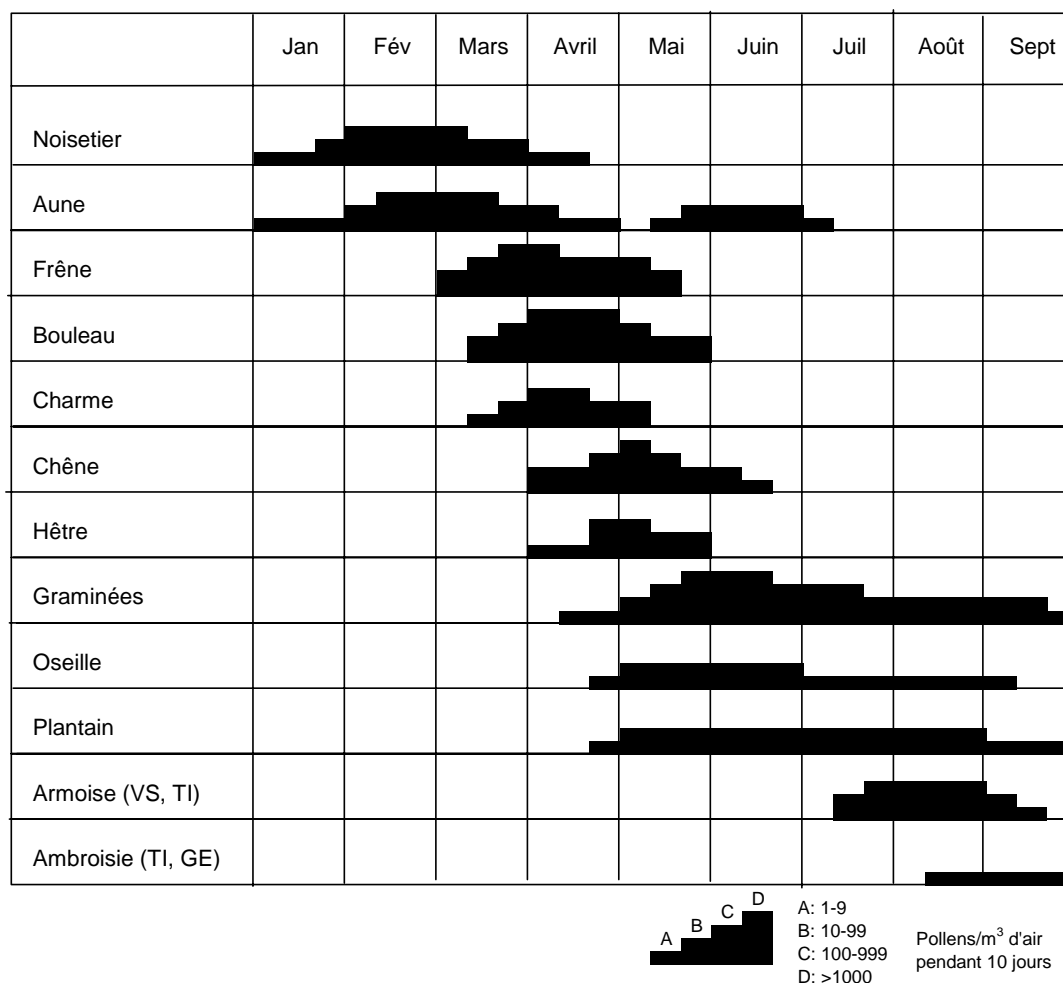
### Données et calendrier polliniques

Les données mesurées à l'aide des capteurs de pollen permettent l'établissement de calendriers polliniques moyens, qui mettent en évidence les périodes de pollinisation des principaux pollens ou des principaux pollens connus pour provoquer des manifestations allergiques et leur succession dans l'année (Fig. 1.4).

Le calendrier pollinique met en évidence les différents pollens que l'on trouve dans l'air d'une région et la période de l'année à laquelle ceux-ci sont présents. Il est établi sur la base de nombreuses années de mesures pour tenir compte de la variabilité interannuelle observée. Contrairement à l'idée véhiculée par le nom de « rhume des foins », la saison des pollinoses ne se limite pas à la fin du printemps. Le début de l'année est marqué par les pollens d'arbres : au cœur de l'hiver, dès janvier ou février, fleurissent déjà le noisetier (*Corylus avellana*) et l'aulne (*Alnus* sp.). Suivent de près les Cupressacées et l'if (*Taxus baccata*). En mars commencent les floraisons du peuplier (*Populus* sp.) et du saule (*Salix* sp.), puis de l'orme (*Ulmus* sp.), et vers la fin mars peuvent arriver les pollens de frêne (*Fraxinus* sp.), de bouleau (*Betula* sp.) et de charme (*Carpinus betulus*). Viennent ensuite les pollens de chêne (*Quercus* sp.) et de hêtre (*Fagus sylvatica*), qui sont présents jusqu'à la floraison des premières espèces de graminées (Poaceae), fin avril ou début mai. Pour les arbres, on observe encore les pollinisations de pin (*Pinus* sp.) et de l'épicéa (*Picea* sp.) en mai et juin, puis plus tardivement celles du châtaignier (*Castanea sativa*) en juillet et du cèdre (*Cedrus* sp.) en automne. Dans les Alpes, l'aulne vert (*Alnus viridis*) fleurit fin mai et début juin, son pollen est aussi transporté vers la plaine : les personnes sensibles au pollen de la famille des bétulacées peuvent donc voir réapparaître leurs symptômes à cette période. De nombreux arbres ornementaux fleurissent également à la fin du printemps ou au début de l'été, comme par exemple le marronnier (*Aesculus* sp.) et le tilleul (*Tilia* sp.), mais comme ces arbres sont plutôt entomophiles, leur pollen est peu abondant dans l'air et ce n'est qu'à proximité immédiate de ces arbres que l'on peut éventuellement en inhaler quelques grains. Par contre, la forte odeur dégagée par leurs fleurs incommodent certaines personnes. De mai jusqu'en septembre dominent les pollens des graminées et d'autres herbacées : ortie (*Urtica* sp.), oseille (*Rumex* sp.), plantain (*Plantago* sp.) en particulier. Plus tardivement vient la floraison des composées (Asteraceae) anémophiles : les armoises (*Artemisia* sp.) de la mi-juillet à fin septembre, l'ambrosie (*Ambrosia* sp.) dès la mi-août

et jusqu'aux premières gelées. De façon très simplifiée, les allergologues distinguent souvent deux grandes période de pollinose : celles dues aux arbres au printemps et celles dues aux herbacées en été, qui commence avec l'arrivée du pollen de graminées. Pour chaque espèce d'arbre, la saison de pollinisation est relativement courte, de l'ordre de deux à quatre semaines, et la quantité de pollen est très élevée ; les concentrations journalières peuvent atteindre plusieurs milliers de grains par mètre cube d'air. Les herbacées au contraire ont une saison de pollinisation qui dure plusieurs mois, car elles reflleurissent généralement plusieurs fois. En ce qui concerne les graminées, la succession des floraisons de nombreuses espèces prolonge également la présence de ce pollen dans l'air : les espèces les plus tardives, roseau au début septembre et roseau de Chine en octobre, appartiennent à une sous-famille particulière.

Figure 1.4. Exemple d'un calendrier moyen des principaux pollens allergisants en Suisse.



Les données journalières obtenues par les mesures du pollen de l'air sont particulièrement utiles aux médecins allergologues, qui sont à même de les interpréter. En effet, une concentration de 50 grains par mètre cube d'air n'a absolument pas la même signification s'il s'agit de pollen d'armoise ou de pollen de châtaignier, par exemple. Chaque type de pollen possède en effet un degré d'allergénicité et des caractéristiques de dispersion différents: le seuil de concentration qui provoque une réaction allergique chez la majorité des patients varie ainsi d'une espèce à l'autre (Laaidi 1995).

Les données polliniques sont utiles comme aide au diagnostic : lorsqu'une personne a manifesté des symptômes allergiques, les pollens présents à ce moment dans l'air seront suspectés d'en être la cause. Elles sont utiles en corrélation avec le calendrier des symptômes pour le contrôle de

l'efficacité des traitements. Elles permettent d'intéressantes corrélations lors d'études cliniques et de tests de nouveaux médicaments, d'études épidémiologiques concernant les maladies allergiques ou interviennent comme cofacteurs dans l'étude d'autres maladies. Elles sont, avec les prévisions polliniques, importantes pour l'information des patients, la sensibilisation du public aux problèmes des maladies allergiques et pour la prévention de celles-ci (Jakus 1987).

### **Pollen ou allergène ?**

De nombreuses études attestent l'excellente corrélation entre la présence du pollen dans l'air et l'apparition des symptômes allergiques chez les patients (Huynen et al. 2003). Dans certaines situations cependant, des allergènes sont portés par des particules beaucoup plus petites que des grains de pollen (D'Amato et al. 1998) : c'est le cas en particulier quelques jours avant l'apparition des pollens de bouleau par libération de très petites particules allergisantes (Schäppy et al. 1997), par éclatement des grains de pollen lors d'orages (Knox 1993) et par diffusion des allergènes lors du contact temporaire entre le grain de pollen et d'autres particules présentes dans l'air, en particulier des résidus de combustion du diesel (Ormstad et al. 1998). Il a aussi été clairement démontré que la pollution provoque des réactions de stress chez la plante, qui ont pour conséquence l'augmentation de l'allergénicité du pollen, par stimulation de la production d'allergènes ou de molécules qui amplifient la réaction allergique (Behrendt et al. 2001). Récemment, quelques études du contenu de l'air en allergènes ont été menées (par exemple le projet Européen Life « MONALISA »), mais les techniques sont difficiles : leur coût et le temps nécessaire pour les mener rendent toute mesure en continu pour l'instant impossible. C'est pourquoi la mesure du pollen de l'air a encore un bel avenir devant elle.

### **Prévisions polliniques**

Une bonne connaissance de la biologie des plantes anémophiles et de l'influence des différents facteurs météorologiques, ainsi que les données de nombreuses années de mesures, permettent l'établissement de prévisions des épisodes polliniques (voir aussi chapitre 3).

Plusieurs semaines avant l'arrivée du pollen dans l'air, il est déjà important de savoir quand les premières réactions allergiques vont se manifester. Il s'agit de prévoir le début de la floraison des différentes espèces allergisantes qui, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, présente des variations interannuelles pouvant dépasser un mois. Ces variations sont nettement plus marquées pour les plantes qui fleurissent à la fin de l'hiver et au printemps que pour les estivales, en grande partie parce que le temps est également plus variable au début de l'année. Cette prévision permet aux personnes sensibles de prendre les mesures préventives nécessaires et de consulter leur spécialiste assez tôt, aux médecins de planifier la thérapie et en particulier la thérapie pré-saisonnière et aux compagnies pharmaceutiques d'organiser à temps l'approvisionnement des officines. Cette prévision est souvent basée sur un cumul des températures pendant une période de plusieurs semaines ou de plusieurs mois ; elle simule la quantité d'énergie dont la plante a besoin pour accomplir les étapes de sa croissance qui précèdent la floraison. Cette dernière peut être prévue trois semaines ou un mois à l'avance avec une précision de quelques jours. Le temps qu'il fait dans l'intervalle peut bien sûr accélérer ou ralentir la maturation des fleurs, cette prévision est donc affinée régulièrement à l'approche du moment décisif.

Il est également intéressant d'estimer à l'avance la quantité de pollen d'une espèce qui sera potentiellement libérée au cours de la saison. Le temps qu'il a fait au cours de la saison précédente et des observations directes du développement de la végétation sont des paramètres importants de cette prévision qui reste difficile. Elle est utile pour estimer la sévérité de la saison à venir et comme paramètre d'entrée dans les modèles de prévision à court terme.

Au cours de la saison pollinique, des prévisions polliniques pour les deux ou trois jours à venir sont effectuées quotidiennement. Comme les prévisions météorologiques sur lesquelles elles s'appuient, elles annoncent la situation moyenne attendue pour une région. Elles se présentent de façon simple et compréhensible sous la forme de classes de risque (nul, faible, moyen, fort, très fort) pour les différents pollens et sont souvent accompagnées de conseils pratiques qui peuvent aider les personnes allergiques à ne pas s'exposer inutilement au pollen. Ces classes ont le plus souvent été établies par comparaison entre l'occurrence des symptômes chez des patients et les concentrations de pollen mesurées, mais aussi dans des chambres de provocation comme celle de Vienne (Autriche). Les modèles qui permettent de réaliser ce type de prévisions sont souvent complexes et basés sur des méthodes statistiques à valeur locale. Des modèles physiques couplés aux modèles atmosphériques (modèles de dispersion) sont en développement à l'échelle européenne, mais de nombreuses informations nécessaires pour les faire fonctionner, comme la production de pollen par unité de surface ou l'état de développement de la végétation, ne sont pour l'instant que partiellement disponibles en temps réel.

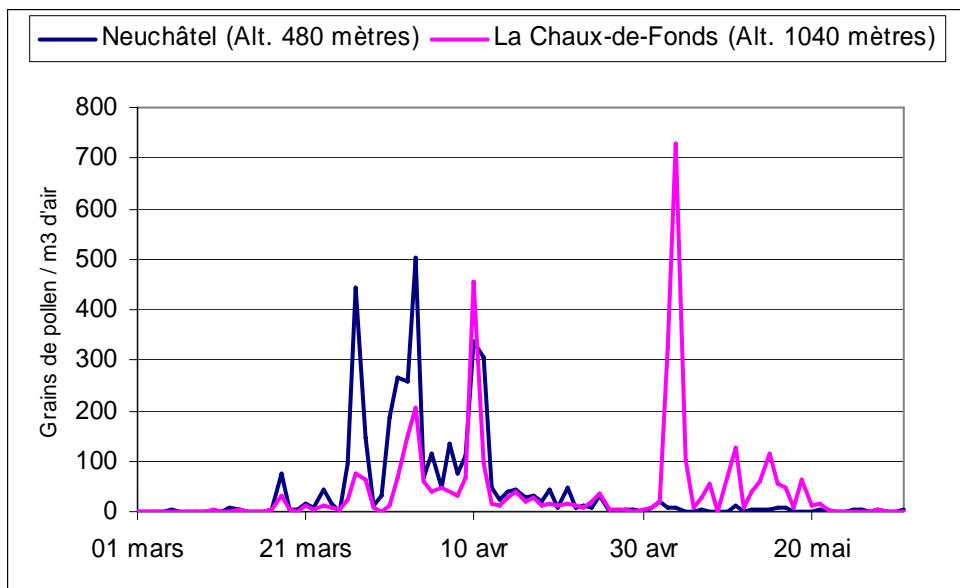
### **Transport du pollen et décalage phénologique**

La majorité des grains de pollen sont dispersés à courte distance, mais lorsque les conditions atmosphériques sont favorables ils peuvent être transportés sur plusieurs dizaines, voire centaines ou milliers de kilomètres. Les pollens les plus abondants reflètent donc avant tout les caractéristiques de la végétation locale et régionale et la distribution générale des pollens suit les grandes unités biogéographiques. Mais des sources de pollen plus éloignées peuvent également parfois provoquer des symptômes allergiques, malgré la dilution qui résulte du transport par le vent. Pour les espèces largement répandues, les différences de température en fonction de la latitude induisent un important décalage dans la phénologie de la floraison. Le même phénomène est également observé à plus courte distance avec l'altitude : plus on s'élève, plus la période de végétation est courte et floraison retardée au printemps et écourtée en automne. Le transport du pollen par les vents ascendants et descendants est dans les régions montagneuses souvent la cause d'une saison pollinique plus longue que la durée de floraison locale des plantes. La figure 1.5 illustre bien une telle situation: fin mars et début avril, les bouleaux fleurissent en plaine (représentée ici par la station de Neuchâtel) et leur pollen est transporté par le vent jusqu'en altitude. Au début mai, alors que la saison est finie en plaine, les bouleaux commencent à fleurir à La Chaux-de-Fonds, où la saison des allergies à ce pollen dure cette année-là presque deux mois. Il en va de même pour les graminées, qui, en plaine, fleurissent en mai et juin surtout, alors que le maximum de la production de pollen est enregistré en juillet dans les vallées des Alpes. La topographie et les courants aériens jouent donc un rôle important pour la détermination du risque allergique.

Au-dessus de la limite des arbres (env. 2000 mètres dans les Alpes), les quantités de pollen sont de façon générale nettement plus faibles, mais dépassent quand même certains jours le seuil déclencheur des manifestations allergiques, le plus souvent en raison du transport par le vent. La comparaison entre des stations situées à différentes altitudes apporte pour cela des informations intéressantes (Gehrig et Peeters 2000). Par exemple, alors que la quantité de pollen de frêne, un arbre qui ne croît guère en dessus de 1000 mètres, diminue avec l'altitude (Fig. 1.6a), le pollen d'aune vert, arbuste qui pousse jusque vers 2000 mètres à la limite des forêts dans les Préalpes et les Alpes, est abondant dans les stations de montagne et rare en plaine (Fig. 1.6b). Bien sûr, cette observation n'est pas totalement indépendante de la distance entre les stations de mesure et les plantes sources de pollen. Comme le montre la figure 1.6c, indépendamment de l'altitude, le pollen d'armoise est plus abondant en Valais, où plusieurs espèces d'armoises sont fréquentes, que dans les autres régions de Suisse. Les deux principaux responsables d'allergies dans notre pays sont présents dans toutes les régions: le pollen de bouleau parce qu'il est produit en très grandes quantités et très bien transporté par les vents, celui des graminées parce que les représentants de cette famille sont ubiquistes. Pour mieux comprendre le transport du pollen à l'échelle régionale, l'an passé (2006),

un cours avancé d'aérobiologie organisé sous l'égide de l'Association Internationale d'Aérobiologie a eu lieu sur la base d'une campagne de mesures effectuée en 2005 dans le Val de Nendaz avec 6 capteurs de pollens et des micro-stations météorologiques (Jud 2006).

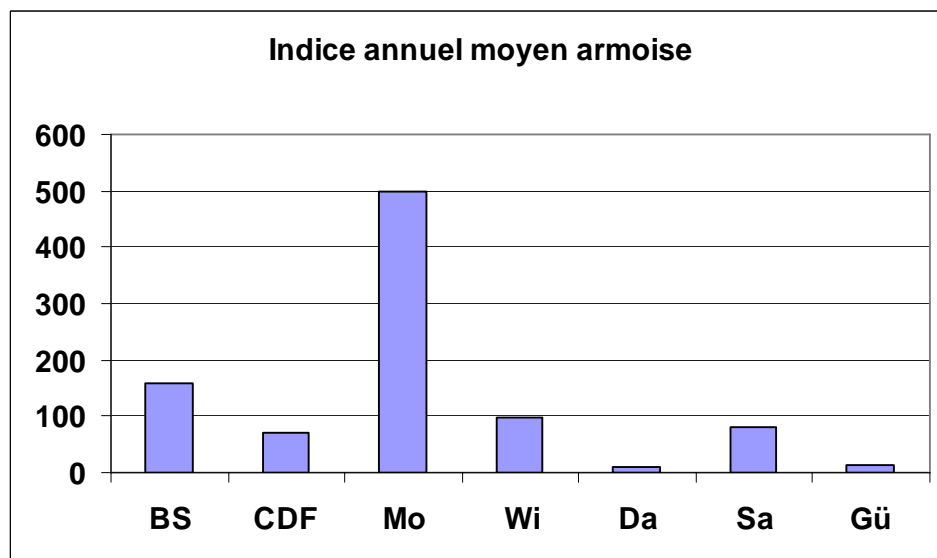
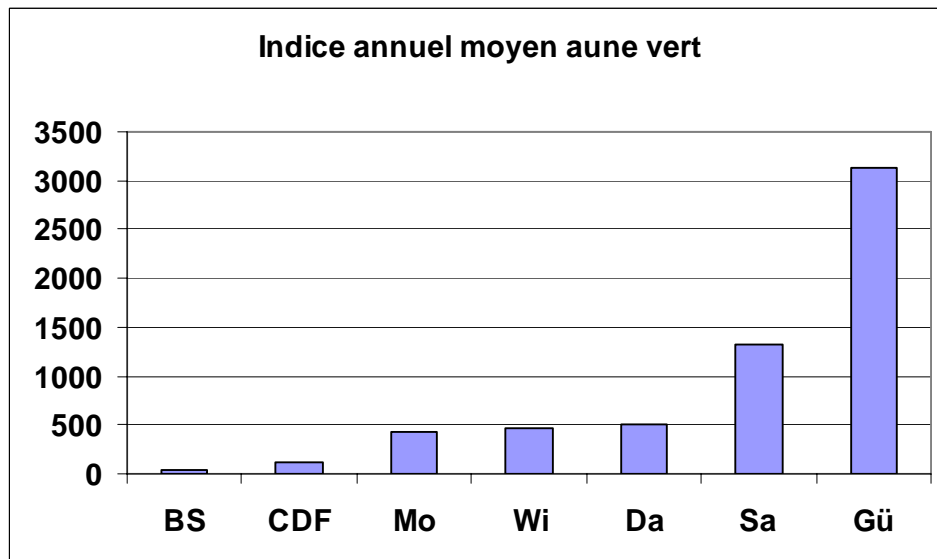
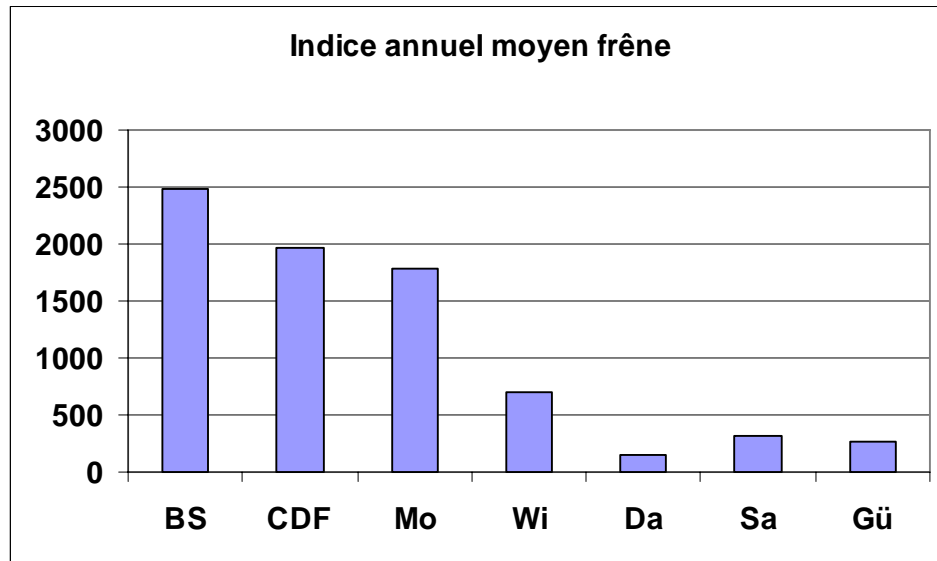
Figure 1.5. Concentrations journalières moyennes de pollen de bouleau à Neuchâtel et à La Chaux-de-Fonds en 1997 (explications voir texte).



### **Rythme circadien**

En aéropalynologie, certains rythmes peuvent être mis en évidence. Le retour saisonnier des différents pollens en est l'expression la plus simple. On observe également des rythmes journaliers : le pollen est libéré en fonction de rythmes internes de la plante et des conditions environnementales (température, humidité, lumière). Chez de nombreuses espèces, l'émission du pollen a lieu au cours de la matinée ou au milieu de la journée. Des concentrations élevées de pollen peuvent en revanche être enregistrées à différentes heures du jour ou de la nuit, en raison des conditions variables de diffusion, transport et dépôt du pollen, ainsi que de la distance par rapport à sa source. Des pics de pollen de graminées apparaissent par exemple fréquemment le matin à la campagne, près des champs où il est produit en abondance, et l'après-midi ou en fin de journée en ville, après son transport. Il est ainsi difficile de conseiller utilement les personnes allergiques en leur indiquant des heures auxquelles les concentrations de pollen seraient régulièrement plus faibles. Au coeur de la saison pollinique, les concentrations peuvent d'ailleurs dépasser en permanence le seuil déclencheur des symptômes pendant plusieurs jours et plusieurs nuits (voir chapitre 3.4). Des rythmes pluriannuels de l'indice pollinique saisonnier ont parfois été décrits, mais ils sont difficilement observés à long terme en raison de la multiplicité des facteurs qui interviennent. On ne peut ainsi pas les utiliser pour une prévision saisonnière.

Figures 1.6 a, b, c. Indice pollinique annuel du frêne (a), de l'aune vert (b) et de l'armoise (c) aux stations de mesures de Bâle (BS - 280 m, 1993-1997), La Chaux-de-Fonds (CDF - 1040 m, 1993-1997), Montana (Mo - 1350m, 1991-1993), Wiesen (Wi - 1420m, 1991-1993), Davos (Da - 1600m, 1993-1997), Samedan (Sa - 1700m, 1983-1988) et Gütsch (Gü - 2290m, 1994-1995) (modifié d'après Gehrig et Peeters 2000).



## **1.6 Histoire de l'aéropalynologie en Suisse**

### **1.6.1 Des pionniers au réseau national**

Extrait et modifié de la publication :

Clot B, Küpfer P. **1979-1998: 20 ans d'analyse aéropalynologique à Neuchâtel.** *Bull Soc Neuchâtel Sci Nat* 122: 99-107 (1999).

#### **Introduction**

Les analyses polliniques de l'air effectuées depuis vingt ans à Neuchâtel au sein du Laboratoire de phanérogamie visent à mettre à disposition des médecins allergologues et de toute personne concernée par les allergies les informations nécessaires à la prévention, au diagnostic et à la thérapie des pollinoses. Ce lien entre botanique et médecine nous permet d'emblée de mettre en évidence que l'aérobiologie rassemble les intérêts et les connaissances de nombreuses sciences: botanique, microbiologie, mycologie, physique de l'atmosphère, météorologie, médecine, phytopathologie, ..., sans pour autant appartenir à l'une d'entre elles. Elle se situe à leur interface, et intègre un certain nombre de leurs résultats: pour employer un terme à la mode, elle est multidisciplinaire. De manière similaire à d'autres sciences de l'environnement, par exemple l'écologie, cette situation intermédiaire rend parfois difficile la reconnaissance de l'aérobiologie en tant que science à part entière.

L'aérobiologie ne traite pas seulement des micro-organismes, comme on pourrait le croire, mais bien de tous les êtres vivants et des particules d'origine biologiques transportés par l'air, de leur mise en suspension (émission) à leur dépôt (immission). Pour en illustrer la diversité, voici quelques exemples de sujets présentés lors de conférences internationales: propagules de lichens et destruction des monuments, vols d'insectes au-dessus des océans, prévision de l'abondance des récoltes en fonction de l'abondance de la pollinisation, pathogènes des cultures, microbiologie des gouttelettes de brouillard. Les communications liées à la santé et à l'agriculture dominent cependant largement.

#### **Origines et développement**

Si la mention de cas d'allergies remonte à Hippocrate, l'observation de particules fines de l'air dans un rayon de lumière traversant une chambre noire est déjà mentionnée par Lucrèce en 55 avant notre ère et que la pollinisation des plantes par le vent est décrite dès 1766 par Koelreuter (Gregory 1973), l'aérobiologie est une science relativement jeune, puisqu'elle trouve son origine au XIX<sup>ème</sup> siècle avec les travaux de L. Pasteur (Ariatti et Comtois, 1993) et de C.G. Ehrenberg. Elle porte alors le nom de micrographie : les particules biologiques de l'air et leurs fonctions sont petit à petit découvertes et décrites. L'ère des pionniers va se prolonger jusqu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle, avec en particulier les travaux de Miquel à Paris (Comtois 1997). Blackley (1873) fut le premier à mettre en relation rhume des foins et pollen de l'air, et à publier un calendrier pollinique (Comtois 1995). Wodehouse (1935) posa les bases de l'aérobiologie, mais c'est F.C. Meier qui introduisit ce terme en 1937, et cette nouvelle discipline prit son essor lors d'un symposium organisé aux Etats-Unis (Moulton 1942). Après cela, les publications se multiplièrent, et il ne nous est pas possible d'en dresser ici la liste. Le développement rapide et parallèle de plusieurs sciences en relation avec l'aérobiologie est détaillé par P.H. Gregory (1973) dans son livre dont la première édition datant de 1961 est souvent considéré comme fondatrice de l'aérobiologie moderne. Citons comme étapes le premier atlas illustré des pollens aériens de Hyde et Adams (1958), le premier atlas européen - 20 pays - de Charpin et al. (1974), la synthèse aérobiologie-médecine de Horak et Jäger (1979) et une mise à jour récente des méthodes en aérobiologie par Mandrioli et al. (1998). L'évolution des techniques de capture des particules de l'air a été présentée par Leuschner (1992), mais nous devons souligner ici les travaux de Hirst (1952) qui a mis au point un capteur volumétrique qui est encore

actuellement le standard utilisé par tous les réseaux de mesure de pollens et de spores dans le monde.

### **Aérobiologie en Suisse**

Dans notre pays, les premières études concernant les pollens de l'air ont été menées par Bodmer (1921), puis Lüdi et Vareschi (1936), à l'aide de capteurs passifs. En 1953, Leibundgut et Marcet publient les résultats de leur étude menée à l'Ütliberg (Zurich) à l'aide d'un capteur-girouette. La fin des années soixante marque le début du réel développement de l'aérobiologie en Suisse. Les premiers à utiliser un capteur volumétrique de type Hirst semblent avoir été Corbaz (1968, 1969), dans le cadre d'études phytopathologiques à Changins, et Davies (1968, 1969), qui s'est consacré aux relations entre l'asthme et les pollens à Davos. Simultanément, Varonier (1968, 1969) étudie à Genève à l'aide d'un capteur passif l'importance pour les allergies des pollens et spores fongiques. Mais c'est Ruth M. Leuschner qui va être à Bâle au centre de la mise en place d'un véritable réseau de mesures aéropalynologiques en Suisse. Sous son impulsion, et avec la collaboration de nombreux médecins, des capteurs de type Hirst (de marque Burkard) sont installés d'abord à Bâle en 1969 (Leuschner 1974), puis à Davos en 1972, Genève en 1979 et Zurich en 1981, où des analyses avaient déjà été effectuées par Helbling (1983) de 1977 à 1979 à l'aide d'un capteur selon Cour (1974). L'activité de Leuschner va associer notre pays au développement de l'aérobiologie dans le monde: elle sera en 1974 l'un des membres fondateurs de l'Association internationale d'aérobiologie (IAA), et l'auteur de multiples publications importantes, dont la liste (non définitive!) est donnée dans Leuschner et Jenkins (1996).

C'est en 1983 qu'est fondé par les Dr. R.M. Leuschner, Prof. G. Boehm, Dr. F. Wortmann et Prof. B. Wüthrich le Groupe suisse de travail en aérobiologie (GSTA), dans le but de coordonner les travaux réalisés dans notre pays (Jaeger 1983) et de développer le réseau de mesures (voir Table 1.1). Pluridisciplinaire, le GSTA s'occupera également de la mise en place d'un système d'information à large échelle, publiant en particulier des bulletins polliniques réguliers dans les médias.

Un autre pilier de ce groupe sera Annie G. Peeters. Après quelques années à Bâle, elle va en 1987 prendre en charge la station de Zurich. Ses recherches seront surtout consacrées au transport du pollen dans les Alpes (Peeters 1986, Peeters et Zoller 1988, Peeters et al. 1994). C'est à son initiative que le GSTA publie dès 1988 un rapport annuel "Pollens aériens en Suisse" (Peeters 1988). Le réseau compte alors 12 stations de mesures, analysées par R.M. Leuschner (Bâle), A.G. Peeters (Zurich), L. Wick (Berne), R. Andematten (Münsterlingen), également auteur d'un "atlas des pneumallergènes naturels" (1991), et le groupe de Neuchâtel (voir ci-dessous).

Les activités du GSTA sont résumées dans Leuschner (1989), Gassner (1990) et Huber (1993). Son principal succès sera d'avoir assuré la pérennité des analyses polliniques en Suisse, en obtenant la reconnaissance des travaux effectués et la prise en charge par la Confédération du réseau national de mesure du pollen (NAPOL), confié en 1992 à l'Institut Suisse de Météorologie (groupe de biométéorologie) sous la direction du Dr Claudio Defila. Le GSTA deviendra en 1993 la Société suisse d'aérobiologie (SSA): en plus des pollens, la SSA va s'intéresser en particulier à trois thèmes: spores de champignons, allergies dans les bâtiments (surtout acariens et spores), particules de latex.

Ce rapide panorama de l'aérobiologie en Suisse serait très incomplet si nous omettions de citer deux études multidisciplinaires financées par le Fonds national et qui ont eu un écho international, SAPALDIA (Swiss study on air pollution and Lung diseases in Adults) (Leuenberger et al. 1998) et SCARPOL (Swiss study on childhood allergy and respiratory symptoms with respect to air pollution, climate and pollen) (Braun-Fahrländer et al. 1997), ainsi que les travaux effectués à L'Ecole polytechnique fédérale de Zurich dans le groupe du Prof. H.U. Wanner (par exemple Schäppi 1996, Schäppi et al. 1996, Monn et al. 1995).

## Neuchâtel

Une première mention du rhume des foins dans le canton est due à Cornaz en 1860. Il associe cette maladie à la floraison des graminées - sans pour autant faire le lien avec le pollen présent dans l'air. Ses observations concernant les relations entre allergie et mode de vie restent d'une grande actualité (voir par exemple Leuenberger et al. 1998, Fritsch et al. 1994).

Les premières analyses aérobiologiques dans le canton ont eu lieu en 1979 à l'initiative du Dr. Milan Jakus, allergologue, qui juge les données polliniques indispensables à l'exercice de sa profession (Jakus 1987). Il s'est adressé au Prof. Claude Favarger pour lui demander si l'Institut de Botanique de l'Université pouvait se charger de telles mesures, et a reçu son appui enthousiaste. Le travail a été confié à Gino Müller, qui s'est formé à Bâle auprès du Dr. Leuschner. Le capteur Burkard a été installé sur le toit de l'Institut de chimie, au Mail, et son successeur y est toujours en fonction aujourd'hui. Le Dr. Jakus et le Prof. Favarger ont obtenu dès 1981 le soutien financier de l'Etat pour le service d'analyses aérobiologiques.

Au début de 1980, Gino Müller est engagé à Lausanne, et Alexandre Buttler lui succède. Ce dernier trace les principaux axes de travail de l'aérobiologie neuchâteloise: diffusion des résultats pour les médecins, diffusion d'informations pour le public, recherche. Dès 1981, il commence l'analyse de spores de champignons connues pour être allergisantes. En 1982, la publication hebdomadaire des résultats dans la Feuille d'Avis et le Bulletin officiel est instituée. Dès 1983, succès et régularité de la diffusion des résultats oblige, le travail est désormais partagé entre deux personnes, afin d'assurer une permanence au cours de la saison pollinique (de début février à octobre). Dès la création du GSTA, la coordination avec ce groupe est assurée par le Dr Jakus, et les résultats de la station neuchâteloise diffusés à l'échelon national.

Alexandre Buttler présente un poster lors du 150ème anniversaire de la Société neuchâteloise des sciences naturelles en 1982, un article dans le bulletin d'information de l'Université (Buttler 1984), et participe avec Martine Girard au 3ème congrès international d'aérobiologie à Bâle par la présentation d'un poster, qui donnera lieu à une publication (Buttler et Girard 1986 a et b). En 1984, il réalise en première suisse l'informatisation du traitement des données.

Depuis cette même année 1984, après la retraite du Prof. Favarger, c'est son successeur et l'un des auteurs du présent article, le Prof. Philippe Küpfer, qui assumera la direction du projet et assurera sa pérennité. L'année 1986 voit les premières mesures effectuées à La Chaux-de-Fonds, de mi-juin à mi-juillet sur le toit de la clinique des Forges. En 1987, 3 mois d'analyses sont effectués dans la ville du Haut du canton par le second auteur de cette rétrospective, qui a ainsi débuté sa carrière en aérobiologie. L'étude comparée des analyses à Neuchâtel et à La Chaux-de-Fonds se révèle très intéressante, et met en évidence les différences de climat et de végétation entre les deux villes, ainsi que des phénomènes de transport du pollen à moyenne distance (voir à ce sujet le rapport publié chaque année dans le Bulletin SNSN depuis le tome 114 - Clot 1991).

A la fin de 1987, Alexandre Buttler et Martine Felber-Girard partent en stage à l'étranger: c'est alors que nous prenons en charge la responsabilité du service. Nos premières recherches vont concerner l'étude du rythme circadien (Jakus et Clot 1988).

Dès 1988, le capteur de La Chaux-de-Fonds est installé sur le toit de l'Hôpital de la Ville. En 1989, la publication dans le Bulletin officiel est abandonnée à cause de délais de rédaction trop longs, mais remplacée par un bulletin dans l'Impartial publié le lendemain déjà de l'analyse des données. Mettre les informations utiles à disposition du plus grand nombre dans le délai le plus court possible est toujours un défi, en particulier lorsque l'on connaît la difficulté et le temps requis pour les

analyses palynologiques. A partir de cette même année, le capteur du Haut du canton fonctionne toute la saison. Dès 1990, l'Impartial et l'Express publient chaque semaine les bulletins polliniques. De nombreux articles de vulgarisation et d'information paraissent dans la presse (Clot et Küpfer 1990). C'est la première publication des résultats neuchâtelois dans le Bulletin des Sciences Naturelles (Clot 1991), devenue une tradition depuis. L'année suivante, les résultats de Neuchâtel sont repris dans une publication européenne de synthèse (Jäger et Mandrioli 1991). Depuis 1993, ils sont également mis à disposition du Réseau européen des allergènes de l'air (EAN), une banque de données située à Vienne.

Comme nous l'avons dit plus haut, en 1992 le Conseil Fédéral confie à l'Institut Suisse de Météorologie (ISM) le mandat de gérer un réseau suisse d'analyse du pollen, qui doit reprendre les stations d'analyse du GSTA dès 1993. La tâche de coordination est confiée au Dr. Thomas Frei, qui prend contact avec les différentes personnes actives dans ce domaine dans notre pays: la centralisation des analyses est prévue à Zurich, siège de l'ISM. Cette proposition ne satisfait pas les auteurs du présent article, qui soumettent à la direction de l'ISM un projet de décentralisation du service entre Zurich et Neuchâtel. Grâce à l'expérience acquise et à la qualité du travail accompli par le groupe neuchâtelois, ainsi qu'à un contexte politique favorable, la moitié des stations analysées en Suisse sont confiées à la responsabilité d'un petit groupe (un palynologue et deux laborantines à temps partiel) engagé par l'ISM au sein du Laboratoire de Phanérogamie. C'est un grand succès pour l'aérobiologie neuchâteloise, qui va pouvoir poursuivre son développement. La collaboration est très active entre les deux centres d'analyse de Zurich et Neuchâtel (Peeters et al. 1996). Le réseau est étendu, la distribution de l'information est revue et développée. Les participations à des congrès, les conférences, les articles scientifiques et de vulgarisation se multiplient, mais il s'agit déjà là d'une autre histoire...

Pour la part neuchâteloise, mentionnons que l'intérêt pour les spores fongiques de l'air s'est concrétisé par la tenue à Neuchâtel de deux colloques scientifiques en 1994 et 1996 (Clot et al. 1995, Clot et al. 1998) en collaboration avec la SSA, la Société Mycologique Suisse (SMS) et le Laboratoire de microbiologie de notre Université. Les recherches se sont développées dans le domaine de la prévision de la saison pollinique des graminées et du bouleau (Clot 1998, Clot 1999), et en collaboration avec des allergologues (Corthay et al. 1996, Gumowski et al. 1999). La publication annuelle des résultats pour notre pays s'est également poursuivie depuis 1993 (Peeters et al. 1994). Le groupe neuchâtelois est représenté depuis l'an passé au sein du Comité de la SSA et du Conseil de l'Association Internationale d'Aérobiologie par Bernard Clot.

L'avenir (à moyen ou plus long terme) se dessine dans de nouveaux projets concernant l'analyse automatique des pollens et la distribution des informations en temps réel, l'amélioration de la prévision et la modélisation du "vol" des pollens, le développement d'un réseau d'analyse des spores de champignons, et la diffusion toujours plus large des informations concernant pollens et allergies. Ce problème de santé publique concerne en effet une personne sur 8 en Suisse, et cette prévalence est en augmentation, d'où l'intérêt que nous avons porté au développement de ces projets.

Table 1.1. Analyses polliniques effectuées en Suisse à l'aide d'un capteur volumétrique

Station	début	fin	remarques *
Bâle (BS)	1969	se poursuit	
Bâle - capteur au sol (BS)	1988	se poursuit	R. M. Leuschner
Berne (BE)	1987	se poursuit	
Buchs (SG)	1984	se poursuit	
La Chaux-de-Fonds (NE)	1986	se poursuit	
Davos (GR)	1972	se poursuit	
Genève (GE)	1979	1984	
Genève (GE)	1989	se poursuit	
Lausanne (VD)	1997	se poursuit	
Locarno (TI)	1989	se poursuit	
Lugano (TI)	1983	1988	
Lugano (TI)	1991	se poursuit	
Lucerne (LU)	1989	se poursuit	
Münsterlingen (TG)	1984	se poursuit	
Neuchâtel (NE)	1979	se poursuit	
Payerne (VD)	1991	se poursuit	
Viège (VS)	1988	se poursuit	
Zurich (ZH)	1981	se poursuit	
Bienne (BE)	1993	1993	SCARPOL
Gütsch (UR)	1994	1995	ISM
Langnau (BE)	1993	1993	SCARPOL
Montana (VS)	1991	1993	SAPALDIA
Nyon (VD)	1984	1991	R. M. Leuschner
Samedan (GR)	1983	1988	A. G. Peeters
Suhr (AG)	1991	1993	SAPALDIA
Wald (ZH)	1991	1993	SAPALDIA
Wiesen (GR)	1991	1993	

\* SCARPOL Swiss Study Childhood Allergy and Respiratory Symptoms with Respect to Air Pollution and Climate; ISM ancien nom de MétéoSuisse; SAPALDIA Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults.

### **1.6.2 Quelques éléments récents**

Depuis la parution de l'article ci-dessus, quelques éléments importants de l'activité du Réseau national de mesure du pollen (NAPOL) méritent d'être soulignés. Ce réseau fonctionne donc depuis le premier janvier 1993. Son antenne romande est restée à Neuchâtel jusqu'en 2001 avant d'être déplacée à la station aérologique de Payerne suite à une réorganisation interne de L'Office fédéral de météorologie et de climatologie – MétéoSuisse, auquel le réseau est rattaché.

En 1993, lorsque le Réseau national suisse de mesure du pollen entre en fonction et hérite des stations de mesures des mains des membres du GSTA, le travail des aéropalynologues consiste avant tout à effectuer les analyses polliniques et à délivrer les données aux médecins allergologues. Il s'agit de structurer le réseau, de standardiser les méthodes et de former le personnel de laboratoire. Le temps qui peut être consacré à la recherche est limité. Les bulletins d'information sont rétrospectifs : distribués en milieu de semaine, ils présentent la situation mesurée la semaine précédente. Ce délai est dû à la méthode de mesure (voir chap. 2). C'est pour pallier à ces inconvénients que des méthodes de prévision sont développées (voir chapitres 1.4 et 3). Les thèmes du changement climatique (chapitre 4), des nouvelles techniques de mesures du pollen et des allergènes (abordées au chapitre 2) et de la lutte contre l'ambrosie (chapitre 5) ont fait l'objet d'une attention particulière pendant cette période, avec des travaux qui ont tous été à l'avant-garde dans leur domaine.

La collaboration entre les deux stations aéropalynologiques de Zurich et de Neuchâtel/Payerne a été fructueuse et a permis le développement de nombreux projets. Le groupe s'est parfaitement intégré aux activités de recherche et d'enseignement en aérobiologie (projets suisses et européen, revues d'articles et de projets, cours internationaux d'aérobiologie, 2 projets SCOPES avec les pays balkaniques, co-organisation du 1st Balkan Aerobiological Workshop, 24-25 January 2005, Tirana, Albania) ainsi qu'aux institutions internationales (membre du conseil, puis du Comité exécutif de l'Association Internationale d'aérobiologie). La qualité de ses travaux est reconnue, puisque deux de ses collaborateurs ont vu leurs travaux primés lors des 7<sup>ème</sup> et 8<sup>ème</sup> Congrès internationaux en 2002 (meilleure présentation orale) et 2006 (meilleur poster).

La collaboration est également interdisciplinaire, comme en témoigne la parution en 2003 du livre "Plantes, pollen, allergies" (Felber F, Clot B, Leimgruber A, Spertini F (Eds). 2003. Plantes, pollen, allergies. Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208pp.), réalisé en collaboration entre botanistes, aérobiologistes et médecins. Le point culminant des activités du réseau NAPOL à ce jour a certainement été l'organisation du 8<sup>ème</sup> Congrès international d'aérobiologie du 21 au 25 août 2006 à Neuchâtel, précédé du cours d'aérobiologie avancée ("Pollen dispersal in an Alpine environment", du 14 au 19 août).

Les observations aéropalynologiques trouvent toute leur utilité dans leur large diffusion. Parallèlement aux travaux décrits ci-dessus, de nombreuses activités de vulgarisation ont été développées (dont la participation au festival Science et Cité et la création d'un jardin phénologique et aéropalynologique à Payerne). Une présence accrue dans les médias est à souligner.

## **2. LA MESURE DU POLLEN DE L'AIR**

## 2.1 Mesures et données

### Capteur

De nombreuses méthodes ont été développées pour effectuer des mesures aérobiologiques, chacune possédant ses caractéristiques, ses applications, ses avantages et aussi ses inconvénients. La plus simple est basée sur la sédimentation des particules (capteurs passifs, le plus connu est le capteur de Durham). Une autre consiste à intercepter dans des tissus placés sur un cadre vertical les particules transportées par le vent (capteur Cour). Des systèmes actifs ont été développés dans le but de déterminer la concentration des particules dans l'atmosphère (capteurs volumétriques). Les capteurs rotatifs provoquent la collision des particules sur une surface collante placée sur un bras en rotation. Une autre technique consiste à aspirer de l'air puis à en extraire les particules, par collision, par rétention dans un liquide, ou par dépôt par effet cyclone. Ces différentes méthodes sont décrites en détails dans l'ouvrage de référence sur les méthodes en aérobiologie de Mandrioli, Comtois et Levizzani (1998).

Figure 2.1. Capteur de type Hirst (marque Burkard). La girouette permet de garder la fente d'aspiration face au vent.



Les capteurs volumétriques de type Hirst (Fig. 2.1), du nom de leur inventeur (Hirst 1952), ont été adoptés comme standard par la grande majorité des réseaux de mesure du pollen dans le monde. C'est au moyen de ce type de capteurs que les données traitées dans cette thèse ont été récoltées, pour deux raisons principales : la première est historique, c'est ce type de capteur qui avait été installé dans les stations de mesures et dont les données à long terme étaient disponibles pour nos travaux ; la seconde est pratique, ces capteurs sont toujours utilisés comme standard. Il n'existe à ce jour pas vraiment d'alternative permettant d'obtenir des données équivalentes : volumétriques, en continu et avec une bonne définition temporelle. En effet, les capteurs Hirst se prêtent bien à une mesure en continu avec un minimum de maintenance sur le site. Ils doivent être alimentés en 220V (certains modèles récents peuvent être alimentés par des panneaux solaires), ce qui n'est pas un obstacle dans beaucoup de situations. Ils permettent la capture efficace des particules plus grandes que 5-7  $\mu\text{m}$  (donc typiquement du pollen) pendant 7 jours avec une résolution temporelle de deux heures (la limite de résolution temporelle correspond au double du temps pendant lequel la bande

collante est, dans le capteur, exposée au flux d'air). L'air est aspiré au travers d'une fente de 2 x 14 mm à un débit de 10 litres par minute qui correspond à celui d'une respiration humaine au repos. Derrière la fente d'aspiration tourne lentement un cylindre sur la surface duquel est fixée une bande transparente et collante (Fig. 2.2). C'est sur cette bande que les particules présentes dans l'air viennent s'impacter par inertie et où elles restent collées. Le cylindre est échangé une fois par semaine. Au laboratoire, la bande est séparée du cylindre et découpée en morceaux correspondant à 24 heures et montée entre lame et lamelle. Ces préparations sont ensuite analysées au microscope : les grains de pollen sont reconnus des autres particules, identifiés et comptés (Fig. 2.3). Le nombre de grains de pollen est rapporté au volume d'air aspiré par le capteur et à la surface examinée sous le microscope : les résultats expriment ainsi la concentration moyenne de chaque type de pollen en nombre de grains par mètre cube d'air, pour la durée de mesure considérée : habituellement, les données sont exprimées par jour (24 heures), donc sous forme de la concentration journalière moyenne.

Figure 2.2. Coupe du capteur Hirst, laissant voir le cylindre portant la bande collante derrière la buse d'aspiration. Le flux d'air est marqué par des flèches rouges. Le cylindre tourne pour permettre la mesure en continu (2mm par heure).

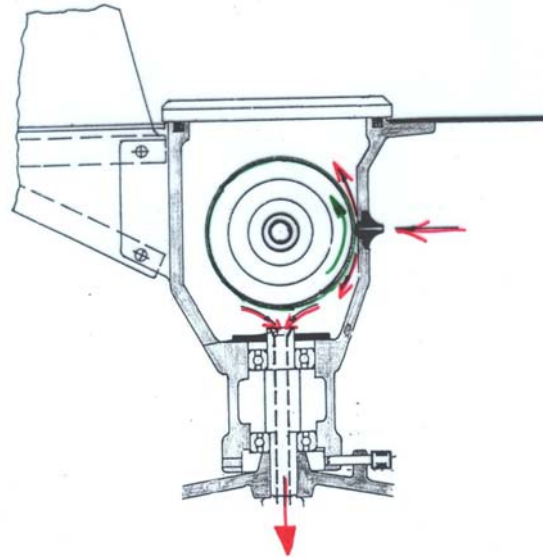


Figure 2.3. Résultat de mesures avec un capteur Hirst : sur la bande collante vue au microscope, on reconnaît diverses spores (\*), un grain de pollen d'armoise (A) et d'autres particules.



Cette méthode, comparée à d'autres, présentes plusieurs avantages : la maintenance sur le capteur demande à peine quelques minutes une fois par semaine, la préparation des échantillons en laboratoire est simple, la mesure est continue et la résolution temporelle fine permet une analyse détaillée de la variation de concentration du pollen dans l'air. Elle requiert par contre beaucoup de temps et un personnel qualifié pour les analyses au microscope, est donc coûteuse et ne permet de disposer des résultats qu'avec un certain retard : si le cylindre peut être relevé chaque jour sur le lieu des analyses, il ne peut l'être qu'une fois par semaine dans les stations plus éloignées. Ses avantages et l'absence d'alternative valable font que cette méthode est de nos jours encore le standard international en la matière.

### **Position du capteur**

Les capteurs sont le plus souvent situés dans ou aux abords des villes, là où le plus grand nombre de personnes souffrent d'allergies. Historiquement, leur emplacement a souvent été choisi pour des raisons pratiques d'accessibilité et d'installation, mais pas avant tout selon des critères d'homogénéité de la mesure. Depuis, en grande partie pour favoriser les séries continues, ces emplacements sont restés les mêmes. Les capteurs sont généralement placés sur des bâtiments, dans une situation dégagée, hors de l'influence de la végétation environnante. La hauteur sur sol recommandée se situe entre 15 et 20 mètres. La mesure est ainsi effectuée dans un air bien mélangé et se veut la plus représentative possible de la situation pollinique dans un rayon plus large. Il est clair que, fondamentalement, la mesure effectuée n'est représentative que de la situation au point de mesure même (Alcazar et Comtois 2000). Cependant, des études au moyen de plusieurs capteurs ont montré que dans certaines situations favorables (par exemple topographie peu marquée, répartition relativement homogène de la végétation source de pollen), un capteur peut être représentatif dans un rayon de l'ordre de 50 km (Fornaciari et al. 1996, Frenz et al. 1997, Mitakakis et al. 2000, Katelaris et al. 2004). Ces mesures ne fournissent bien sûr pas le degré d'exposition des personnes au niveau du sol au cours de leurs déplacements à plus ou moins grande distance des sources de pollen, mais donnent une bonne idée du risque d'allergie dans une région.

### **Sources d'erreur**

On ne possède pas assez d'informations sur les caractéristiques du capteur Hirst afin de calculer l'erreur de mesure. Par exemple, on ne connaît pas précisément le rendement de capture des particules en fonction de leur taille, ni en fonction de la vitesse du vent, deux éléments qui permettraient d'apporter des corrections importantes aux données brutes recueillies (Fernandez-Sevilla et al. 2006). Le débit aspiré étant vérifié chaque semaine lors du changement de cylindre, on peut le considérer comme constant. Cependant, une éventuelle erreur systématique serait à prendre en compte lors de comparaisons entre capteur. De plus, aucune correction n'est apportée aux données en fonction de la variation de la densité de l'air (pression atmosphérique) ; ce serait particulièrement important lors de comparaisons altitudinales.

Afin d'assurer autant que possible l'homogénéité des données et la possibilité de les comparer entre les différents sites de mesures, les méthodes de laboratoire (préparation des cylindres et des lames, comptages, etc.) ont été partiellement standardisées (Ogden et al. 1974, Grant Smith 1990, The British Aerobiology Federation 1995, Mandrioli et al. 1998, Winkler et al. 2001). L'importance de l'adhésif utilisé et la qualité de son imprégnation sur la bande ont été soulignées (Galan et Dominguez 1997, Alcazar et Comtois 1999). C'est surtout l'analyse des préparations au microscope qui est source importante d'erreurs : comme le comptage sur toute la surface de la préparation prendrait beaucoup trop de temps, la surface balayée doit être assez importante pour que l'échantillon soit représentatif (Tormo Molina et al. 1996, Comtois et al. 1999, Irdi et al. 2002). L'erreur due à l'analyste est également importante. En Suisse, pour minimiser cette erreur, les analyses ont été centralisées : les analystes sont ainsi bien formés, expérimentés et le travail en

commun permet un contrôle et une aide réciproque qui diminuent les différences dues à l'observateur.

Puisque tous les paramètres nécessaires ne sont pas à disposition, il est difficile de calculer l'erreur de mesure. Certains auteurs cherchent à en fournir une estimation en comparant les mesures de plusieurs instruments placés côte à côte ou dans des situations proches (Cage et al. 1996, Trigo et al. 2000). Comtois et Kuehne (2006) ont récemment proposé une table de probabilité pour les données aérobiologiques.

Malgré les sources d'erreurs possibles dans les mesures, on constate l'utilité et le grand pouvoir explicatif des données aérobiologiques. Lorsqu'on compare les incertitudes en aérobiologie avec celles d'autres sciences qui paraissent beaucoup plus formalisées et pour lesquelles les techniques sont beaucoup plus récentes, on s'aperçoit que les aérobiologistes n'ont aucunement à rougir de leurs méthodes, même si elles sont largement perfectibles. En particulier, si les techniques de mesures utilisées par les aérobiologistes n'ont pas (encore) suivi l'évolution technologique rapide observée dans d'autres domaines, les séries de mesures n'ont pu qu'y gagner en homogénéité.

### **Risque d'exposition**

Depuis Blackley (1873), la relation avait été établie entre le pollen et l'allergie. Cependant, la nature exacte des allergènes est restée longtemps inconnue. L'étude du pollen comme particules porteuse d'allergène s'est donc développée avec succès. Les corrélations entre présence de pollen dans l'air et symptômes de pollinoses ont été vérifiées de multiples fois au cours du vingtième siècle (Morrow Brown 1992, Huynen et al. 2003). Actuellement, en l'absence de méthode utilisable en routine et à grande échelle pour mesurer les allergènes de l'air, ce sont toujours les grains de pollen (ou les spores) qui sont dénombrés pour estimer la présence d'allergènes dans l'air.

L'apparition ou l'intensité des symptômes d'une allergie sont le plus souvent mis en relation avec les concentrations journalières moyennes de pollen dans l'air. Cela correspond bien au type de données que les médecins peuvent récolter auprès de leurs patients, par exemple à l'aide de calendriers des symptômes comme en a édité la Société Suisse d'Aérobiologie. Cependant, une brève exposition à l'allergène peut suffire à déclencher ces symptômes. C'est pourquoi les données à des échelles de temps plus courtes (2 heures, la limite de détection des capteurs Hirst) ont été utiles pour les études du rythme journalier (voir chapitre 3) ou de phénomènes de transport du pollen (dont un exemple sera traité au chapitre 5).

Afin de mettre en relation symptômes d'une allergie et exposition au pollen de l'air, différentes grandeurs sont utilisées pour exprimer l'intensité de la pollinisation au cours d'une année (ou d'une saison, ce qui revient au même dans les zones climatiques où il n'y a qu'une saison de végétation par année). Celle-ci est souvent caractérisée par

- la concentration journalière la plus élevée au cours d'une saison (pic de concentration),
- l'indice annuel (ou saisonnier), qui correspond à la somme des concentrations journalières moyennes, grandeur sans unités (Comtois 1998),
- le nombre de jours où un certain seuil de concentration - devant correspondre à l'apparition des symptômes de la pollinose chez les personnes sensibilisées - est atteint pour un type de pollen donné.

La concentration moyenne au cours d'une saison est plus rarement utilisée. La durée d'exposition (début et fin de la présence de pollen dans l'air) est également un élément important (cf. chapitre 3).

## 2.2 Réseau de mesures

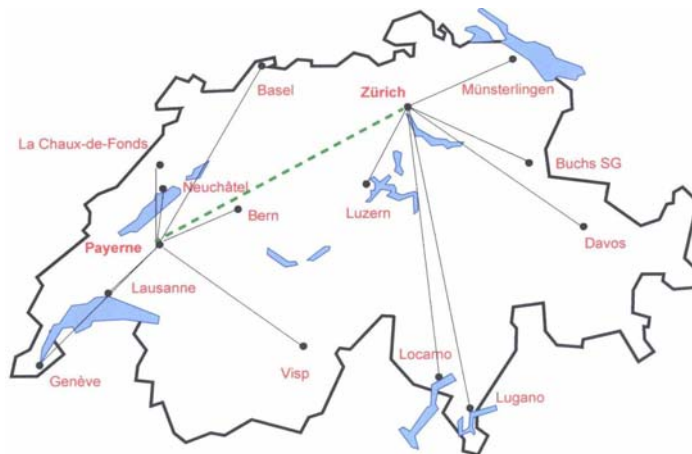
A partir des années 1950, avec la mise sur le marché du capteur de Hirst, des mesures régulières et continues du pollen et des spores de l'air ont été effectuées dans plusieurs pays, mais ce n'est que graduellement et surtout après la fin des années 1970 que l'augmentation de la prévalence des pollinoses dans tous les pays industrialisés a justifié le développement de véritables réseaux nationaux de mesure. La plupart d'entre eux sont même postérieurs à 1990. L'Europe possède actuellement la plus grande densité de capteurs au monde, bien que toutes les régions ne soient pas couvertes de façon égale. Ces réseaux sont liés au sein de l'European Aeroallergen Network EAN ([www.polleninfo.org](http://www.polleninfo.org)).

### Le réseau national suisse de mesure du pollen

Le réseau national de mesure du pollen (napol) est l'un des nombreux réseaux de mesures entretenus par MétéoSuisse. Il compte 14 stations pour deux centres d'analyses, Zurich et Payerne. Ces stations tiennent compte des importantes variations régionales de climat, d'altitude et de végétation de notre pays.

La figure 2.4 présente l'emplacement et les caractéristiques des quatorze stations du réseau napol. Ces stations sont décrites dans le tableau 2.1, qui mentionne seulement les plantes allergisantes abondantes dans l'environnement proche du capteur.

Figure 2.4. Le réseau national suisse de mesure du pollen de MétéoSuisse.



Les méthodes utilisées dans le réseau suisse sont précisées dans Peeters et al. 2002. L'adhésif utilisé pour les bandes, la vaseline, a été remplacé par le silicone, plus stable à la chaleur et autorisant une lecture plus facile des préparations microscopiques, à la fin des années 1990 pour les stations de l'ouest de la Suisse et en 2006 pour les stations de l'est. Pour les analyses de routine et la production des bulletins, ce sont 2 lignes longitudinales (d'une largeur de 250 µm) qui sont analysées. Pour les aspects de recherche et les publications 4 lignes sont analysées : elles représentent le minimum recommandé par Comtois et al. (1999).

Les données des stations fournissant les plus longues séries de données du Plateau Suisse - Bâle, Neuchâtel, Genève, Zurich - ont été utilisées dans le présent travail. Elles se veulent représentatives de la situation pollinique dans différentes régions bio-climatiques du Plateau. Chaque chapitre (publication) précise quelles données ont été utilisées.

Tableau 2.1. Liste des stations de mesures du pollen du réseau national suisse.

Lieu (coordonnées)	Altitude	Hauteur sur sol	Type de station	Situation. Environnement. Plantes allergisantes à proximité.
Bâle (610.8/268.0)	273 m	33 m	Centre ville	Hôpital cantonal de Bâle, clinique I, aile est. Jardin de l'hôpital. Noisetier, chêne, bouleau.
Berne (598.6/199.5)	560 m	20 m	Centre ville	Hôpital de l'île, maison du personnel. Centre ville, jardins; bouleau, frêne, chêne.
Buchs SG (754.2/226.7)	445 m	12 m	Campagne	Nouveau technicum. Bord de routes, prés, champs. Noisetier, aune, bouleau, frêne, armoises.
La Chaux-de-Fonds (554.0/218.2)	1040 m	23 m	Limite d'agglomération	Hôpital de La Chaux-de-Fonds. Bâtiment principal. Bouleau et frêne, proche des pâturages (graminées).
Davos (784.3/189.2)	1600 m	15 m	Montagne	Clinique d'altitude de Davos-Wolfgang. Bouleau dans le parc de la clinique. Pâturages.
Genève (500.5/116.5)	380 m	42 m	Centre-ville	Hôpital Universitaire de Genève. Noisetier, Bouleau et frêne.
Lausanne (538.9/152.9)	570 m	30 m	Centre-ville	Centre Hospitalier Universitaire de Lausanne. Bâtiment principal. Noisetier, bouleau, chêne.
Locarno – Monti (704.1/114.3)	366 m	16 m	Agglomération	Bâtiments de MétéoSuisse. Hangar au Monti della Trinità. Bouleau et noisetier.
Lugano (717.9/95.9)	273 m	24 m	Centre ville, env. 100 m du lac	Bibliothèque cantonale, Parco Civico. Noisetier, bouleau, frêne, châtaignier, olivier.
Lucerne (665.2/212.2)	460 m	34 m	Centre ville	Hôpital cantonal. Bords de routes et espaces verts.
Münsterlingen (735.2/277.1)	410 m	12 m	Campagne, env. 300 m du lac	Hôpital cantonal, aile est du nouveau bâtiment. Noisetier, aune, bouleau, frêne.
Neuchâtel (562.8/205.6)	490 m	18 m	Centre ville	Université de Neuchâtel, Institut de Chimie. Noisetier et chêne.
Viège (634.2/126.8)	650 m	20 m	Centre ville	immeuble sur la route cantonale. Industrie chimie dans les environs. Bouleau.
Zurich (685.1/248.1)	556 m	15 m	Centre ville	Bâtiment de MétéoSuisse sur le Zürichberg. Noisetier, bouleau, frêne.

### **3. PREVISION SAISONNIERE**

### 3.1 Saison pollinique et prévision : introduction

La présence de pollen dans l'air peut-être considérée et traitée comme une phase phénologique, puisqu'elle correspond en grande partie à la floraison des taxons anémogames. Cependant, plusieurs éléments font que la présence de pollen dans l'air ne recouvre pas toujours la floraison locale. D'une part, le pollen mesuré peut ne représenter que partiellement la floraison locale ou régionale d'un taxon (sous-détection). Il faut que le pollen soit présent dans l'air assez régulièrement et en abondance suffisante pour être détecté par les capteurs de façon systématique et non au hasard du transport de petits nuages de pollen par le vent. Cela implique que les plantes sources de ce pollen soient suffisamment abondantes et leur répartition relativement égale dans la région entourant le capteur. D'autre part, ce qui est fréquent pour les taxons abondants, du pollen provenant de sources éloignées peut être enregistré dans un capteur avant ou après la floraison des populations locales, prolongeant d'autant la présence du pollen dans l'air, ou s'ajouter au pollen des sources locales pendant la floraison. Enfin, le pollen d'une plante anémogame répandue peut être peu présent dans l'air en raison de conditions météorologiques particulières pendant une partie ou l'entier de la floraison.

#### Saison pollinique

La saison pollinique n'a pas reçu de définition claire et univoque. On parle généralement d'une saison pollinique comme la période de l'année pendant laquelle du pollen d'un taxon considéré est présent dans l'air de façon régulière; ce pollen devrait être assez abondant pour qu'on puisse distinguer une phase d'augmentation des concentrations (pre-peak), une phase de maximum (peak period) ou période principale de pollinisation (main pollination period), puis une phase de diminution (post-peak). Les concentrations de pollen dans l'air étant, comme beaucoup d'autres éléments dans la nature, sujettes à de fortes variations, on peut observer de nombreux cas limites à cette définition. Dans la pratique, cela implique un indice pollinique annuel au moins supérieur à 200-250; en-dessous de cette limite, la caractérisation d'une saison devient assez aléatoire et, si l'on peut signaler qualitativement la floraison d'un taxon, son étude aérobiologique (par les méthodes qui sont les nôtres) a de fortes chances d'être difficile. Dans le cas où il n'y a pas de populations locales de plantes, et même si du pollen est enregistré avec une certaine abondance, cela fait peu de sens de parler de saison pollinique, puisque le vent n'amène pas toujours du pollen dans la direction du capteur. De préférence, on parlera alors d'épisodes de transport de pollen.

Plusieurs paramètres sont fréquemment utilisés pour caractériser une saison pollinique : son début, sa fin, sa durée, son intensité, la hauteur de son maximum de concentration (pic). L'intensité d'une saison pollinique est le plus souvent mesurée par l'indice pollinique saisonnier (seasonal pollen index), mais selon le but de l'étude, d'autres grandeurs sont également utilisées, comme l'intensité moyenne (concentration moyenne sur la période considérée) ou le nombre de jours où la concentration journalière moyenne a dépassé un certain seuil. La hauteur du pic est classiquement la concentration journalière maximale mesurée. La définition du début et de la fin de la saison varie beaucoup selon les auteurs et les études, rendant ces dernières souvent difficilement comparables (voir les références des chapitres 7.1, 7.2 et 7.4). On peut les classer en deux grandes catégories : définitions relatives à l'abondance de la saison pollinique, en % de l'indice saisonnier, et définitions relatives à un seuil, journalier ou cumulatif, ou un nombre de jours de détection (resp. non détection) du pollen. Diverses combinaisons de ces définitions ont aussi été utilisées. S'il est difficile de leur attribuer une valeur absolue, certaines sont plus appropriées pour certains buts : ainsi, une définition relative à l'abondance de la saison pollinique ne sera par exemple pas très utile pour mettre au point un modèle de prévision, l'abondance elle-même étant très difficile à prévoir. Elle n'aura pas non plus de sens pour la prévision du risque d'allergie, puisque le seuil d'exposition serait chaque fois différent.

Aux chapitres 3.2 et 3.3, nous avons privilégié une définition du début de la saison qui tienne compte des buts de l'étude, à savoir prévoir le risque d'apparition de symptômes allergiques chez

des personnes sensibilisées. Au chapitre 4.3, pour l'étude des tendances, nous rappelons les résultats d'une pré-étude qui montrait que les définitions du début et de la fin de la saison avaient peu d'influence sur la tendance elle-même. Cependant, le 1% de l'indice saisonnier est très variable et peu fiable, car pour les taxons (ou les années) de faible abondance, quelques grains de pollen issus du transport à longue distance ou de quelques plantes particulièrement bien exposées peuvent faire office d'attracteurs sur la valeur de la date, sans qu'il y ait de début réel de la saison (nombreux jours suivants sans pollen). En raison de la diminution souvent lente et progressive des concentrations de pollen dans l'air en fin de saison, la fixation d'une limite pour la caractériser semble encore plus artificielle que pour le début. De plus, dans les études épidémiologiques sur les allergies, très peu d'études ont été réalisées sur le moment et la cause de la cessation des symptômes. Il est vrai que le plus souvent la disparition des symptômes intervient grâce à la médication et que le nombre de personnes souffrant d'allergies qui accepteraient de servir de test biologique pour établir la durée de la saison pollinique ne doit pas être très important...la dynamique de la réaction allergique au cours de la saison (priming, acquisition d'une certaine tolérance, surtout pour les saisons de longue durée comme celle des graminées) serait d'ailleurs difficile à prendre en considération dans une telle étude.

### **Buts**

Comme les prévisions à court terme (1 à 3 jours), la prévision du début de la saison pollinique sert la prévention des pollinoses. Avec et par cette prévision, diverses informations de prévention peuvent être communiquées au public, rendant les personnes allergiques attentives à consulter leur médecin ou à se munir de médicaments préventifs ou curatifs assez tôt, avant l'apparition d'une crise allergique probable lorsque les concentrations de pollen augmentent dans l'air. Les médecins également sont intéressés à cette information, qui leur permet de planifier plus précisément le rythme de la désensibilisation de leurs patients ou la prescription de médicaments. De même, les pharmaciens, qui font très souvent office de premier recours et de conseil au public, sont concernés par l'annonce de l'arrivée des premiers pollens d'un taxon allergisant. Nous avons concentré notre recherche sur la prévision du début des deux taxons les plus importants pour les allergies dans notre pays : les graminées et le bouleau, qui font l'objet des chapitres 3.2 à 3.5. La prévision de certains autres taxons peut s'avérer difficile, comme en témoignent par exemple les travaux de Peeters (1998) sur le frêne.

### **Méthodes**

Mis à part quelques travaux qui comparent statistiquement la situation météorologiques quelques semaines avant la floraison et la date de cette dernière, la plupart des auteurs utilisent une méthode classique en phénologie et en agronomie pour simuler le développement de la plante jusqu'à la floraison : le cumul des températures. En effet, en particulier pour les phases phénologiques printanières, la température joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (Defila 1991 ; Studer et al 2005). Il est, pour certaines espèces, utile d'y ajouter la vernalisation (chilling) afin de déterminer la date du début du cumul des températures. Il y a un autre avantage à utiliser les températures (moyenne, maximum, minimum journaliers) comme paramètres prédictifs, c'est que ce sont des valeurs qui sont relativement bien prévisibles par les modèles météorologiques, par exemple sous forme de prévisions mensuelles moyennes, ou journalières jusqu'à 10 jours à l'avance, alors que l'intensité des précipitations, par exemple, reste très difficile à prévoir même pour le lendemain.

Comme cela se pratique en agronomie, un modèle phénologique complet devrait tenir compte de la période de vernalisation afin de déterminer la date optimale pour commencer le cumul des températures, qui varie alors d'année en année. Ensuite, il faudrait tester différents cumuls : dans les deux cas présentés dans ce chapitre, nous avons cumulé les températures plus grande que zéro degré, mais les températures efficaces pour la croissance des plantes peuvent être différentes, par

exemple  $> 5^{\circ}\text{C}$ . De plus, il est parfois utilisé des fonctions non linéaires « d'efficacité » en fonction d'une température croissante, par exemple les températures comprises entre 0 et  $5^{\circ}\text{C}$  contribuent probablement peu au développement d'une plante, les températures entre 5 et  $10^{\circ}\text{C}$  probablement plus, et celles en-dessus de 10 encore plus, ceci jusqu'à un optimum au-delà duquel une augmentation supplémentaire de la température ralentira plutôt la croissance de la plante. Toutes ces valeurs et fonctions doivent être optimisées pour chaque espèce. Dans le cas des saisons polliniques, une approche statistique peut être tentée par itérations pour essayer de définir les paramètres optimaux, mais le manque d'information sur l'état réel du développement de la végétation aux différents moments (observations phénologiques abondantes dans le cas des plantes d'intérêt agronomique) rend la mise au point d'un modèle reproduisant au mieux les étapes de croissance et de développement assez aléatoire et très dépendant de la série de données à disposition. De plus, dans de nombreux cas, ces paramètres statistiques sont dépendants de la localisation de la station et ne peuvent être adaptés simplement pour des régions plus vastes (Calleja et al. 2004 ; Laaidi et Thibaudon 2003).

La qualité de la prévision du début de la saison dans le but de prévenir les manifestations allergiques se heurte à certaines limites. Tout d'abord en raison de l'échelle à laquelle nous pouvons travailler, avec un seul capteur par ville ; il n'est pas possible de déterminer le risque d'exposition dans chaque jardin en fonction de la composition floristique ou du micro-climat de celui-ci. Ensuite à cause de la variabilité naturelle dans la maturité des fleurs au sein de la même espèce : on voit fréquemment deux arbres (noisetiers (*Corylus avellana*) ou bouleaux (*Betula* sp.) par exemple) situés côte à côte dans les mêmes conditions environnementales dont l'un est en pleine floraison et l'autre avec des chatons encore totalement fermés. Ce même décalage s'observe chaque année et a très probablement une origine génétique. Finalement, le seuil de sensibilité des personnes allergiques est individuel et varie fortement, comme aussi le degré d'exposition à l'air extérieur et au pollen en relation à l'activité et la localisation de la personne. C'est grâce à des calendriers des symptômes remplis par les patients allergiques et des données fournies par des médecins et des hôpitaux que le seuil de concentration pollinique auquel le plus grand nombre de personnes commence à ressentir la manifestation de son allergie a pu être déterminé. Ce seuil varie parfois assez fortement selon les pays. Dans certains cas, simplement par tradition ou manque d'études suffisantes, dans d'autres parce que le niveau de sensibilisation d'une population varie en fonction du niveau moyen d'exposition au pollen.

Afin qu'une prévision, qui inévitablement présente une certaine marge d'erreur, soit utile et que les personnes à qui elle est destinée soit satisfaites, il est préférable que l'erreur éventuelle résulte en l'annonce d'une date un peu trop précoce plutôt que trop tardive.

## **3.2 Prévision de la saison du pollen des graminées (Poaceae)**

### **3.2.1 Publication :**

**Clot B. Forecast of the Poaceae pollination in Zurich and Basle (Switzerland). *Aerobiologia* 14: 267-268 (1998), *texte en anglais au chapitre 7.1.***

Ce premier travail a eu pour but de répondre à une question importante pour les allergologues et les personnes allergiques : quand va commencer la saison du rhume des foins ? Le choix des graminées a tenu au fait qu'elles représentent la principale cause de pollinoses dans notre pays, comme d'ailleurs dans la plupart des régions du monde. Le modèle proposé, très simple, est précis dans deux tiers des années étudiées mais la prévision trop précoce dans les autres cas. Cette observation nous a permis d'introduire une conception nouvelle de la prévision saisonnière, à savoir d'annoncer le début de la saison pollinique même en l'absence de pollen dans l'air. Autrement dit, c'est une "saison potentielle" qui peut et devrait être annoncée pour la prévision d'une période à risque pour

les personnes allergiques. En effet, la présence de pollen dans l'air dépend de deux facteurs qui diffèrent essentiellement par leur échelle de temps. Ainsi, l'état de maturité des fleurs, lié à la croissance des plantes, est relativement bien prévisible par un modèle phénologique (un cumul de températures, en particulier pour les floraisons de la fin d'hiver et du printemps). D'autre part, la libération et la dispersion du pollen dans l'air lorsque les fleurs sont mures sont déterminées par les conditions atmosphériques momentanées, en particulier l'humidité et les précipitations. C'est donc bien le moment de la maturité des fleurs qu'il convient de prévoir plusieurs semaines à l'avance, soit à un moment où les prévisions météorologiques restent très aléatoires. On doit alors compter avec la possibilité que les conditions soient favorables, que du pollen soit libéré et que les allergies se manifestent. Il peut arriver certaines années que lors de la maturité des fleurs, le temps ne soit pas favorable à la dispersion du pollen et que le début effectif de la saison pollinique en soit retardé de quelques jours ; ces années-là, la prévision peut être adaptée vers une date plus tardive dès que les prévisions météorologiques sont disponibles et fiables. Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, il est préférable pour les usagers d'avoir une prévision un peu trop précoce que trop tardive. Si en revanche on cherchait à prévoir longtemps à l'avance une date qui corresponde mieux à l'apparition réelle du pollen dans l'air, la prévision moyenne serait trop tardive certaines années et donc préjudiciable à ses utilisateurs.

Le modèle a été développé pour les données de la ville de Zurich, plus grande ville de Suisse et siège de notre réseau de mesures, à partir du set de données des années 1981 à 1995. Son efficacité a ensuite été testée sur les données de Bâle, une ville présentant des caractéristiques climatiques assez différentes. Elle consiste en un cumul des températures journalières moyennes positives à partir du 1<sup>er</sup> mars jusqu'à une valeur de 500°, qui marque la maturité des graminées. Il s'agit ici, bien sûr des graminées les plus répandues et les plus abondantes dans les champs de notre pays et qui produisent une grande quantité de pollen (par exemple genres *Dactylis*, *Festuca*, *Poa*, *Phleum*, *Alopecurus*, *Lolium*. Sont également incluses les graminées cultivées, dont le pollen est cependant gros et lourd et dispersé à plus courte distance). *Anthoxanthum* est fréquent et fleurit très tôt dans la saison : sa floraison ne donne cependant pas lieu à un pic pollinique important dans l'air et peu de symptômes allergiques sont enregistrés lorsque cette seule graminée fleurit. La définition choisie comme début de la saison des graminées était "le premier de cinq jours consécutifs où du pollen de graminées est enregistré dans le capteur". Depuis, cette définition a été affinée par l'étude des données d'autres stations et sur un ensemble d'années plus étendu. Aujourd'hui, le réseau suisse considère que la saison des graminées commence "le premier de trois jours consécutifs pour autant que la concentration journalière atteigne 20 grains l'un au moins de ces trois jours". La définition précise du début de la saison des graminées n'est pas chose aisée, car il est fréquent que du pollen de ces herbes soit enregistré occasionnellement et en très faibles quantités pendant plusieurs semaines avant le "vrai" début de la saison (comme mentionné plus haut avec la floraison d'*Anthoxanthum*). On constate cependant que les symptômes n'apparaissent chez la plupart des patients que lorsque du pollen est présent de façon régulière et que les concentrations dépassent des valeurs journalières de 20 ou 30. Dans le réseau suisse, la valeur de 500° cumulés depuis le premier mars a été affinée pour chaque station afin d'améliorer légèrement la prévision. Elle reste cependant très proche de cette valeur. Il faut dire qu'en mai, la température journalière moyenne dépasse fréquemment 10°C et qu'une différence de 20 à 30 degrés cumulés ne représente souvent que deux ou trois jours. Considérant les différences locales dans le développement de la végétation et les différences d'exposition à l'air extérieur -donc au pollen- en fonction des activités, on atteint le seuil de l'information utile pour une majorité de la population.

Lorsque les graminées atteignent l'anthèse, deux jours sans pluie sont nécessaires pour que les concentrations de pollen augmentent dans l'air. Il est très probable que ce délai après la pluie, bien plus important par exemple que pour le pollen de bouleau, soit dû à l'humidité dans les champs, qui met plus de temps à s'évaporer qu'au bout des branches d'un arbre. La déhiscence des anthères, tributaire du dessèchement des tissus (assise mécanique), est donc retardée par l'humidité ambiante persistant au niveau du sol.

La formule proposée implique un lien de causalité entre température et floraison locales. Appliquée indépendamment dans les deux villes de Bâle et Zurich, elle fournit une meilleure prévision que celle qui tiendrait compte de la différence de date de floraison entre ces deux villes. En effet, on aurait pu postuler que la date de floraison à Zurich puisse être simplement déduite de la date de floraison à Bâle additionnée du retard phénologique moyen accusé à Zurich. Une prévision de ce type est facile à établir, à partir des prévisions de températures disponibles sur Internet pour toutes les régions (ou pays), et suffisamment précises pour être utiles aux personnes concernées.

### **3.2.2 Actualisation de la prévision du pollen de graminées**

Par rapport aux données utilisées pour la publication présentée au chapitre 3.2, onze années de mesures supplémentaires disponibles ont été utilisées pour tester les résultats obtenus. La formule proposée a été testée sur les données de Bâle, Zurich et Neuchâtel pour les années 1982 à 2006 et une comparaison avec la nouvelle formule pour déterminer le début de la saison des graminées est proposée.

La date prévue est le deuxième jour sans pluie après le jour où le cumul des températures positives depuis le premier mars atteint 500°C. Le début de la saison est défini soit comme le premier de cinq jours consécutifs où du pollen de graminées est enregistré (1 de 5), soit comme le premier de 3 jours consécutifs où du pollen de graminées est enregistré pour autant qu'une concentration journalière moyenne de 20 pollens/m<sup>3</sup> d'air soit atteinte l'un de ces jours (1 de 3 >20).

#### **Bâle**

Table 3.1. Comparaison entre date prévue et date observée pour le début de la saison pollinique des graminées à Bâle.

Bâle	1 de 5				1 de 3 >20		
[jours]	$\Delta$ observé - prévu	Ecart-type	min. / max.		$\Delta$ observé - prévu	Ecart-type	min. / max.
1984- 1995	3.3	6.5	-		-	-	-
1982- 2006	1.4	5.1	-7 / +16		4.3	5	-2 / +16
sans 1987, 1991	0.3	3.2	-3 / +8 (-7 une seule année)	sans 1984, 1991, 1996, 2002, 2005	2.3	3.1	-2 / +9

Pour la station de Bâle, on constate facilement que la formule se révèle adéquate, puisque les années de mesures supplémentaires ont nettement diminué l'écart-type. La corrélation entre les séries prévues et observées est de 0,77 (1 de 5) et 0,71 (1 de 3 >20), ce qui est un résultat assez bon pour être utilisable dans la pratique. De plus, l'erreur de prévision est de l'ordre de +/- 3 jours si l'on élimine quelques années où, malgré deux jours isolés sans précipitations, qui font que les critères de la formule sont remplis, il a plu au début mai sur une longue période, de telle sorte que les critères retenus pour marquer le début de la saison pollinique (présence de pollen pendant cinq jours consécutifs ou seuil de concentration de 20 pollens / m<sup>3</sup> atteint) n'ont jamais été réalisés. Il en est alors résulté une prévision trop précoce. C'est le cas des années mentionnées dans le tableau ci-dessus. Comme les deux définitions du début de la saison utilisées sont différentes et souvent décalées de quelques jours dans le temps (1 de 5 le plus souvent avant 1 de 3 >20), le critère peut être favorable pour l'une ou l'autre définition, mais de façon imprévisible. Cela donne une idée de

l'intérêt d'utiliser plusieurs définitions du début de la saison, l'une tenant compte de la persistance (1 de 5) et l'autre de l'abondance (1 de 3 >20).

### Zurich

Table 3.2. Comparaison entre date prévue et date observée pour le début de la saison pollinique des graminées à Zurich.

Zurich	1 de 5				1 de 3 >20		
[jours]	$\Delta$ observé - prévu	Ecart-type	min. / max.		$\Delta$ observé - prévu	Ecart-type	min. / max.
1981-1995	2.7	4.6	-		-	-	-
1982-2006	1.2	5	-9 / +11		2.2	4.3	-10 / +11
sans 1989, 1994, 1999, 2001	0.5	3.5	-5 / +7	sans 1982, 1989, 1994	2.1	2.8	-4 / +7

Pour la station de Zurich, on constate également que la formule se révèle adéquate, puisque les années de mesures supplémentaires n'ont presque pas augmenté l'écart-type. La corrélation entre les séries prévues et observées est du même ordre de grandeur qu'à Bâle, 0,75 (1 de 5) et 0,80 (1 de 3 >20). L'erreur de prévision s'abaisse aussi à +/- 3 jours si l'on élimine les années de précipitations persistantes, comme ci-dessus. Dans les cas où la prévision est trop précoce, c'est toujours en raison de situations de pluies persistantes. En 2001 (avec 1 de 5) et 1982 (avec 1 de 3 >20), la prévision s'avère tardive respectivement de 9 et 10 jours, ce qui est beaucoup. Dans le premier cas, c'est une suite rare de jours avec des concentrations de pollen très faibles qui remplit le critère « 1 de 5 » avant le début réel de la saison. Dans le second, c'est un petit pic de pollen en avance, qui a peut-être été amené par un épisode de transport.

### Neuchâtel

Table 3.3. Comparaison entre date prévue et date observée pour le début de la saison pollinique des graminées à Neuchâtel.

Neuchâtel 1982-2006	1982-2006		
[jours]	$\Delta$ observé - prévu	Ecart-type	min. / max.
1 de 5	0	10.4	-22 / + 25
1 de 3 >20	4.5	8	-10 / +28
1 de 5 >10	1.7	8.7	-22 / +25
40 en 3	6.1	7.2	-9 / +30
2.5 %	8.3	5.9	-6 / +27
49 en 5	4.6	6.4	-10 / +27

La situation est bien différente à Neuchâtel, où la formule n'est pas valable. Plusieurs essais pour mettre au point une formule semblable (différentes valeurs de somme de températures ou définitions du début de la saison) n'ont pas donné de résultats satisfaisants. La variabilité du début de la saison est plus grande que dans les autres stations. Ce début n'est pas en relation avec le type de cumul de température testé. La corrélation entre les séries prévues et observées n'est que de 0,38

(1 de 5) et 0,50 (1 de 3 >20), ce qui ne permet pas de l'utiliser pour des prévisions. Cela semble confirmer notre remarque du chapitre 3.1 soulignant que les formules, même tendant à simuler le développement de la végétation, sont souvent difficiles à transposer d'une région à l'autre. Il serait peut-être intéressant de tester systématiquement tous les cumuls possibles (en changeant la T° de seuil et la date du début du cumul) pour tenter de trouver une formule plus adéquate pour Neuchâtel, mais les chances de succès me semblent assez minces. Le début de la saison des graminées est plus variable à Neuchâtel qu'à Bâle ou Zurich. En fonction des températures, la situation devrait être intermédiaire entre ces deux stations, mais ce n'est pas le cas. A Neuchâtel, la saison des graminées commence certaines années bien plus tôt et d'autres bien plus tard que dans les stations du nord de la Suisse. Plus étonnant, alors que les sommes de températures et les dates prévues montrent une tendance négative significative à Bâle, Zurich et Neuchâtel, en raison du changement climatique (voir chapitre 4), le début effectif de la saison des graminées ne montre la même tendance qu'à Bâle et Zurich, alors qu'aucune tendance n'est perceptible à Neuchâtel. Ceci laisse à penser que, si la phénologie des graminées neuchâteloises est probablement soumise aux mêmes contraintes de températures que celle de leurs populations d'autres régions, ce sont d'autres paramètres qui modulent la présence de leur pollen dans l'air de la région de Neuchâtel. Il reste encore à mettre ces paramètres en évidence. Peut-être que les vents et le transport du pollen jouent dans ce cas un rôle plus important ?

### 3.3 Prévision de la saison du pollen de bouleau (*Betula sp.*)

Publication :

Clot B. **Airborne birch pollen in Neuchâtel (Switzerland): onset, peak and daily patterns.** *Aerobiologia* 17: 25-29 (2001), *texte en anglais au chapitre 7.2.*

Ce travail visait à comprendre le début de la pollinisation du bouleau, le deuxième allergène le plus important en Europe centrale, et à réviser de façon fondée certaines recommandations faites aux patients en fonction du rythme circadien du pollen. Le début de la saison pollinique du bouleau est plus facile à définir que celui des graminées. Les concentrations de pollen de bouleau augmentent habituellement rapidement et un premier maximum, qui est souvent aussi le plus important de la saison, est atteint quelques jours déjà après l'apparition des premiers grains de pollen. A certaines occasions, un petit pic avancé peut être enregistré avant la floraison régionale ; il est dû au transport à longue distance, mais ces événements isolés sont facilement identifiables.

Pour le bouleau, le critère retenu marquant le début de la saison correspond à la date à laquelle une concentration journalière moyenne de 30 p/m<sup>3</sup> est atteinte pour la première fois, cette limite étant considérée dans de nombreux pays comme le seuil de déclenchement des symptômes allergiques chez la plupart des personnes concernées. Les températures journalières moyennes positives sont cumulées à partir du 1<sup>er</sup> février jusqu'à un cumul de 270°. Elles permettent ainsi de prévoir la maturité des fleurs du bouleau. Il est ensuite apparu que les bouleaux ne libèrent leur pollen en grandes quantités que si la température journalière moyenne dépasse environ 10°C. Autant la définition du début de la saison du bouleau que cette formule (cumul de 270°) retenue pour la prévision ont vu leur utilité confirmée au fil des années dans le réseau suisse.

La tendance claire au décalage de la saison du pollen bouleau provoqué par l'influence du changement climatique sur la floraison de cette espèce a été montrée sur cette série (voir le développement de ce thème au chapitre 4).

L'étude du rythme circadien du bouleau visait aussi à vérifier les conseils communément communiqués au public par des acteurs du domaine de la santé. Sur la base d'un nombre très limité de publications montrant que le pic journalier moyen du pollen de bouleau avait lieu en soirée et le minimum en fin de nuit, il avait été retenu que l'exposition à l'air extérieur (aération des

appartements par exemple) en fin de nuit était sans risque. Or, en regardant de plus près les publications en question, il apparaît rapidement que la différence entre le pic et le creux journaliers est faible (rapport 60/40). Il semblait donc *a priori* peu approprié de recommander le contact avec l'air chargé de pollen, même le matin. Notre étude, basée sur les données de 55 jours (6 séries de plus de 7 jours consécutifs) sans pluie, montre que la concentration de pollens dans l'air dépasse à toute heure le seuil de 30 p/m<sup>3</sup> d'air pendant la majeure partie de la saison de pollinisation du bouleau. De ce fait, le seul conseil que l'on puisse vraiment recommander est de ne s'exposer à l'air extérieur (aération des appartements ou sport en plein air) que lorsqu'il pleut suffisamment longtemps (plusieurs heures), car alors les concentrations de pollens chutent très fortement. Il faut cependant se rappeler que le pollen de bouleau peut redevenir abondant dans l'air quelques heures déjà après la fin de la pluie.

## **4. CONSEQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

## 4.1 Changement climatique

### Introduction

Au chapitre premier, nous avons évoqué l'influence des paramètres météorologiques et climatiques sur la végétation et sa phénologie, ainsi que sur la trajectoire aérobiologique. Le rôle que joue la température dans la croissance de la végétation a ainsi été utilisé au chapitre trois pour modéliser le développement des deux taxons allergisants les plus importants dans notre pays et prévoir le début de la présence de leur pollen dans l'air. Puisque les saisons polliniques sont de diverses façons influencées par des facteurs météorologiques et climatiques, il est logique d'attendre que l'évolution du climat influence directement les calendriers polliniques.

Le réchauffement climatique est un thème qui a gagné en importance au cours des dernières années ; sa réalité n'est plus guère mise en doute. Pour les climatologues, c'est la rapidité et l'amplitude des changements à venir qu'il est délicat de prévoir. Pour une grande partie de la communauté scientifique, ce sont les conséquences possibles de ces changements qu'il s'agit d'étudier. Dans ce contexte, l'ensemble des séries d'observations et de mesures réalisées par le passé constituent un matériel de choix pour comprendre les rôles respectifs des facteurs météorologiques et climatiques, mesurer les effets actuels de leur évolution et estimer les conséquences futures des changements en cours.

Dans le chapitre 4.2, l'influence du changement climatique sur la phénologie sera mise en évidence, de même que sa variabilité régionale. Les données utilisées, celles du Réseau phénologique suisse, situent les changements observés dans les saisons polliniques dans un cadre plus large et sur une échelle de temps plus longue. Les tendances observées tant pour les dates d'apparition que pour les quantités de pollen seront détaillées au chapitre 4.3. Une partie des résultats de ces chapitres a été publiée dans le livre de Walther et al. « Fingerprints of climate change » (Defila et Clot 2001b) ; c'est, à notre connaissance, la première fois que des séries phénologiques et aéropalynologiques étaient mises en parallèle dans une publication.

Notre intention n'est pas ici de démontrer la réalité du changement climatique ni d'en détailler tous les aspects. Ce travail a déjà été effectué par de nombreux spécialistes du climat au niveau mondial et les volumineux rapports de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) en font la synthèse (IPCC 2001). Le nouveau rapport à paraître en 2007 (IPCC AR4) apportera les éclairages les plus récents sur de nombreux aspects liés au changement climatique. Les sites [www.meteosuisse.ch](http://www.meteosuisse.ch) et [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) fournissent d'abondants renseignements et illustrations sur ce sujet. Nous nous contenterons ici de résumer quelques aspects du changement climatique en cours qui revêtent une importance particulière pour l'aéropalynologie.

### Augmentation de la température

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, la planète a subi un réchauffement rapide (Fig. 4.1). La température en Suisse a augmenté de près du double de la température globale (Fig. 4.2). Cependant, en Suisse comme en Europe, cette élévation des températures ne s'est pas faite de manière homogène : l'automne et l'hiver se sont réchauffés plus que les autres saisons ; ce phénomène s'accroissant dans les dernières décennies, ils ont été particulièrement doux depuis la fin des années 80. Le réchauffement s'est opéré surtout par la perte des épisodes les plus froids, ce qui a provoqué une réduction de la variabilité des températures. Le printemps s'est le moins réchauffé, en particulier les mois de mai et juin (Rebetez 2000) (Fig. 4.3).

Figure 4.1. Variations de la température à la surface du globe (Source : [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).

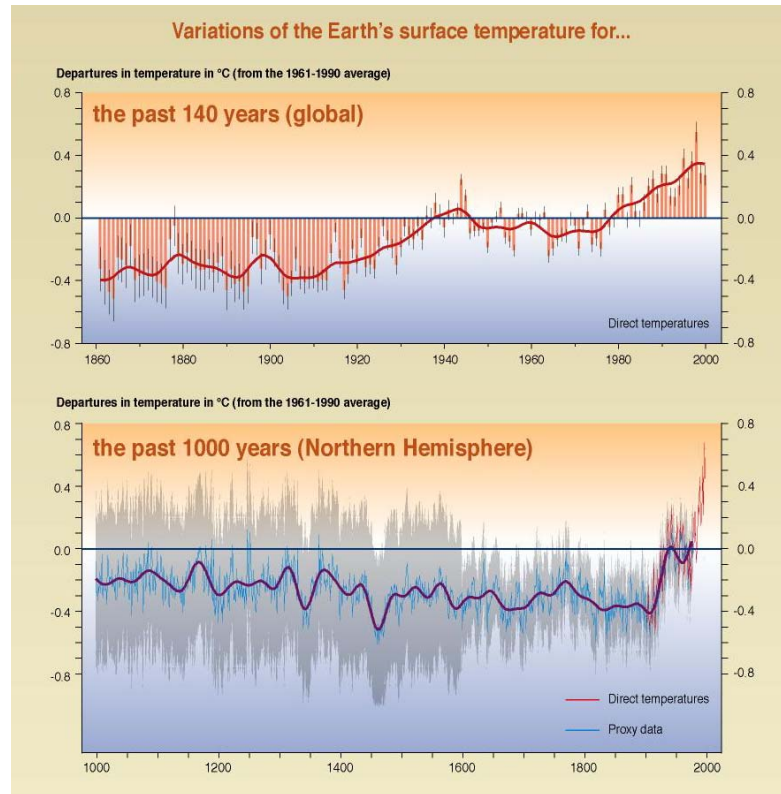


Figure 4.2. Variations de la température en Suisse (source : MétéoSuisse).

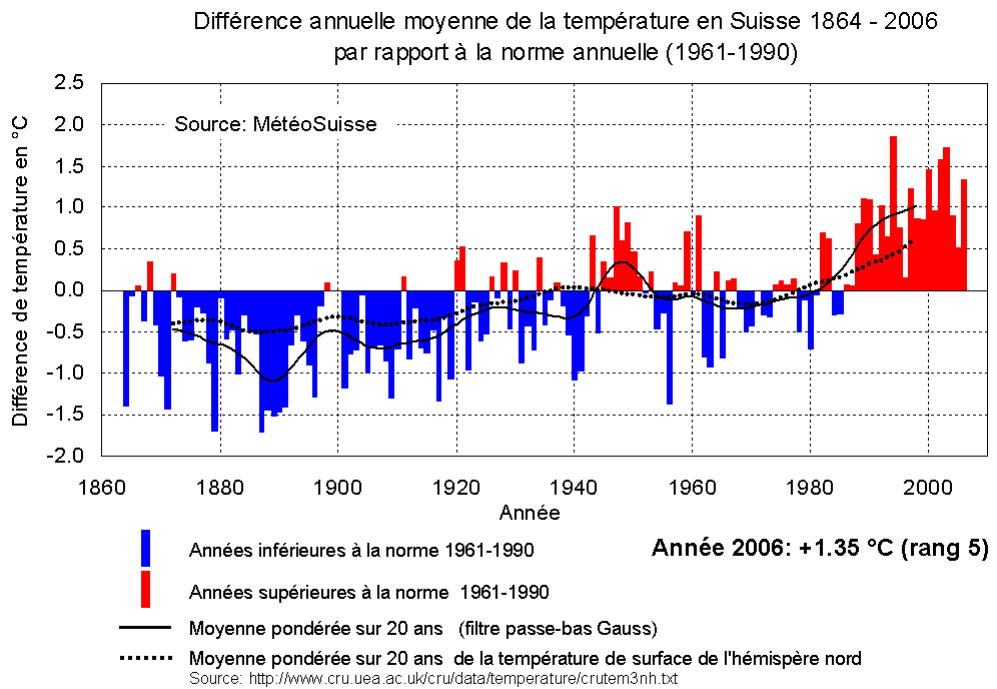
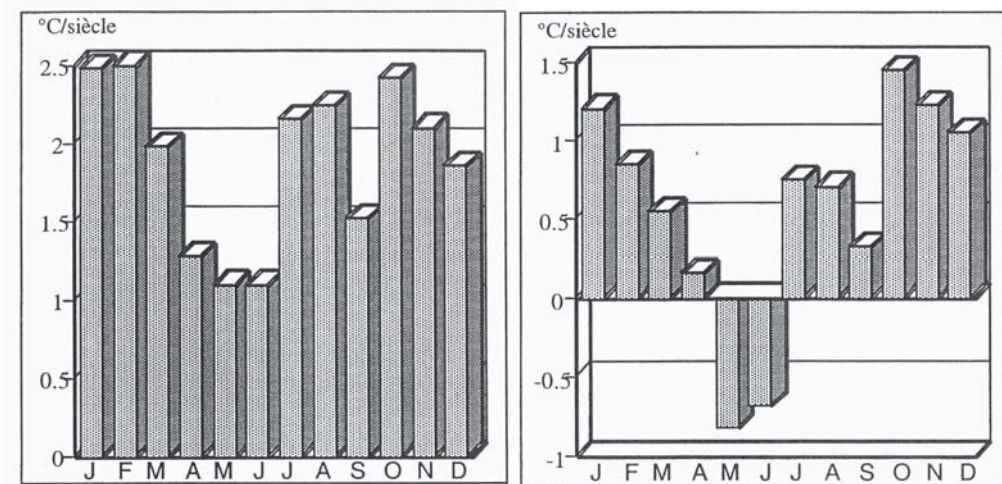


Figure 4.3. Tendances mensuelles des températures minimales (à gauche) et maximales (à droite) au vingtième siècle (Source : Rebetez 2000).



### Précipitations

Les quantités de précipitations ne montrent pas de tendance nette sur le centre de l'Europe. La variabilité d'une année à l'autre est très importante. Cependant, les extrêmes, fortes précipitations en un bref laps de temps et longues sécheresses, se font plus fréquents (Rebetez 2000).

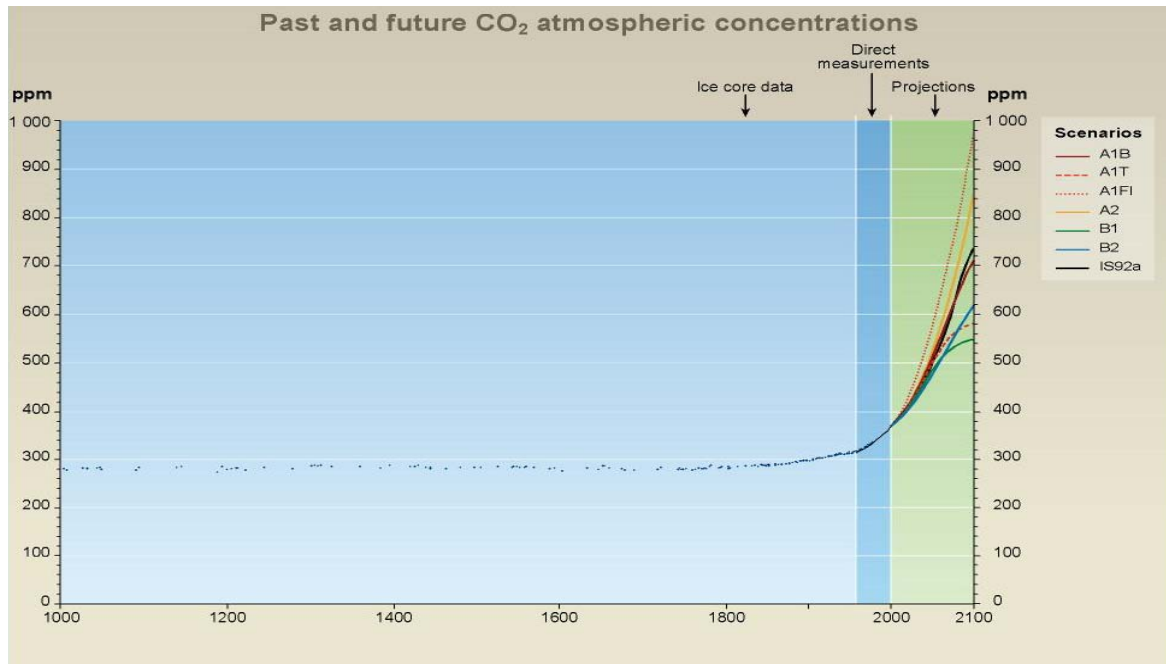
### Vent

Si certains paramètres de circulation à grande échelle, comme l'oscillation atlantique nord (NAO), ont montré des anomalies plus fréquentes et d'intensité plus grande au cours des dernières décennies, les études concernant les vents (vitesse, direction) manquent encore. Les quelques études disponibles concernent la fréquence des événements extrêmes (ouragans), mais les résultats sont encore peu probants. Les séries de données concernant le vent sont en effet nettement plus courtes que celles de la température et des précipitations.

### CO<sub>2</sub>

L'augmentation des concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère est une des principales causes de l'augmentation des températures (effet de serre). On voit sur la Fig. 4.4 que les concentrations de CO<sub>2</sub> ont augmenté de près de 100ppm au cours du vingtième siècle.

Figure 4.4. Concentrations de CO<sub>2</sub> passées et scénarios pour le futur (Source : [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).



## 4.2 Influence du changement climatique sur la phénologie

### 4.2.1 Publication :

Defila C, Clot B. **Phytophenological trends in Switzerland**. Int. J. Biometeorol. 45: 203-207 (2001), *texte en anglais au chapitre 7.3*.

Ce travail a été l'un des premiers à présenter une analyse globale des observations réalisées dans un réseau si étendu et sur une durée si longue (50 ans). Il a suscité un vif écho. Nous en livrons ici un résumé en français.

L'objectif de la phénologie est d'observer et d'enregistrer le retour annuel des phases de croissance et de développement des organismes et d'étudier les facteurs qui l'influencent. Le réseau suisse d'observation phénologique a été fondé en 1951. De nos jours, 69 phases phénologiques ou phénophases, concernant 26 espèces de plantes pour la plupart sauvages, sont observées dans 160 stations représentatives de toutes les régions du pays. Ces phases concernent en particulier les fleurs (début et pleine floraison) et les feuilles (déploiement, coloration et chute).

L'étude des données phénologiques a connu un regain d'intérêt dans le contexte du changement climatique. Si l'influence de la durée du jour est importante, les dates d'apparition des phases phénologiques dépendent principalement des conditions météorologiques, qui sont sous nos latitudes assez différentes d'une année à l'autre. Au printemps, l'augmentation de la température est un facteur important.

Deux longues séries d'observations sont d'abord présentées. La première concerne les dates d'éclosion du premier bourgeon du marronnier officiel de Genève (*Aesculus hippocastanum*), qui deviennent de plus en plus précoces au cours du vingtième siècle. On voit également que la variabilité de cette date augmente à partir des années 1980, certains hivers ayant été particulièrement doux. Cependant, c'est vraisemblablement plus l'évolution du climat urbain qui influence le marronnier de Genève que le réchauffement global. En effet, la série d'observations de

la floraison des cerisiers (*Prunus avium*) à Liestal, en zone rurale près de Bâle, ne présente pas une telle tendance, sauf depuis le milieu des années 1980.

Des 896 séries temporelles du réseau suisse d'observation phénologique testées (1951-2000), 30% montrent une tendance significative. Des 269 analyses significatives, 64 % montrent une tendance négative (apparition plus précoce) et 36 % une tendance positive (apparition plus tardive). Pour presque toutes les phénophases, on observe des séries à tendance précoce et d'autres à tendance tardive: cette situation complexe est révélatrice de l'importante influence des conditions microclimatiques sur la végétation. Le grand nombre d'observations réalisées permet cependant de mettre en évidence la tendance générale subie par la végétation. Au printemps et en été, la prédominance des tendances négatives (apparition plus précoce) est manifeste. En considérant toutes les séries printanières montrant une tendance significative, la moyenne d'avancement du début de la période de végétation est de 11,6 jours en 50 ans (1951 - 2000). En automne, une tendance générale ne se dégage pas des observations. Des chiffres semblables ont été mis en évidence dans le réseau des jardins phénologiques internationaux.

La plus importante proportion de tendances précoces est trouvée pour la floraison du noisetier. Cette phénophase apparaît au tout début de l'année (parfois en janvier déjà). Comme l'occurrence de ces phénophases dépend grandement de la température de l'air, ce résultat est donc à mettre en relation directe avec les températures hivernales plus douces des dernières années.

Comme les stations d'observations phénologiques de Suisse sont situées à différentes altitudes (de 300 m à 1600 m), il a été possible d'examiner l'influence de ce paramètre sur le développement des plantes. La proportion de séries montrant une tendance précoce augmente de façon significative avec l'altitude. La réaction plus importante des plantes qui croissent en altitude s'explique par une dépendance accrue envers le facteur température, la température étant considérée comme un facteur limitant pour la croissance et le développement des plantes en altitude. Une augmentation, même légère, de la température aura donc une incidence plus forte en montagne qu'en plaine, surtout à une période de l'année où elle permettra un démarrage précoce de la végétation.

Les observations phénologiques effectuées en Suisse depuis 1951 démontrent une nette tendance à l'apparition plus précoce des phases printanières de développement de la végétation au cours des dernières décennies. Comme ces phases sont fortement influencées par la température, ces résultats renforcent l'hypothèse selon laquelle le réchauffement climatique en cours agit fortement sur le développement de la végétation.

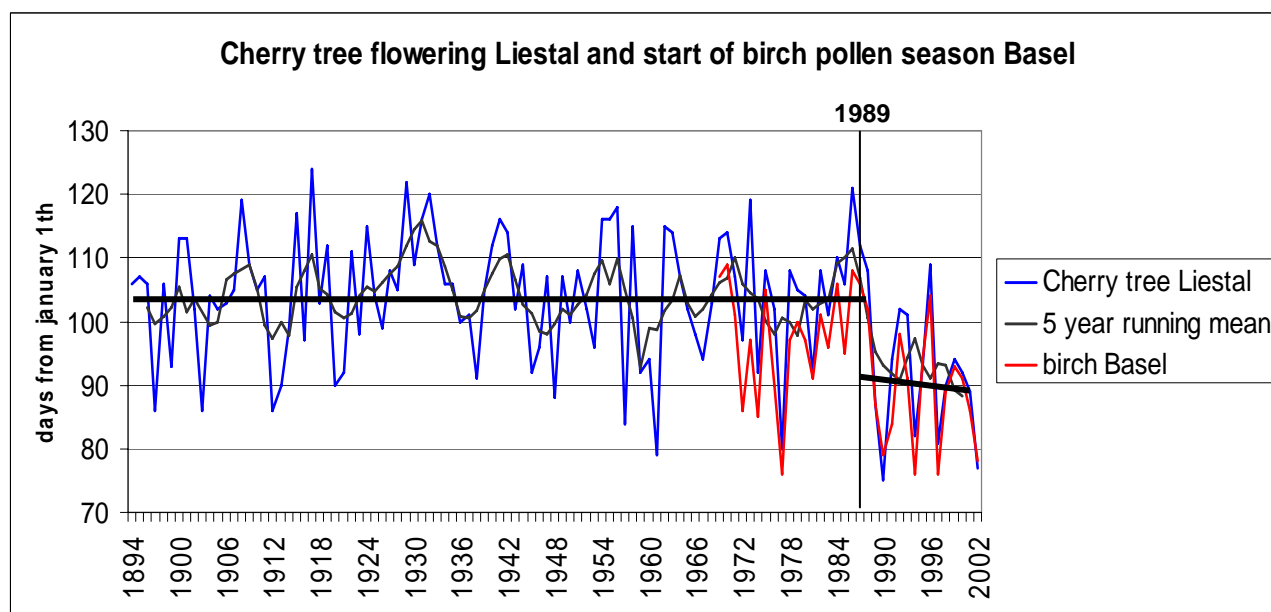
#### **4.2.2 Phénologie et saison pollinique**

Comme mentionné ci-dessus, la saison pollinique (en particulier son début et sa fin) peut être traitée comme une phase phénologique. Malheureusement, la plupart des espèces faisant l'objet d'observations dans le réseau phénologique suisse ne sont pas les mêmes que celles dont le pollen est abondant dans l'air. De surcroît, la libération du pollen ne figure pas dans la liste des phénophases relevées. La pleine floraison est une phase trop tardive pour être utile dans une perspective de prévision de la saison pollinique.

Si une étude comparative détaillée des séries phénologiques et polliniques déjà relevées reste encore à réaliser, malgré les vœux de Defila (1988) (la publication récente d'Estrella et al. 2006, bien que présentant des idées intéressantes à ce sujet, n'exploite que trop peu de données), certaines correspondances entre des phénophases différentes, d'espèces différentes, mais ayant lieu à des dates proches et dans la même région donnent des résultats très cohérents. La figure 4.5 montre un exemple de très bonne correspondance entre les dates de pleine floraison du cerisier à Liestal, près de Bâle, et le début de la saison pollinique du bouleau à Bâle. Cette figure illustre aussi le saut qui est intervenu en 1989 dans les séries de données : c'est en effet à partir de l'hiver 1988-1989 que les hivers sont devenus particulièrement doux, influençant ainsi plus fortement les phases

phénologiques et les saisons polliniques de la fin de l'hiver ou du début de printemps. Il ne sera cependant vraisemblablement pas facile de prévoir le début d'une saison pollinique sur la base de phénophases d'autres plantes. Le suivi des différentes étapes du développement des plantes dont le pollen est allergisant permettrait certainement une approche plus fine et serait utile à l'établissement de modèles phénologiques plus précis, mais il nécessiterait d'importants moyens en termes d'observateurs... et des observations sur une longue durée. Quoiqu'il en soit, le chapitre suivant traitera de l'analyse des tendances des saisons polliniques en elles-mêmes, et les aspects phénologiques (début, fin, durée de la saison) en représentent une part intéressante.

Figure 4.5. Extraite de Gehrig et Clot 2003. Floraison du cerisier à Liestal, près de Bâle (en bleu) et moyenne glissante sur 5 ans (en noir). Droites noires : tendance de la courbe de floraison du cerisier avant et après 1989. Début de la saison pollinique du bouleau à Bâle (en rouge). Corrélation entre les courbes rouge et bleue entre 1969 et 2002  $r = 0.96$ .



### 4.3 Tendances aéropalynologiques

#### 4.3.1 Tendances aéropalynologiques à Neuchâtel

Publication :

Clot B. **Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland).** *Aerobiologia* 19: 227-234 (2003), *texte en anglais au chapitre 7.4.*

Cet article, s'il n'était pas le tout premier à étudier les tendances des séries polliniques, reste cependant le seul à considérer un grand nombre des types de pollens mesurés dans une station, en l'occurrence à Neuchâtel. Il s'agit de la plus ancienne station de Suisse dont les mesures ont toujours été effectuées au même endroit, offrant ainsi une occasion unique d'effectuer une étude de tendances. Le nombre d'aspects étudiés (début, fin et durée de la saison pollinique, plusieurs façons de considérer son intensité) est également le plus important à ce jour. Il montre que la variation des quantités de pollens au cours des deux dernières décennies du vingtième siècle ne suffit pas à expliquer l'augmentation de la prévalence des pollinoses au cours de la même période, ce qui confirme d'ailleurs les hypothèses de la médecine (hypothèse hygiéniste, rôle de l'environnement socio-économique, etc...) (Spertini 2003).

### ***Taxons et variabilité***

A Neuchâtel, sur la période considérée, le pollen de 17 taxons présentant un indice pollinique saisonnier supérieur à 250 représente le 92% du pollen enregistré dans l'air à Neuchâtel (les 7 plus abondants représentent à eux seuls 75% !). Il s'agit, dans l'ordre décroissant d'abondance sur les 21 années considérées, des pollens de : if et cupressacées (malheureusement considérés ensemble à cause de leurs similitudes morphologiques), chêne, graminées, pin, bouleau, ortie, frêne, aune, hêtre, noisetier, épicéa, peuplier, châtaignier, charme, saule, platane et plantain (les noms latins figurent dans la publication en anglais, p 104). Les pollens d'armoise et d'ambroisie, moins abondants mais importants pour les allergies, ont été ajoutés à cette liste. Les variations inter-annuelles de l'indice pollinique peuvent être très grandes. On peut souligner que tous les pollens abondants dans l'air ne sont pas forcément allergisants, puisque qu'il y a deux conditions pour que la prévalence de l'allergie au pollen d'un taxon soit élevée : il faut que ce pollen contienne des antigènes (potentiels) qui puissent être libérés au contact avec des muqueuses respiratoire ou oculaire et qu'il soit assez abondant dans l'air pour provoquer une sensibilisation chez les personnes prédisposées.

### ***Tendances concernant l'abondance du pollen***

Différentes façons de considérer l'abondance du pollen ont été considérées, sous la forme d'indices d'exposition pour les personnes allergiques. De façon générale, les quantités de pollen n'ont augmenté de façon significative que pour un petit nombre de taxons. Tel est le cas, à la fin de l'hiver, pour les pollens d'aune et du groupe if/cupressacées qui sont devenus nettement plus abondants. Les arguments permettant d'imputer la cause de cette augmentation à une production de pollen plus abondante en raison du réchauffement climatique, important en hiver, à une meilleure dispersion du pollen en raison de conditions plus favorables pendant l'anthèse ou encore aux changements intervenus dans la composition de la végétation régionale (plantation d'aunes sur les nouveaux terrains gagnés sur le lac, extension des zones de villas arborisées avec des ifs et des thuyas ?). L'augmentation des quantités de pollen d'armoise (et d'ortie pour l'un des indices) en été pourrait être révélateur d'une tendance à la rudéralisation des milieux et à l'extension des jachères dans nos régions. L'augmentation des quantités de pollen d'ambroisie est liée à la localisation des plantes sources de ce pollen et sera traitée au chapitre 5. Une analyse de l'indice saisonnier de six autres taxons mineurs par leur abondance n'a montré qu'une tendance significative, celle forte et rapide de la diminution du pollen d'orme à la fin des années 1980. Dès cette époque, à cause de la graphiose, un grand nombre d'ormes sont morts ou ont été exploités avant leur complet dépérissement.

Le pollen des deux taxons les plus importants pour les allergies dans notre pays, bouleau et graminées, n'ont pas augmenté en abondance au cours de la période considérée. Il est possible que les tendances non significatives à ce jour se révèlent plus consistantes lorsque des séries de mesures plus longues seront à disposition. Il est clair que l'augmentation lente des quantités de pollen ne suffit pas à expliquer l'augmentation rapide de la prévalence et de la sévérité des allergies au pollen. Cependant, l'importance de taxons « secondaires » n'est pas totalement à négliger, comme nous le verrons au chapitre 5. Ainsi, l'augmentation des quantités de pollen d'aune a pu jouer un rôle dans l'augmentation des sensibilisations aux bétulacées, en raison des réactions croisées entre les différents pollens de cette famille. Au chapitre des perspectives, nous devons aussi examiner la possibilité que le contenu du pollen en allergènes ait pu augmenter pendant cette période.

### ***Tendances concernant les dates du début et de la fin de la saison***

Parmi les 38 séries phénologiques examinées, 71 % montrent une tendance significative à un déplacement de la saison pollinique vers des dates plus précoces, aucune vers des dates plus tardives. Le début de la saison pollinique est anticipé pour tous les taxons pour lesquelles on dispose de données complètes. C'est probablement aussi le cas pour l'aune, le noisetier et le peuplier, car c'est surtout le manque fréquent de données (stations pas encore en exploitation) qui empêche de démontrer l'absence de pollen au mois de janvier pendant les premières années de

mesures. On note que le décalage est généralement plus important pour les taxons fleurissant à la fin de l'hiver ou au début du printemps (en majorité des arbres) que pour ceux de la fin du printemps ou du début de l'été (en majorité des herbacées). Cela correspond bien à ce qui a été dit plus haut de la relation entre la température et la phénologie de la floraison, en particulier de l'augmentation moindre de la température à la fin du printemps. Là, il convient cependant d'être prudent, car les paramètres qui influencent différentes plantes peuvent aussi avoir une importance différente à des moments différents de l'année. A l'autre pôle de la saison pollinique, la fin de la saison des herbacées ne semble pas (ou peu dans le cas de l'ortie) être avancée. D'une manière générale, la saison de chaque pollen ne semble pas modifiée dans sa durée. En revanche, la saison des allergies dans son ensemble (incluant les divers taxons) est plus étendue, puisque les taxons printaniers commencent plus tôt et que les herbacées ne finissent pas plus tôt à la fin de l'été.

Ces résultats aéropalynologiques concordent très bien avec ceux de l'étude phénologique (chapitre 4.2), ils semblent même plus nets. On ne voit par exemple pas apparaître de séries plus tardives, comme cela était le cas avec les observations phénologiques. Cela se comprend facilement, car une station de mesure du pollen a un effet intégrateur sur la végétation de toute une région, et il suffit que certaines plantes fleurissent plus tôt pour que du pollen soit déjà dans l'air. Le retard de la floraison dans un endroit particulier en raison des conditions micro-climatiques sera ainsi masqué dans les données polliniques. Il faut encore souligner que 92% des séries significatives de pollen apparaissent au printemps ou au début de l'été et seulement 8% en automne. En revanche, parmi les 14 séries ne montrant pas de tendance significative, la moitié apparaissent en automne. Ces résultats confirment pleinement ceux obtenus par les observations phénologiques: les changements sont plus importants au printemps qu'en automne.

Les changements intervenus dans les saisons polliniques, en particulier l'important déplacement des saisons de fin d'hiver et du printemps, nécessitent une mise à jour des informations pour les spécialistes de la santé et pour les personnes allergiques. Bon nombre de calendriers polliniques diffusés il y a quelques années ne sont plus à jour. Les délais pour les désensibilisations pré-saisonnières et pour la mise à disposition des médicaments préventifs ont dû être revus suite à la diffusion de ces résultats.

#### **4.3.2 Tendances aéropalynologiques dans d'autres stations en Suisse / en Europe**

L'étude effectuée à Neuchâtel a été étendue aux données de Zurich, Bâle et Buchs (SG) (Gehrig et Clot 2003). Les conclusions générales présentées ci-dessus ont été confirmées, en particulier en ce qui concerne les tendances « phénologiques » de la saison pollinique. Cette étude étendue a souligné l'importance du saut qui a eu lieu dans les séries de données autour de l'année 1989 (Figure 4.5). Elle a aussi mis en évidence quelques différences entre les stations en ce qui concerne l'indice pollinique saisonnier, comme le montre le Tableau 4.1.

Ainsi le noisetier montre une tendance à l'augmentation à Zurich, alors que c'est l'aune à Neuchâtel. Le peuplier montre une tendance positive à Buchs et négative à Zurich. A Zurich, le pollen de platane est devenu moins abondant, au contraire du pollen de pin. Il faut quand même noter que le capteur de Zurich a été déplacé une fois au cours de la période et que certains résultats ont pu en être influencés. Peut-être plus intéressant pour l'avenir est le résultat négatif (baisse des quantités de pollen) pour les graminées dans les deux stations de Zurich et Buchs.

Des résultats contrastés concernant l'évolution de l'abondance du pollen ont été obtenus dans d'autres régions d'Europe, les taxons étudiés montrant dans certains cas une tendance à l'augmentation et dans d'autres à la diminution. L'influence des conditions régionales est certainement prépondérante, en particulier les modifications dans la végétation régionale. Le seul pollen qui est partout en augmentation est le pollen d'ambrosie, en raison du caractère envahissant de cette plante (cf. chapitre 5). Pour les dates des saisons polliniques des différents taxons, les

tendances sont les mêmes partout en Europe centrale. Quelques exemples montrent que le changement climatique peut avoir des effets différents dans d'autres régions : ainsi la saison du bouleau et des arbres à floraison printanière commence plus tardivement dans les pays scandinaves, en raison de précipitations accrues résultant en une couverture neigeuse plus importante en hiver qui retarde le développement de la végétation (Emberlin et al. 2002).

Tableau 4.1. Tendances aéropalynologiques dans différentes stations suisses (+ : augmentation significative de l'indice pollinique saisonnier; - : diminution significative de cet indice ; ns : pas significatif).

	Nom français	Bâle 1982-2001	Buchs 1984-2001	Zurich 1982-2001	Neuchâtel 1979-1999
Corylus	noisetier	n.s.		+	n.s.
Alnus	aune	n.s.		n.s.	+
Taxus/Cupressaceae	if et cupressacées			+	+
Populus	peuplier	n.s.	+	-	n.s.
Salix	saule			n.s.	n.s.
Fraxinus	frêne	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Betula	bouleau	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Carpinus	charme			n.s.	n.s.
Fagus	hêtre			n.s.	n.s.
Platanus	platane			-	n.s.
Quercus	chêne	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Picea	épicéa			n.s.	n.s.
Pinus	pin			+	n.s.
Plantago	plantain	n.s.	-	n.s.	n.s.
Poaceae	graminées	n.s.	-	-	n.s.
Urticaceae	urticacées			-	n.s.
Castanea	châtaignier			n.s.	n.s.
Artemisia	armoïse	n.s.		n.s.	+

### **4.3.3 Commentaires**

Les mesures réalisées par les différents réseaux nationaux sont concordantes et montrent des tendances semblables. Dans toute l'Europe centrale et de façon bien accusée en Suisse, le réchauffement climatique en cours, marqué en particulier par des hivers doux, a pour conséquence une nette précocité des saisons polliniques printanières, une tendance pas toujours significative à la prolongation de la durée de pollinisation des espèces estivales (graminées, oseille, plantain, ortie) et une augmentation de l'abondance des pollens de fin d'été/automne (armoïse, chénopodes, urticacées). En automne, les tendances sont cependant beaucoup moins marquées qu'au printemps.

Comme les phases phénologiques printanières dépendent avant tout de la température, le changement de climat en cours et en particulier le réchauffement de la température moyenne en hiver et au printemps peuvent être considérés comme responsables de cette évolution. La dépendance altitudinale de l'intensité de ce phénomène renforce également cette hypothèse. Il faut souligner que toutes les séries ne réagissent pas uniformément aux changements de l'environnement : le lieu des observations est une donnée importante, dans la mesure où le climat local et le microclimat influencent de façon prépondérante le développement des végétaux. Les résultats plus uniformes obtenus pour les pollens sont vraisemblablement dus au fait que la concentration de pollen dans l'air reflète l'état de maturité des fleurs d'un taxon dans une région plus vaste.

Les études phénologiques et aéropalynologiques témoignent donc de manière significative du changement climatique en cours. Cette observation revêt une importance toute particulière lorsque le pollen des plantes considérées est allergisant. Le changement observé ou attendu des périodes de pollinisation des taxons anémogames doit faire l'objet d'informations appropriées auprès des personnes allergiques et de leurs médecins afin d'optimiser la prévention et la thérapie des pollinoses

A long terme, on ne saurait cependant imaginer que la tendance à observer des dates plus précoces puisse se poursuivre indéfiniment, jusqu'à déplacer la saison printanière l'année précédente... La précocité va tendre vers une limite qui ne pourra pas être dépassée. La situation au début de 2007 tend à le montrer. Lorsque l'hiver est trop doux, la vernalisation n'a pas lieu et les quantités de chaleur nécessaires au développement de certaines plantes sont plus importantes. C'est vraisemblablement ce qui est arrivé cet hiver, et l'on assiste à un début de saison pollinique 2007 pas nettement précoce en dépit de températures qui sont restées largement au-dessus de la moyenne saisonnière depuis l'automne déjà. D'autres plantes que les principales anémophiles ont par contre réagi fortement à cet hiver doux et de nombreuses observations phénologiques très précoces ont été enregistrées.

Si le réchauffement climatique se poursuit, il impliquera à terme d'autres changements. La saison pollinique pourrait être interrompue en été, en raison du changement de régime des précipitations. L'été 2003 en a apporté un exemple. A plus long terme, c'est la végétation qui se modifiera, ce qui pourrait en particulier favoriser un certain nombre de plantes herbacées responsables importantes d'allergies dans le Bassin méditerranéen (voir à ce sujet le chapitre 5). Avec les modifications possibles des paramètres atmosphériques, certains modèles utilisés pour la prévision pollinique pourraient bien devenir caducs. Les changements dans la vitesse et la direction des vents, et plus largement des circulations atmosphériques, sont difficilement prévisibles, mais il n'est pas exclu que la dispersion et le transport du pollen dans l'air en soient modifiés. Finalement, un des moteurs du réchauffement climatique est le gaz carbonique qui s'accumule dans l'atmosphère. Des études récentes ont montré que des concentrations plus élevées en CO<sub>2</sub> intensifient la production de pollen chez certaines plantes, par exemple l'ambrosie (Wan et al. 2002, Wayne et al. 2002, Ziska et al. 2003). Le réchauffement climatique a déjà apporté des changements sensibles dans le déroulement des saisons polliniques, mais cela pourrait bien n'être que le début...

#### **4.3.4 Synthèse des influences du changement climatique sur la présence d'allergènes dans l'air**

*(Ce chapitre, développé, fera très prochainement l'objet d'une publication en anglais. Les citations reprennent les références depuis l'année 2000, les autres figurent au chapitre 7.4).*

En raison de la grande influence du climat et du temps sur les organismes vivants, les changements observés dans la phénologie, la physiologie et la distribution de nombreux organismes ont été mis en relation avec le changement climatique intervenu à l'échelle globale (Walther et al 2001, Penuelas et al 2002, Parmesan and Yohe 2003, Root 2003). L'influence du réchauffement des températures sur le plus important allergène de l'air, le pollen, annoncée par Wilkinson en 1989, et ses conséquences sur les allergies sont maintenant bien documentées (Weber 2002, Huynen et al. 2003, Beggs 2004, Beggs & Bambrick 2005). Les tendances observées sur la végétation par les réseaux phénologiques (Defila and Clot 2001a, Menzel et al 2001, Chmielewski and Roetzer 2002, Matulla et al 2003, Menzel 2003, Wolfe et al 2005) et les méthodes de télédétections (Slayback et al 2003) sont concordantes avec les mesures aérobiologiques. Des variations régionales et altitudinales sont observées à diverses échelles (Suzuki et al 2003, Defila and Clot 2005, Studer et al 2005). En bonne corrélation avec les hivers doux qui ont dominé depuis la fin des années 1980, le pollen des espèces qui fleurissent à la fin de l'hiver ou au début de printemps montrent une forte tendance à l'anticipation (Emberlin et al 2000, Osborne et al 2000, Teranishi et al 2000, D'Odorico et al 2002, Emberlin et al 2002, Rasmussen 2002, Galan et al 2005, Garcia-Mozo et al 2005) ; ce déplacement

peut dépasser un mois (Van Vliet et al 2002, Clot 2003b). La saison pollinique dans son ensemble s'en trouve prolongée d'autant. Cependant, cette tendance est inversée et le début de la saison est retardé aux hautes latitudes. Là, une vernalisation insuffisante ou une couverture neigeuse plus importante figurent parmi les raisons généralement avancées (Emberlin et al 2002, Inoue et al 2002, Jäger 2002, Taira 2002). La précocité de la saison pollinique des espèces fleurissant à la fin du printemps ou en été est moindre (Leuschner et al 2000, Emberlin et al 2002, Jäger 2002, Van Vliet et al 2002). Les modèles phénologiques sont importants pour prévoir le début, le pic et la fin de la saison pollinique (voir par exemple Chuine and Belmonte 2004). Les indices bio-climatiques sont des paramètres importants dans cette perspective (Valencia-Barrera et al. 2001, 2002).

Les conséquences du changement climatique sur l'abondance du pollen sont moins claires, les très importantes variations inter-annuelles masquant souvent les tendances. Une augmentation des quantités de pollen d'arbres est souvent enregistrée, alors qu'aucune tendance générale ne se dessine pour les graminées (Poaceae). Le pollen des autres herbacées est en augmentation ou en diminution, selon les régions (Frei and Leuschner 2000, Leuschner et al 2000, Teranishi et al 2000, Rasmussen 2002, Zwander 2002, Clot 2003b, Spieksma et al 2003, Ranta et al 2005, Thibaudon et al 2005). D'autres paramètres que le changement climatique interviennent dans ces évolutions, en particulier la modification de l'utilisation du sol (Singh et al 2003). La prolongation de la saison pollinique et l'exposition à des concentrations plus élevées de pollen aggravent les risques d'allergies.

L'extension rapide de l'aire de répartition de l'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) en Europe et dans d'autres parties du monde est un autre élément essentiel dans le développement futur des allergies, car le pollen de cette plante envahissante est l'un des plus allergisants (Rybnicek and Jäger 2001). Des concentrations de gaz carbonique plus élevées augmentent la production de pollen par cette plante (Wan et al 2002, Wayne et al 2002, Ziska et al 2003) et prolongent la saison du pollen d'ambrosie (Rogers et al 2005). Il est probable que le CO<sub>2</sub> ait le même effet sur d'autres plantes. Cependant, des températures trop élevées ou une exposition trop forte au rayonnement ultra-violet peuvent diminuer la production de pollen de certaines espèces (Koti et al 2005).

On s'attend également à des déplacements d'aires de répartition de la végétation en raison du réchauffement climatique (Chuine and Beaubien 2001, Kienast et al 2001, Bakkenes et al 2002, Thuillier 2003, Belmonte and Vila 2004). Les populations humaines seront exposées à la présence de nouveaux allergènes de l'air (de nouveaux pollens), conduisant à de nouvelles sensibilisations (Ezeamuzie et al 2000, Voltolini et al 2000, Asero et al 2002). Un climat plus favorable dans certaines régions permettra aussi l'introduction de nouvelles plantes d'intérêt ornemental ou horticole. Certaines d'entre elles sont bien connues pour l'allergénicité de leur pollen et devraient être évitées, voire interdites (plus de détails au chapitre 5).

La pollution influence les réactions allergiques de deux façons principales. D'une part elle fragilise l'être humain (lire par exemple Riediker et al 2001, D'Amato et al. 2002, De Marco et al 2002), d'autre part elle modifie le contenu biochimique du pollen, qui contient plus d'allergènes dans des régions fortement polluées (Armentia et al 2002, Chehregani et al 2004, Cortegano et al 2004). Il a été suggéré que des stress hydriques ou thermiques en relation avec le changement climatique pourraient avoir le même effet, de nombreux allergènes étant des protéines de stress. Cette hypothèse méritera d'être étudiée de façon plus approfondie.

Peu de publications concernent d'autres organismes. Corden et al (2003) montrent pour les quantités de spores d'*Alternaria* (une moisissure) des tendances opposées dans deux régions et les attribuent à des pratiques agricoles différentes. Les bactéries de l'air dépendent aussi du temps et du climat (Harrison et al 2005), mais leur observation systématique n'est pas (encore) réalisée.

Au lieu de la mesure des porteurs d'allergènes dans l'air (les grains de pollen par exemple), c'est celle des concentrations d'allergènes eux-mêmes qui commence à intéresser les chercheurs. En effet, elle pourrait apporter des informations complémentaires au sujet de l'exposition des personnes allergiques. Les allergènes peuvent en effet également être portés par des particules plus petites que le pollen (fragments ou éléments du contenu cellulaire du grain de pollen, orbicules, allergènes secondairement attachés à d'autres aérosols) (Rantio-Lehtimäki and Matikainen 2002). Aujourd'hui, cette mesure n'est pas généralisée en raison des difficultés techniques et des coûts.

Le changement de climat amènera aussi des changements dans les environnements intérieurs des habitations, en particulier température et humidité, ce qui est susceptible de favoriser le développement des allergènes domestiques comme les acariens, les blattes et les spores de moisissures. Il serait très intéressant que des études destinées à ce suivi soient entreprises dès maintenant. Notons aussi que les données aérobiologiques provenant de l'hémisphère sud sont rares, et en particulier les longues séries de mesures. Le développement des réseaux de mesures dans ces régions est nécessaire pour documenter les effets du changement climatique et l'exposition des populations humaines aux allergènes.

Finalement, dans le sens inverse, l'influence de la présence dans l'air de particules d'origine biologique telles que pollen, spores et bactéries sur les processus de changement climatique devraient être mieux pris en compte (Diehl et al 2002, Jaenicke 2005). La quantité des bio-aérosols dans l'atmosphère avait en effet été très largement sous estimée dans le rapport IPCC 2001 et a été réévaluée pour le rapport à paraître cette année. Les aérosols participent au refroidissement du globe terrestre en réfléchissant une partie du rayonnement solaire.

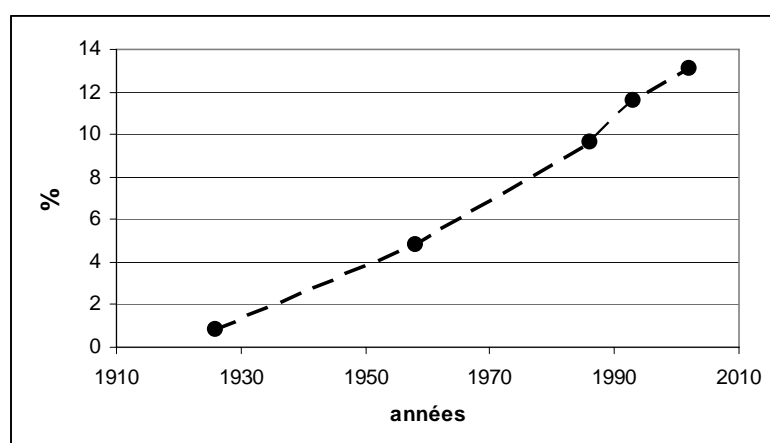
## **5. NOUVEAUX RISQUES D'ALLERGIES**

## 5.1 Nouvelles sensibilisations à des pollens locaux

### 5.1.1 Les principales pollinoses reconnues en Suisse

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, on a observé dans les sociétés industrialisées une forte augmentation de la prévalence des allergies polliniques (Figure 5.1) et une sensibilité croissante à des allergènes de plus en plus variés (Spertini 2003). Pendant longtemps le pollen des graminées (Poaceae) a été la principale cause d'allergies dans notre pays et en Europe centrale (Varonier 1976, Kersten 1979, Guérin et al. 1990). Quelques autres herbacées comme le plantain (*Plantago* sp.) et l'armoise (*Artemisia* sp.) ont aussi été reconnues comme importantes. Au début des années 1980, le bouleau (*Betula* sp.) a ensuite été identifié comme un allergène dont l'importance n'a cessé de croître avec les années (Kersten 1983, Jakus 1987, Guerrier 1993). Le pollen de deux autres arbres de la même famille, le noisetier (*Corylus* sp.) et l'aune (*Alnus* sp.), qui fleurissent plus tôt dans la saison, a aussi été reconnu comme allergisant : en effet, ils étaient les seules causes possibles d'allergie présentes dans l'air à cette période de l'année et ont facilement été identifiés comme tel (Wüthrich et Annen 1979, Wüthrich et al. 1983). Au début des années 1990, ces trois arbres de la famille des bétulacées étaient considérés comme responsables de la majorité des allergies printanières (Spieksma 1990). Comme le pressentaient déjà Helbling et al. en 1985, d'autres pollens abondants dans l'air étaient de bons candidats pour être allergisants. Lorsque les saisons polliniques de plusieurs plantes, apparentées ou non, se recouvrent partiellement, l'importance relative d'un allergène peut être d'autant plus difficile à mettre en évidence qu'un allergène majeur, focalisant toute l'attention, est déjà présent dans l'air (Munuera Giner et Garcia Selles 2002). C'est le cas du frêne (*Fraxinus excelsior*), qui fleurit en même temps que le bouleau : l'allergie au frêne n'a été reconnue comme importante qu'à partir du début des années 1990 (Schmid et al. 1992, Schmid et al. 1994, Hemmer et al. 2000). Les pollens de nombreuses espèces anémophiles indigènes sont ainsi de bons candidats à l'élargissement du spectre des allergies. Comme le soulignent plusieurs auteurs cités ci-dessus, les mesures aérobiologiques contribuent de façon importante à l'identification des causes d'allergies.

Figure 5.1. Prévalence des pollinoses en Suisse au cours du vingtième siècle (valeurs citées par Wüthrich et al. 1995 et Frei 2006).



Le travail qui suit (chapitre 5.1.2) relève de la même démarche. Le charme (*Carpinus betulus*) est un arbre de la famille des bétulacées qui occupe une place importante dans les forêts de plaine thermophiles en Europe et qui fleurit en même temps que le bouleau. Il y avait de bonnes raisons de penser qu'il pouvait également jouer un rôle dans les allergies printanières plus important que celui qui lui était attribué jusque-là. Ce travail met une fois de plus en évidence l'importance de la collaboration interdisciplinaire entre aérobiologistes, allergologues et immunologues.

### **5.1.2 Publication :**

Gumowski P, Clot B, Davet A, Saad S, Hassler H, Dunoyer-Geindre S. **The importance of hornbeam (*Carpinus* sp.) pollen hypersensitivity in spring allergies.** *Aerobiologia* 16: 83-86 (2000), *texte en anglais au chapitre 7.5.*

Le charme appartient à la famille des bétulacées. Des réactions croisées étaient connues entre les pollens des arbres de cette famille. Le charme est un arbre abondant en plaine qui fleurit en même temps que le bouleau. Il était donc a priori possible que le rôle du pollen de charme dans les allergies printanières soit sous-évalué : d'une part, par son abondance, il est susceptible d'intensifier les réactions au pollen de bouleau simplement en augmentant la charge d'allergènes croisés présente dans l'air. D'autre part, il est également susceptible de sensibiliser une certaine partie de la population, puisque des allergènes propres ont déjà été mis en évidence. C'est ce que nous avons voulu évaluer.

Ce travail a mis en évidence que le pollen de charme est parfois présent dans l'air avant celui du bouleau et peut donc provoquer des symptômes quelques jours plus tôt. Les quantités de pollen de charme libérées dans l'air varient très fortement d'une année à l'autre, mais il est, certaines années, plus abondant dans l'air que celui du bouleau. Parmi les patients de cette étude sensibles au pollen de bétulacées, plus de 70% réagissent au pollen de charme. D'un point de vue quantitatif, l'importance de sa présence dans l'air est donc confirmée.

D'un point de vue qualitatif, le pollen de charme est également important, puisque plus de 10% des patients sensibles au pollen de bétulacées réagissent au pollen de charme et pas au pollen de bouleau. Ce pourcentage est du même ordre de grandeur que celui des personnes sensibles au noisetier et à l'aune réunies. L'asthme semble particulièrement fréquent (~50%) chez les patients sensibilisés au pollen de charme. Au cours des dernières années, plusieurs médecins nous ont fait part de l'apparition massive de symptômes asthmatiques pendant la saison du bouleau. Curieusement, leurs remarques coïncidaient avec des années de forte libération de pollen de charme. Une étude systématique comprenant de nombreux patients serait nécessaire pour confirmer cet aspect. Comme dans beaucoup d'autres cas (par exemple les spores de moisissures), l'absence de test commercialisé spécifique au pollen de charme limite la détection de cette allergie.

Il est donc clair que le pollen de charme a sa place dans les calendriers polliniques destinés aux personnes concernées par les allergies. Il serait souhaitable de pouvoir prévoir les années de forte libération de pollen de charme.

Le tableau suivant fournit une mise à jour de l'importance numérique relative du pollen de charme par rapport à celui du bouleau pour quatre longues séries de données.

	Bâle	Zurich	Neuchâtel	Genève
Période considérée	1969 à 2007	1982 à 2007	1982 à 2007	1979 à 2007
Années exclues (pannes)	1974, 2005	2005	1985, 1996, 2005	1981, 1985 à-1988, 1994, 2005
Moyenne % relatif charme/bouleau	26	10	12	19
Minimum % relatif charme/bouleau	1	0	3	1
Maximum % relatif charme/bouleau	182	156	77	61
Années de plus grande abondance	1995, 1999, 2004	2004, 1982, 1995	1995, 2007, 2004	2004, 1984, 2007

### **5.1.3 Rapide revue des plantes anémogames indigènes et de leur importance pour les allergies**

En 1931, Thommen (cité par Varonier 1969) a proposé la liste des critères suivants pour faire état d'une relation étiologique entre un pollen et des symptômes respiratoires : le pollen doit être anémophile, il doit être présent dans l'air en grandes quantités, les plantes qui le produisent doivent être assez abondantes, ce pollen doit contenir (au moins) une substance allergisante. Nous allons donc rapidement passer en revue les taxons dont le pollen est bien représenté dans l'air de notre pays et évoquer leur potentiel allergisant.

Comme nous l'avons vu plus haut, le rôle des pollens suivants est bien documenté et reconnu :

- graminées (sauvages et cultivées) (Poaceae)
- bétulacées (bouleau, aune, noisetier, charme) (Betulaceae)
- frêne (*Fraxinus* sp.)
- armoise (réaction croisée avec le pollen d'autres composées) (*Artemisia* sp.)

Ces taxons représentent les principales sources d'aéro-allergènes présents dans l'air de notre pays.

Diverses herbacées sont également reconnues depuis longtemps comme causes moins importantes d'allergie (plantain, oseille). Des réactions croisées avec le pollen des graminées sont souvent invoquées.

Au sud des Alpes, le charme-houblon (*Ostrya*, famille des bétulacées) occupe de larges surfaces. Son pollen est très abondant dans l'air, en même temps que celui du bouleau. Il n'a à notre connaissance pas fait l'objet de tests d'allergies, mais il ne serait pas surprenant qu'il se révèle un allergène important, au moins par réaction croisée avec le pollen de bouleau, comme c'est le cas pour le charme, l'aune et le noisetier.

Les pollens de peuplier (*Populus* sp.) et de saule (*Salix* sp.) sont abondants dans l'air au printemps. Des cas d'allergies ont été décrits depuis longtemps. Rien n'indique que ces pollens prennent plus d'importance pour les allergies, mais ils ne sont pas testés en routine dans les consultations.

Le pollen d'orme (*Ulmus* sp.) est beaucoup moins abondant depuis la fin des années 1980 (cf. chapitre 4).

Le rôle des pollens de fagacées (châtaignier - *Castanea*, hêtre - *Fagus*, chêne - *Quercus*) est progressivement mieux connu. Il présente des réactions croisées avec celui des bétulacées. Le pollen de châtaignier est reconnu pour avoir une importance locale au Tessin et en Bretagne, par exemple. Nous avons eu l'intention de réaliser pour les pollens de chêne et de hêtre une étude semblable à celle concernant le charme, mais d'autres auteurs s'y sont attachés (Mari et al. 2003). Le pollen de différentes espèces de chêne est reconnu comme allergisant en Espagne, en Angleterre et aux USA (cités par Garcia-Mozo et al. 2000).

Les pollens de pinacées (pin - *Pinus*, épicéa - *Picea*, sapin - *Abies*, cèdre - *Cedrus*) sont abondants dans l'air. Bien qu'ils contiennent des allergènes (Senna et al. 2000), peu de cas d'allergie sont rapportés, peut-être par ce qu'ils n'entrent pas facilement en contact avec les voies respiratoires à cause de la grande taille des grains de pollen.

Le pollen de l'if (*Taxus baccata*), très abondant dans l'air au début du printemps, n'a, semble-t-il, fait l'objet d'aucune étude. Morphologiquement proche du pollen des Cupressacées (allergène important en Méditerranée), il aurait, par son abondance et sa taille la possibilité de transmettre les allergènes qu'il contiendrait.

Le pollen d'érable (*Acer* sp.) ne semble pas poser chez nous de problèmes, il est relativement peu abondant dans l'air ; c'est le contraire aux Etats-Unis (Lin et al. 2002) et au Canada, où l'érable

domine dans de nombreuses forêts, en particulier l'érable à sucre, favorisé par la culture et où son pollen est une des causes importantes de pollinose.

Le noyer (*Juglans* sp.) est un anémogame typique. On ne trouve pas cet arbre en abondance suffisante dans notre pays pour que son pollen atteigne dans l'air des concentrations susceptibles de sensibiliser des personnes (sauf, bien sûr, comme toute autre plante, très localement pour des personnes particulièrement exposées).

Le pollen des cypéracées et des juncacées n'est, dans l'ensemble, pas remarquablement abondant dans l'air. Cependant, étant donné l'abondance de ces plantes dans des milieux favorables à la promenade (prairies littorales, pelouses alpines), il est certain que les concentrations auxquelles sont exposées de nombreuses personnes sont plus élevées que celles enregistrées dans les capteurs de pollen. Une étude de leur contenu en allergènes serait peut-être intéressante.

Le pollen d'ortie (*Urtica* sp.) est relativement abondant dans l'air durant tout l'été. Le grain de pollen d'ortie est très petit (~12 à 15µ) et donc facilement susceptible d'entrer en contact avec les muqueuses oculaires ou respiratoires. Cependant, presque aucun cas d'allergie à l'ortie n'est signalé, au contraire de sa cousine la pariétaire (*Parietaria* sp.), qui fait des ravages dans le Bassin méditerranéen.

De plus, un certain nombre de plantes entomogames, dont le pollen n'est pas généralement présent dans l'air en abondance, peuvent jouer un rôle dans les allergies de proximité, dans les jardins ou en bouquets dans les appartements. Citons par exemple certaines oléacées (forsythia - *Forsythia*, troène - *Ligustrum*, lilas - *Syringa*), les composées (Asteraceae), le tilleul (*Tilia* sp.), etc... parfois, le parfum dégagé par ces plantes peut aussi incommoder ou provoquer des réactions d'irritation.

## 5.2 Extension d'aires de répartition, introduction de nouvelles espèces

Les populations de nos régions sont également susceptibles d'être exposées à l'avenir à des allergènes provenant d'autres régions. C'est un risque particulièrement important : si des plantes dont le pollen provoque des pollinoses dans d'autres régions du monde s'installent dans nos régions, il est très vraisemblable qu'une partie de notre population devienne allergique à ce pollen. Plusieurs études ont d'ailleurs montré que la prévalence des allergies est plus importante dans une population qui arrive nouvellement au contact d'un allergène que dans une population qui y a été exposée depuis plus longtemps (par exemple Ezeamuzie et al 2000, Voltolini et al 2000, Asero et al 2002, Dervaderics et al. 2002, Geller-Bernstein et Kenett 2004). D'autre part, des personnes ayant acquis une allergie à l'étranger peuvent voir leurs symptômes apparaître en présence de quantités faibles de pollen dans l'air.

Trois facteurs majeurs peuvent être à l'origine de l'installation de nouvelles plantes dans un pays soumis comme le nôtre à une forte pression humaine sur l'environnement :

- la plantation d'espèces peu ou pas présentes sur le territoire, à des fins d'ornement, de renouvellement des peuplements forestiers ou d'intérêt agricole,
- la migration lente et « naturelle » d'espèces actuellement présentes dans des territoires voisins (extension ou changement d'aire de répartition), en particulier à la faveur de nouvelles conditions. Le réchauffement climatique est le catalyseur le plus probable de telles changements,
- le changement de comportement de certaines espèces qui deviennent envahissantes.

Il n'est pas dans notre propos d'argumenter sur la valeur relative de ces différents facteurs, ni d'identifier les causes naturelles ou anthropiques qui les déterminent. Ce sont simplement trois voies courantes d'extension d'espèces subspontanées ou introduites dans nos régions centre-européennes.

### **Plantation d'espèces ornementales**

Les espèces ornementales posent un problème particulier et exposent une partie de la population à de nouvelles sources de pollen. Même si elles ne sont pas très abondantes, elles sont plantées au cœur des villes ou à proximité des habitations, rapprochant ainsi la source potentielle de pollen des personnes qui pourraient y être sensibles. Il s'agit là surtout d'un risque diffus, à long terme, mais qui mérite d'être considéré.

Plusieurs arbres bien connus pour leur pollen allergisant sont dans ce cas. Le platane (*Platanus* sp.) et les cupressacées (Cupressaceae) sont des causes très importantes d'allergies en Méditerranée. Ces arbres et leur pollen sont déjà présents dans nos régions, mais en quantités moindres. Pour l'instant, leur incidence sur les allergies dans notre pays semble très faible. Pourtant, il serait prudent de ne pas multiplier les plantations de ces taxons. A noter que des allergies professionnelles aux cupressacées sont déjà observées dans notre pays.

Le cryptoméria (*Cryptomeria japonica*), ou cèdre du Japon, est la première cause de pollinose au Japon et en Asie de l'est. Ce très bel arbre est de plus en plus fréquemment proposé dans les pépinières. S'il reste encore rare sur notre territoire, on ne peut raisonnablement pas recommander sa multiplication. A noter que des personnes originaires du Japon voient les symptômes de leur allergie se manifester en Suisse et en France aux alentours des parcs où des cryptomérias sont plantés.

L'olivier (*Olea* sp.), s'il n'est pas près d'être cultivé pour son fruit sous nos latitudes, est progressivement introduit comme plante ornementale. Son pollen est l'une des principales causes de pollinose en Méditerranée.

### **Migrations naturelles, rudéralisation**

La pariétaire (*Parietaria judaica*) est une espèce anémogame présente en Méditerranée et jusqu'au sud des Alpes, dont le pollen est particulièrement allergisant. On peut craindre sa migration vers le nord, favorisée par le réchauffement climatique. L'aire de répartition de sa cousine, *P. officinalis*, est en pleine extension, puisqu'on la trouve maintenant jusqu'en Angleterre et dans le nord de l'Europe. Elle est cependant relativement peu abondante. La plupart des allergènes présentent des réactions croisées entre ces deux espèces (D'Amato et al. 1994, Bonura et al. 2006).

D'autres herbacées comme les chénopodiacées (Chenopodiaceae), déjà bien présentes en Europe centrale où leur pollen ne pose pas vraiment de problèmes allergologiques, sont par contre des allergènes importants en Méditerranée. On peut craindre que le réchauffement climatique et une modification de l'usage des sols (rudéralisation croissante, augmentation des jachères) favorisent des milieux ouverts ou perturbés dans lesquels ces plantes sont très compétitives. Ces mêmes facteurs pourraient aussi profiter à de nombreuses herbacées, en particulier aux armoises dont nous avons déjà souligné que leur pollen est un allergène majeur, et à certaines plantes envahissantes, en particulier l'ambrosie (voir plus bas).

### **Plantes envahissantes**

Parmi les plantes envahissantes de la liste noire ou de la watch-list établies par la Commission suisse pour la conservation des plantes sauvages CPS ([www.cps-skew.ch](http://www.cps-skew.ch)), deux sont anémogames, le palmier chanvre (*Trachycarpus fortunei*) et l'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*). Le premier a commencé à envahir certaines forêts du Tessin. L'allergénicité de son pollen n'est pas connue, mais celle d'autres palmiers est établie (Asturias et al. 2005, Chakraborty et al. 2006). La menace la plus directe et la plus importante pour les allergies en Europe est l'extension de l'aire de répartition de l'ambrosie et c'est pour cela que cette plante fait l'objet du chapitre suivant.

Dans la liste noire, citons encore les solidages d'origine américaine (*Solidago canadensis* et *S. gigantea*), qui sont devenus presque ubiquistes dans notre pays, sont vendus dans les jardinerie pour l'ornement des jardins, et dont le pollen est très agressif. Ces plantes envahissent non seulement des milieux naturels ou les bords des voies de communication mais aussi les jardins. Elles sont aussi utilisées en bouquets. Même si elles sont entomogames, la proximité met facilement et fréquemment leur pollen allergisant (réactions croisées avec le pollen des autres composées, en particulier l'armoise) au contact des personnes.

## **5.3 L'ambrosie menace la Suisse**

### **5.3.1 L'ambrosie aux portes de la Suisse**

#### **Néophyte**

L'ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L., appelée ragweed en anglais, herbe-à-poux au Québec), une astéracée originaire du Mid-West américain, est problématique à deux titres. Elle est envahissante et son pollen est très allergisant. Cette herbacée annuelle peut dépasser un mètre de hauteur. Ses feuilles pennatiséquées ne doivent pas être confondues avec celles de l'armoise commune (*Artemisia vulgaris*), qui sont moins découpées et blanchâtres sur la face inférieure. Ses inflorescences terminales allongées en épis sont également bien reconnaissables. Sa floraison a lieu tardivement, d'août à octobre. Un seul individu peut produire plusieurs milliers de graines qui sont capables de survivre jusqu'à 40 ans dans le sol avant de germer (Bassett and Crompton 1975).

#### **Envahissante**

Après avoir conquis les Etats-Unis et le sud du Canada, elle a été introduite dans plusieurs régions du monde et a envahi une partie de l'Europe au cours de la deuxième moitié du vingtième siècle (Déchamp et Méon 2002). Aujourd'hui, l'ambrosie occupe la Hongrie et se répand en Autriche, en Tchéquie et en ex-Yougoslavie (Rybnicek et Jäger 2001). Elle constitue un réel problème dans la plaine du Pô et se répand en Italie (Mandrioli et al. 1998). En France, elle a envahi la vallée du Rhône, la région de Lyon et se répand vers la Bourgogne, l'Ain et la Savoie (Laaidi et al. 2003, Thibaudon et al. 2003). Elle a colonisé les bords de l'autoroute de la Hongrie vers Vienne à une vitesse de l'ordre de 10 kilomètres par année (Jäger, comm. pers.). Si les Alpes représentent une barrière relative à sa dispersion, elles ne devraient pas être totalement épargnées, puisque des populations importantes de cette plante, pourtant considérée comme thermophile, ont été recensées jusqu'à 1400 mètres d'altitude dans la Chartreuse, au-dessus de Grenoble, ce qui révèle l'amplitude de sa capacité d'adaptation.

L'herbe-à-poux est essentiellement liée aux activités humaines. Elle se développe là où le sol a été perturbé (agriculture, travaux, bords des voies de communication, ...). Ses graines aussi sont dispersées avant tout par les activités humaines : le long des voies de communication, avec des transports de terre, par des machines de chantier ou agricoles contaminées (Delabays et al. 2005). La présence de graines d'ambrosie était jusqu'à cette année avérée dans la majorité des lots de graines pour oiseaux commercialisées en Suisse. L'Ordonnance sur le livre des aliments pour animaux (OLAIA), entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> mars 2005, a permis de tarir cette source de contamination diffuse.

L'ambrosie sait se faire longtemps discrète dans les chaumes, friches, jachères et sur le bord des routes avant qu'on ne la remarque. Comme nous le verrons plus bas, c'est souvent son pollen, mesuré par les réseaux aérobiologiques, qui la trahit, ou une culture de tournesol anéantie par sa concurrence qui révèle qu'un important stock grainier est déjà présent dans le sol.

#### **Allergisant**

La littérature concernant la pollinose à l'ambrosie est abondante et le pollen d'ambrosie considéré comme l'un des plus allergisants (Taramarcas et al. 2005). Dans les régions voisines de Suisse

envahies par l'ambrosie, en particulier Lyon et Milan, plus de 12 % de la population totale de ces régions souffre d'allergie à l'ambrosie (Zanon et al. 2002, Christophe et al. 2004). Le pollen d'ambrosie présente en plus des allergies croisées avec l'armoise (Hirschwehr et al. 1998, Wopfner et al. 2005), un pollen déjà considéré comme important dans nos régions. A l'augmentation des quantités de pollen dans l'air d'une région correspond une augmentation des cas de sensibilisation à l'ambrosie (Jäger 2000).

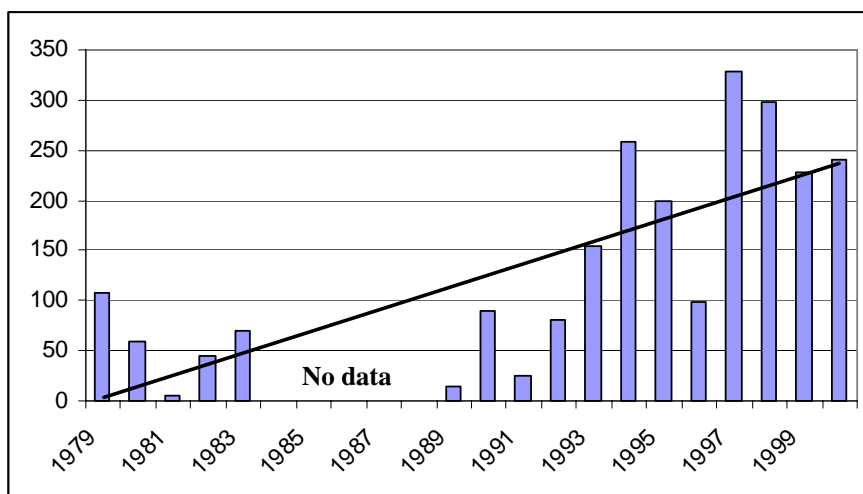
### **Favorisée par le changement climatique**

Les aspects de la problématique de l'ambrosie liés au changement climatique ont été mentionnés au chapitre 4.3.4. Rappelons qu'une atmosphère enrichie en gaz carbonique et des températures plus élevées favorisent la production de pollen par l'ambrosie et prolongent la durée de sa floraison. Si les activités humaines sont la principale cause de la dispersion de cette plante, le réchauffement climatique est susceptible de favoriser son succès, par exemple en perturbant la végétation en place et lui donnant accès à des milieux ouverts.

### **Première annonce en Suisse**

Quelques individus d'ambrosie ont été signalés dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle en Suisse, mais l'ambrosie est restée discrète dans notre pays jusqu'à la fin du vingtième siècle. Allergologues et botanistes croient alors notre pays à l'abri de cette menace. Pourtant, depuis longtemps du pollen d'ambrosie avait été enregistré dans l'air par les capteurs des aérobiologistes (Varonier 1969, Leuschner 1978, Clot 1993), mais ceux-ci l'attribuaient surtout à du transport à longue distance par les vents depuis la région de Lyon, bien envahie par l'ambrosie depuis de nombreuses années et source importante de pollen (Déchamp et al. 1997). Cette interprétation était bien soutenue par la simultanéité des épisodes au cours desquels de petits pics de pollen d'ambrosie étaient enregistrés dans les capteurs des différentes stations de l'ouest du Plateau (Genève, Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds, parfois Bâle et/ou Berne) (Peeters 2000).

Figure 5.2. Indice pollinique annuel de l'ambrosie à Genève pour les années 1979 à 2000 (1984-1988 pas de données).



Cependant, dès la fin des années 1990, l'augmentation persistante de l'indice annuel de l'ambrosie à Genève (Figure 5.2) a attiré notre attention et nous a amené à soupçonner que la source du pollen avait dû se rapprocher et qu'elle s'était peut-être même installée dans le bassin genevois. En 2000, des plants d'ambrosie ont effectivement été découverts à Genève. Un contact avec des

allergologues, des botanistes et des agronomes genevois a permis la création du « groupe de travail ambrosie de Genève », un groupe interdisciplinaire d'abord informel qui s'est mobilisé pour faire connaître toute la problématique et l'urgence de la situation suisse face à la menace de l'arrivée de l'ambrosie (Delabays et al. 2002).

La grande question à résoudre à ce moment-là est devenue : d'où vient le pollen d'ambrosie enregistré en Suisse et quelle est la contribution des plantes locales à l'exposition de la population à ce pollen très allergisant ?

### **5.3.2 Problématique aérobiologique**

Les résultats préliminaires de cette étude avaient été publiés dans :

Clot B, Schneider D, Tercier P, Gehrig R, Peeters A, Thibaudon M. **Pollen d'ambrosie en Suisse : production locale ou transport?** Allergie & Immunologie 34: 126-128 (2002).

### **Transport du pollen depuis la région lyonnaise**

Il fallait d'abord établir clairement ce qui semblait évident depuis longtemps, à savoir que le pollen d'ambrosie mesuré dans l'air de l'ouest du Plateau suisse était transporté depuis la région de Lyon par les vents du sud-ouest. Le transport à longue distance de pollen d'ambrosie était déjà connu en Europe, puisque ce pollen est régulièrement enregistré jusqu'en Suède, où il n'y a pas d'ambrosie (Dahl et al. 1999) ; il s'est également vu confirmer récemment dans des situations plus complexes en Italie (Cecchi et al. 2006).

Plusieurs preuves convergentes du transport de pollen d'ambrosie depuis la région de Lyon peuvent être apportées (Clot et al. 2002) :

- 1) les faibles quantités de pollen enregistrées dans toutes les stations, à l'exception de Genève,
- 2) l'équivalence des indices polliniques dans les différentes stations, à l'exception de Genève ; pour l'exemple montré dans la Figure 5.3, il faut tenir compte du fait qu'aucune source d'ambrosie n'est connue dans le Jura neuchâtelois hormis quelques individus isolés sur le Littoral,
- 3) la diminution de l'indice annuel en fonction de la distance à la source (Figure 5.4), Genève, Lausanne, Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds, Bâle ; il faut noter que les quantités élevées de pollen enregistrées au Tessin sont liées à une proximité des sources d'ambrosie dans la plaine du Pô et également des sources locales (voir plus bas),
- 4) la proportionnalité inter-annuelle des indices polliniques annuels entre la région d'émission et celle d'immission (Figure 5.5),
- 5) le caractère épisodique de l'enregistrement de ce pollen,
- 6) l'apparition de ces épisodes aux mêmes dates dans les stations de mesures (Genève, Neuchâtel, La Chaux-de-Fonds) (Figure 5.6),
- 7) la corrélation de ces épisodes avec des vents du sud-ouest (Figure 5.6),
- 8) la possibilité de retracer le mouvement des masses d'air par le calcul des rétro-trajectoires et de confirmer ainsi la possibilité du transport,
- 9) l'observation que ces masses d'air ont précisément transité au-dessus de la région concernée au moment où du pollen était émis.

Au sujet de ce dernier point, il faut savoir que l'ambrosie émet du pollen le matin dès le lever du soleil et que cette émission s'arrête avant la mi-journée (Dingle et al. 1959, confirmé par de nombreux auteurs depuis lors).

Une confirmation supplémentaire de ces transports épisodiques de pollen depuis la région de Lyon a été apportée récemment par une modélisation de ces épisodes au moyen de modèles de dispersion (Becerra-Acosta et al. en préparation) (Figure 5.7).

Figure 5.3. Indice pollinique annuel de l'ambroisie à Neuchâtel et La Chaux-de-Fonds 1988 – 2000 (\* La Chaux-de-Fonds 1992 : données incomplètes en raison d'une panne du capteur).

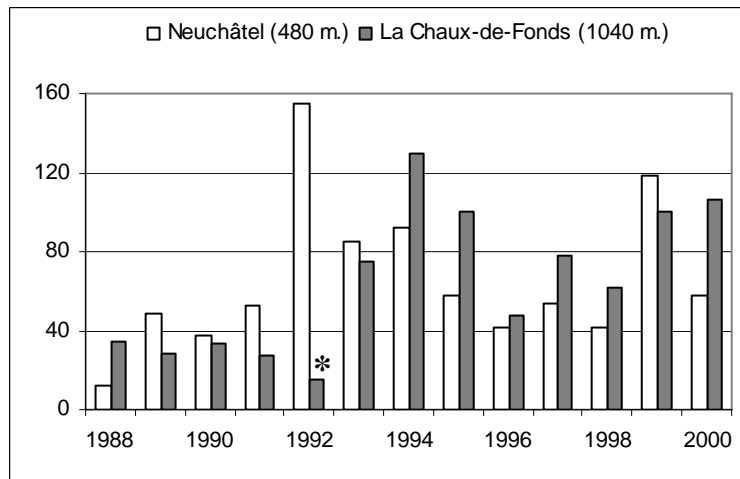


Figure 5.4. Indice pollinique annuel de l'ambroisie, moyenne 1993 – 2005 (excepté Lucerne 1997 – 2005). Les chiffres indiquent la valeur de l'indice dans une station et les barres visualisent l'importance relative de ces valeurs.

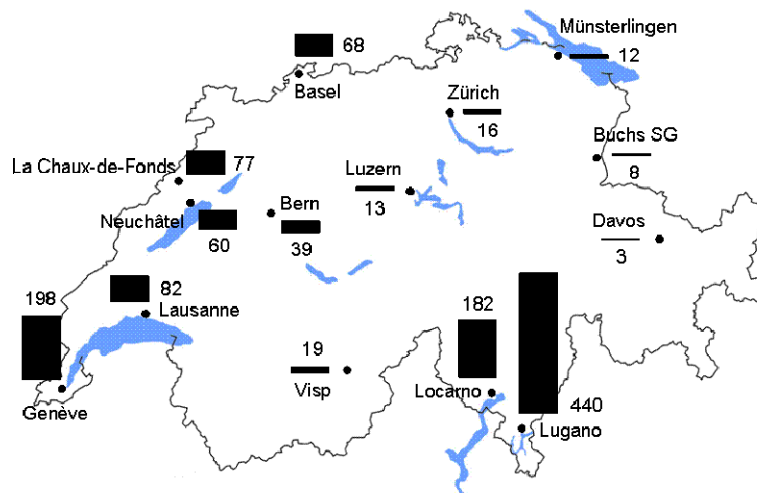


Figure 5.5. Indice pollinique annuel de l'ambrosie à Genève et 1/10 à Lyon 1989 – 2001 (source des données de Lyon : RNSA).

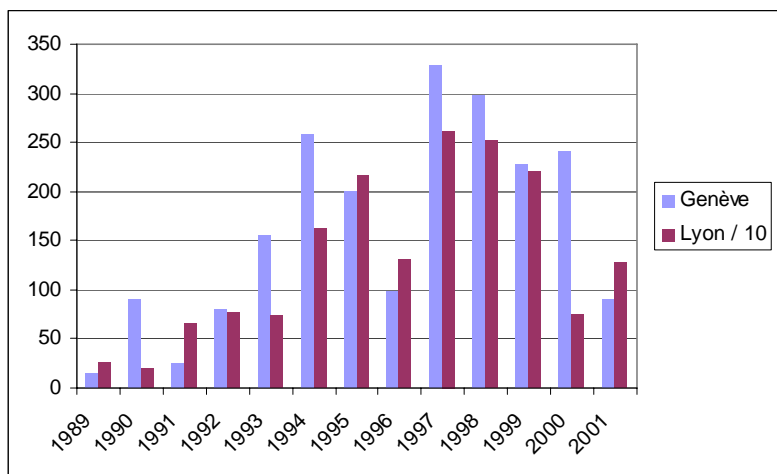


Figure 5.6. Concentrations journalières de pollen d'ambrosie à Genève (rouge) et Neuchâtel (bleu) en 1999, avec, en pointillé, les directions du vent dans ce deux villes (échelle de droite). On constate que les épisodes d'arrivée de pollen d'ambrosie correspondent à des vents de sud-ouest.

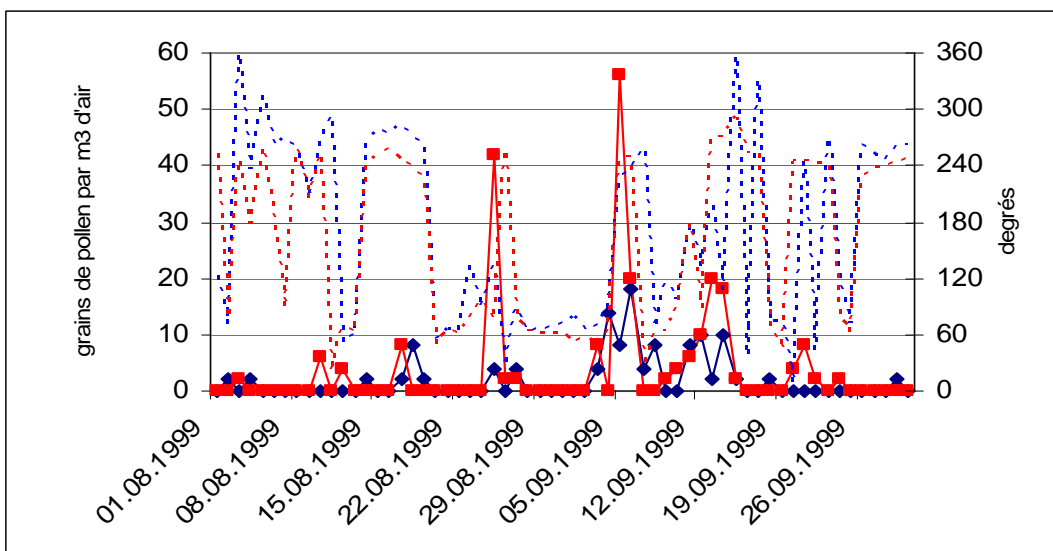
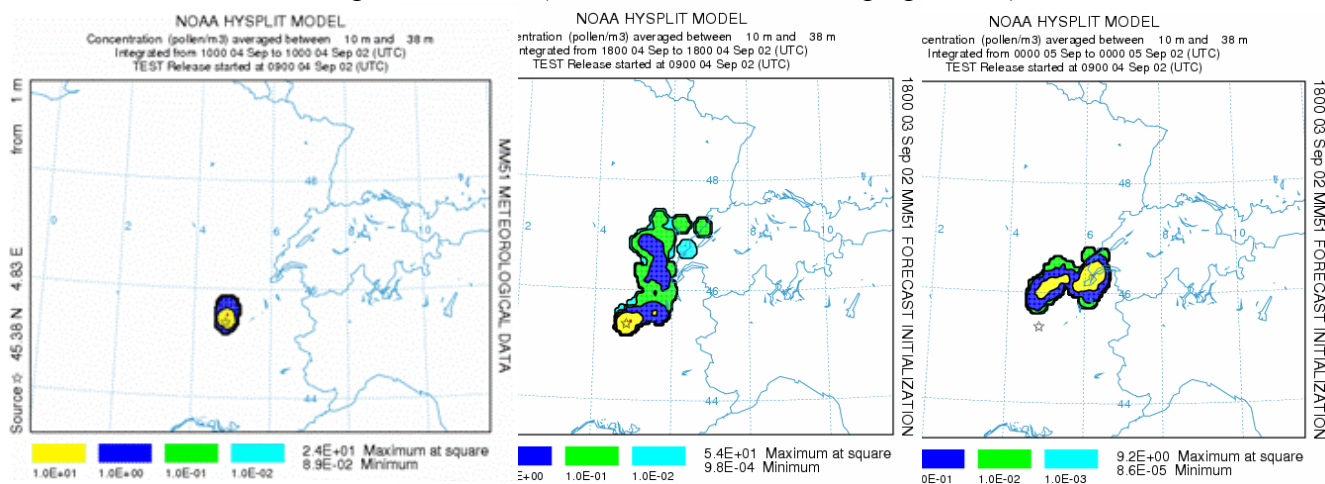


Figure 5.7. Modélisation d'un nuage de pollen d'ambrosie parti de la région de Lyon et atteignant l'ouest de la Suisse le 2 septembre 2004 (Becerra-Acosta et al. en préparation).

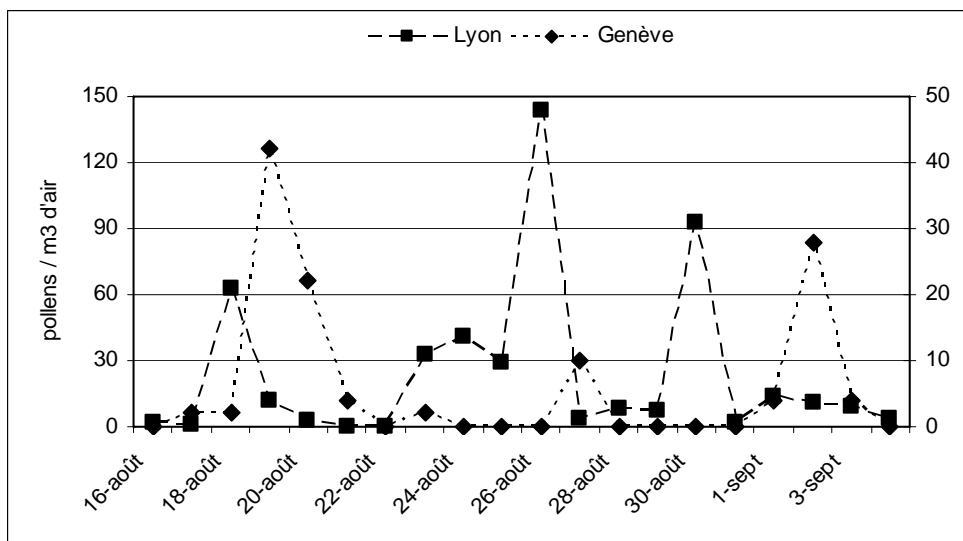


### Des indices d'une autre source

Les paragraphes qui suivent jusqu'à la fin du chapitre 5.3.2 n'ont pas encore fait l'objet d'une publication détaillée; elle est en préparation.

Le transport de pollen à longue distance ne permet pas d'expliquer l'augmentation des quantités de pollen à Genève. En effet, avec la dilution due à la distance du transport, il aurait fallu que la source soit devenue beaucoup plus intense, ou alors que la fréquence des vents du sud-ouest en août-septembre ait fortement augmenté, deux conditions non confirmées. L'extension de l'aire de répartition de l'ambrosie en direction de Genève, voire même son installation dans la région genevoise, et par là-même l'existence d'une source locale de pollen, était une explication beaucoup plus probable. Une étude comparée des données journalières à Lyon et Genève venait renforcer l'idée d'une autre source. La figure 5.8 illustre bien cette hypothèse. En effet, l'origine lyonnaise du pollen peut bien être supputée lorsqu'il y a beaucoup de pollen à Lyon et moins à Genève (épisodes des 18-19 août et 26-27 août ; l'intensité du pic du 19 août à Genève est cependant étonnante). De même, l'absence de pollen à Genève alors qu'il était bien présent à Lyon le 30 août s'explique aisément par un vent ne soufflant pas de la plaine rhodanienne vers Genève. En revanche, il est difficile d'expliquer le pic du 2 septembre 2000 autrement que par une source différente de la région de Lyon.

Figure 5.8. Concentration journalière moyenne du pollen d'ambrosie à Lyon (échelle de gauche) et Genève (échelle de droite) du 16 août au 4 septembre 2000 (source des données de Lyon : RNSA).



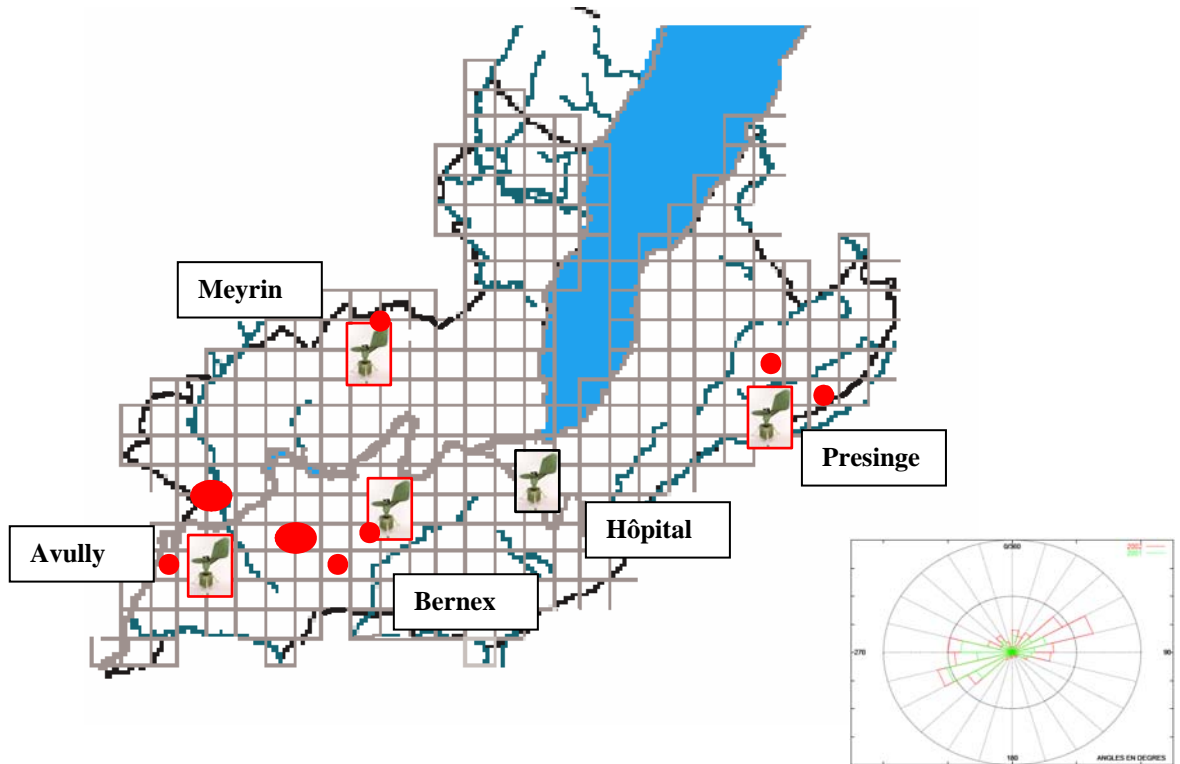
### Un réseau local de mesure du pollen

La situation genevoise, à la limite de la distribution de l'ambrosie, avec des sources de pollen connues à longue distance et des sources locales supposées, était une situation particulièrement intéressante pour récolter des données, tenter d'identifier l'origine du pollen mesuré dans l'air et suivre l'importance du développement des sources locales. Le « groupe ambrosie » de Genève a donc soutenu la mise en place d'un réseau de mesures destiné à mieux comprendre la provenance du pollen mesuré dans l'air (Maurer 2003). Ce réseau a fonctionné pendant les saisons 2001, 2002 et 2003. La figure 5.9 montre l'emplacement des capteurs, dont la disposition a été choisie afin qu'ils soient le plus possible dans l'axe des vents dominants du sud-ouest, avant et après le capteur du centre-ville (Hôpital), qui est le capteur permanent du réseau national de mesure du pollen depuis 1979. Pour comparaison, un capteur était à l'écart de cette ligne (Meyrin). Les analyses polliniques ont été réalisées avec un pas de temps de deux heures pour une étude plus précise.

### Repérage des sources locales

Le « groupe ambroisie » de Genève a aussi réalisé durant la même période une prospection systématique du canton afin de connaître la répartition précise de cette plante (Maurer 2003). Un certain nombre de stations ont été découvertes. Les unes ne recelaient que peu d'individus alors que d'autres étaient nettement plus envahies et comptaient déjà quelques centaines et même quelques dizaines de milliers de pieds (Figure 5.9). Il est remarquable de constater qu'une plante avait ainsi pu passer inaperçue des botanistes, agriculteurs et autres spécialistes de l'environnement, alors même qu'elle était déjà présente en masse sur certains terrains. L'avertissement vaut pour les autres régions, il vaut mieux chercher l'ambroisie avant qu'elle se fasse remarquer par son abondance !

Figure 5.9. Position des capteurs du réseau particulier mis en place à Genève pour les saisons 2001 à 2003 avec les noms des localités dans lesquelles ont été placés des capteurs. Emplacement des champs d'ambroisie repérés pendant la campagne de mesures (points rouges : quelques centaines d'individus, ovales rouges : plusieurs milliers). Les stations comprenant moins d'une centaine d'individus ne sont pas figurées. La petite figure montre la rose des vents à Genève d'août à octobre.



### Contribution des sources locales

Les mesures de pollen d'ambroisie réalisées dans ce réseau local ont fourni des résultats particulièrement intéressants et originaux. On distingue deux types d'immissions dans les capteurs : 1) un pic de pollen est capté simultanément dans tous les capteurs, 2) un pic isolé est enregistré dans un seul capteur. On enregistre également de temps à autres quelques grains de pollen isolés dans un ou l'autre capteur, sans qu'on puisse ou doive leur attribuer une signification particulière, sinon qualitative.

La première situation correspond à un épisode de transport à longue distance depuis la région de Lyon. La masse d'air transportant le pollen arrive sur Genève et du pollen est capté dans toutes les stations simultanément. Le vent provient du sud-ouest. Il est particulièrement intéressant et significatif que ces épisodes interviennent tous en fin de journée, puisque, les modélisations l'ont

par la suite démontré, l'intervalle de temps entre le moment où le pollen est émis dans la région de Lyon et celui où il est capté près de Genève correspond à la durée du transport par le vent.

La seconde correspond à des pics produits localement : ils ont tous lieu le matin, pendant les heures où le pollen est émis, et correspondent à la direction momentanée du vent entre une source locale identifiée au cours de l'étude et le capteur en question. La figure 5.10 illustre très bien ces deux types de pics produits par du pollen d'origines différentes. Un pic important de pollen « importé » est enregistré le 3 au soir ; un pic de pollen produit localement est enregistré le 4 au matin à Bernex ; le petit visible le 4 en fin d'après-midi est plus difficile à attribuer. L'intensité de ces pics isolés le matin est une mesure directe de l'exposition momentanée à des quantités élevées de pollen d'ambrosie des populations situées sous le vent d'un champ contaminé.

L'étude détaillée de l'arrivée du pollen dans une station en relation avec la direction momentanée du vent est également très instructive (Maurer 2003). On peut ainsi repérer des sources d'origine différentes. Sur la Figure 5.11, la grande majorité du pollen qui arrive à Avully provient du sud-ouest et est probablement un mélange entre du pollen de Lyon et un peu de pollen des ambrosies locales du champ situé au sud-ouest de la station. Cependant, le pollen enregistré lors de vent du nord provient très vraisemblablement des quelques champs fortement envahis à Dardagny (point au nord d'Avully sur la Figure 5.9). Le pollen enregistré en provenance de cette direction illustre bien l'impact d'une exposition à quelques deux kilomètres de distance, dans une direction du vent pourtant peu fréquente (il est vrai que les quantités de pollen sont assez faibles également).

Figure 5.10. Concentrations de pollen d'ambrosie (grains par m<sup>3</sup> d'air) mesurées par tranches de 2 heures les 3 et 4 septembre 2002.

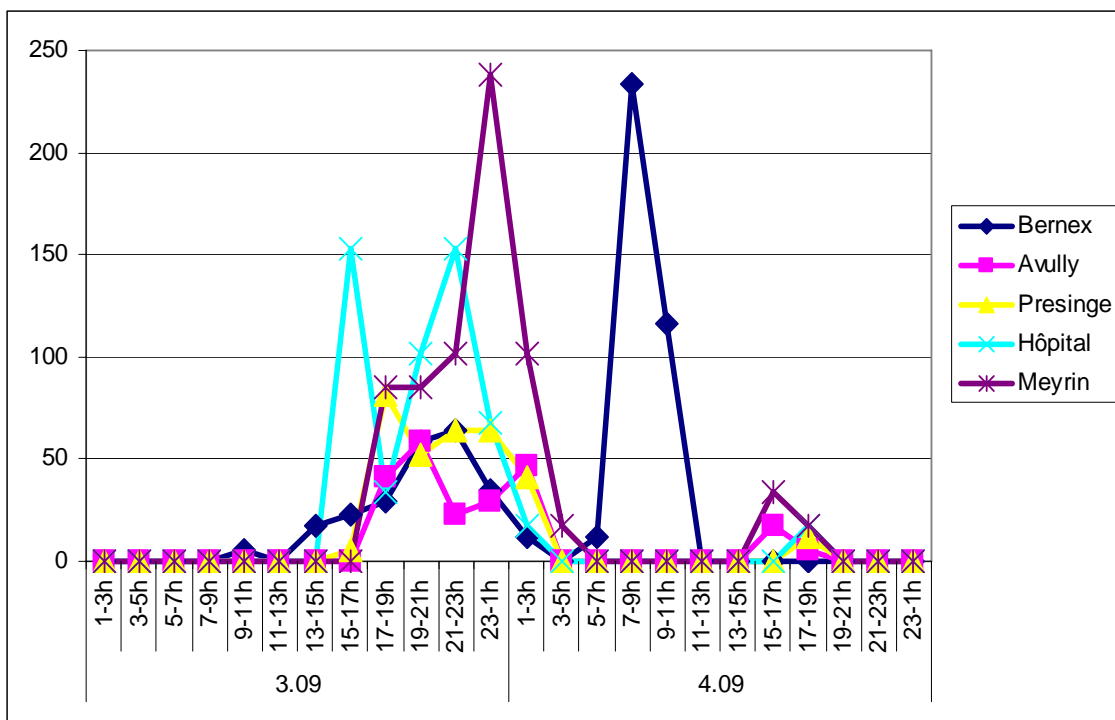
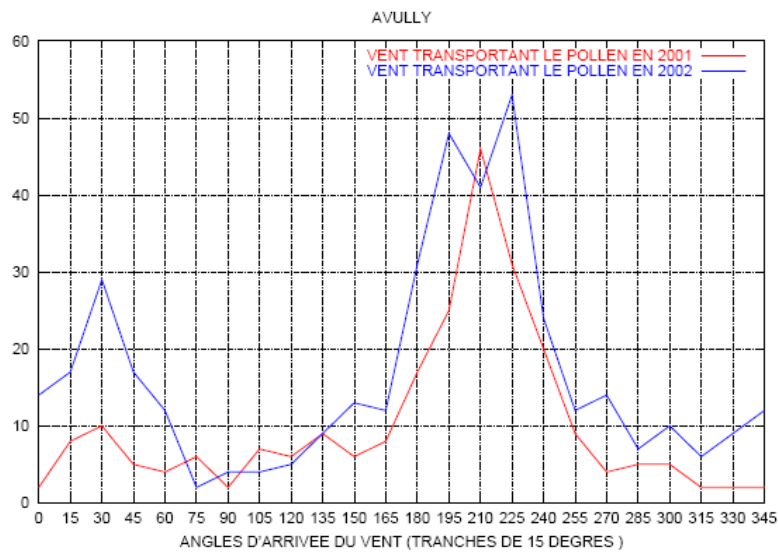


Figure 5.11. Indice pollinique annuel à Avully en 2001 et 2002 en fonction de la provenance du vent (en degrés : 0 est le nord, 90 l'est, 180 le sud, 270 l'ouest). Mesures de la journée entière (tiré de Maurer 2003).



Une autre façon d'estimer la contribution d'une source locale est de comparer les résultats dans deux stations. A cet effet, les stations de d'Avully et de Bernex représentent une situation idéale. Elles sont toutes deux situées dans l'axe des vents dominants, mais une source importante de pollen a été observée entre elles. On voit dans la figure 5.12.a que les deux stations enregistrent la même quantité de pollen l'après-midi et la nuit, c'est-à-dire lorsqu'on s'attend à du pollen transporté à longue distance. Au contraire, le matin, entre 6h et 14h, lorsqu'a lieu l'émission du pollen, l'effet de la source située entre ces deux stations est bien visible (Fig 5.12.b).

Figure 5.12.a. Indice pollinique annuel à Avully et Bernex en 2001 du pollen arrivé entre 14h00 et 6h00, en fonction de la provenance du vent (tiré de Maurer 2003).

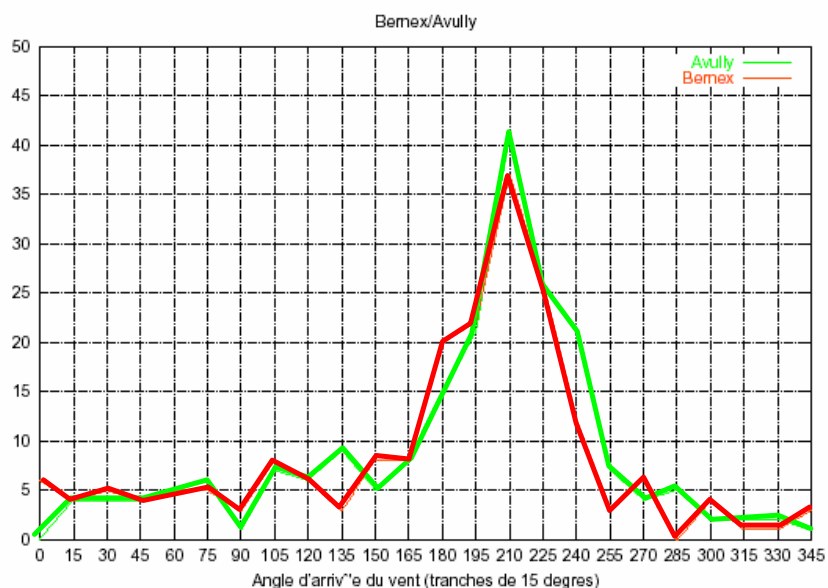
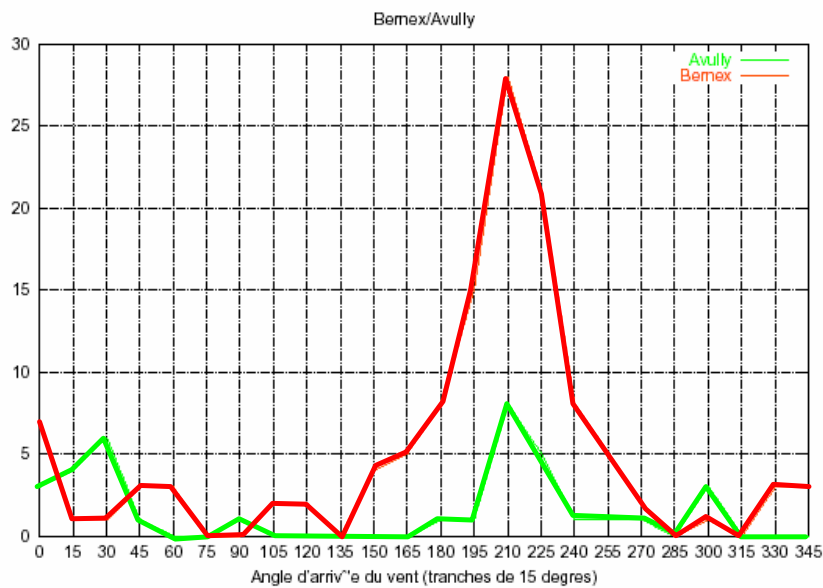


Figure 5.12.b. Indice pollinique annuel à Avully et Bernex en 2001 du pollen arrivé entre 6h00 et 14h00, en fonction de la provenance du vent (tiré de Maurer 2003).



### Récapitulation

L'importance des données aérobiologiques est confirmée. Elles ont permis d'attirer l'attention sur l'installation de l'ambrosie à Genève, sous la forme de populations et non d'individus isolés. Leur simple analyse fournit des indications importantes sur le transport et l'origine possible du pollen.

Il est confirmé que la plus grande partie du pollen d'ambrosie enregistré en Suisse provient de la région lyonnaise. Cependant, du pollen produit à l'échelle locale, sur de petites surfaces, influence de façon notable les concentrations de pollen dans l'air. Certes le rayon touché est limité. Ainsi, par exemple, on ne remarque pas l'influence des sources de l'ouest du canton sur la station de Puplinge. Cela montre que les personnes qui résident aux alentours des champs envahis par cette plante peuvent entrer en contact avec des quantités de pollen suffisantes pour se sensibiliser.

La tendance à l'augmentation des quantités de pollen d'ambrosie à Genève est donc provoquée par la superposition de deux phénomènes distincts: un transport à longue distance et une production locale de pollen. Les résultats concernant la contribution des sources locales sont très originaux et particulièrement prometteurs. Ils ont un grand pouvoir explicatif, mais il est encore difficile de les interpréter en terme quantitatifs de l'intensité de l'exposition à du pollen local. En effet, l'emplacement des stations de mesure du pollen a été déterminé sans connaître la localisation des ambrosies, puisque ces travaux ont eu lieu parallèlement. D'autre part, les quantités de pollen mesurées sont relativement faibles, ce qui augmente l'importance relative de l'erreur de mesure. Les personnes qui vivent dans un rayon d'un à deux kilomètres des champs envahis sont cependant sans doute exposées à des quantités plus élevées de pollen local que de pollen transporté à plus grande distance.

Les résultats de cette étude montrent l'intérêt des données aérobiologiques, qui peuvent être interprétées à différentes échelles et avec différents niveaux de précision, mais dont les conclusions ne font que se confirmer à chaque étape.

### **5.3.3 Conséquences de la présence de l'ambroisie en Suisse**

#### **La situation au Tessin**

Une situation assez semblable à celle de Genève a ensuite été mise en évidence au Tessin, où des études semblables ont été entreprises (Ciotti et al. 2004, Köhler et al. 2006, Köhler et al. 2007). Les indices annuels de pollen d'ambroisie sont plus élevés au sud du Tessin qu'à Genève (Figure 5.4), mais, de façon surprenante, ils n'augmentent pas de façon significative au cours des années. Les concentrations sont cependant bien assez élevées pour provoquer la sensibilisation de la population et faire apparaître des symptômes chaque année chez les personnes sensibilisées. Des données épidémiologiques manquent cependant dans cette région.

#### **Augmentation de la sensibilisation en Suisse**

Au cours de ces dernières années, des individus isolés ou de très petites populations d'ambroisie ont été découverts un peu partout sur le Plateau suisse. Frei (2006) et Bach et al. (2007) ont montré qu'une partie non négligeable (environ 8%) de la population suisse est déjà sensibilisée au pollen d'ambroisie, sans qu'il soit possible de dire s'il s'agit d'une sensibilisation directe ou croisée avec l'armoise. Davet et al. (2007 a et b), ont montré que depuis 2001 le nombre de nouveaux patients sensibilisés chaque année à l'ambroisie augmente et que la majorité de ces sensibilisations est acquise dans la région de Genève (personnes n'ayant jamais vécu dans une autre région où l'ambroisie est présente). La sensibilisation de nombreux individus est ainsi actuellement en cours en Suisse et les manifestations allergiques sont de plus en plus fréquentes. Comme ailleurs, ils suivent de quelques années l'installation de la plante dans une région.

#### **L'ambroisie, un fléau inévitable ?**

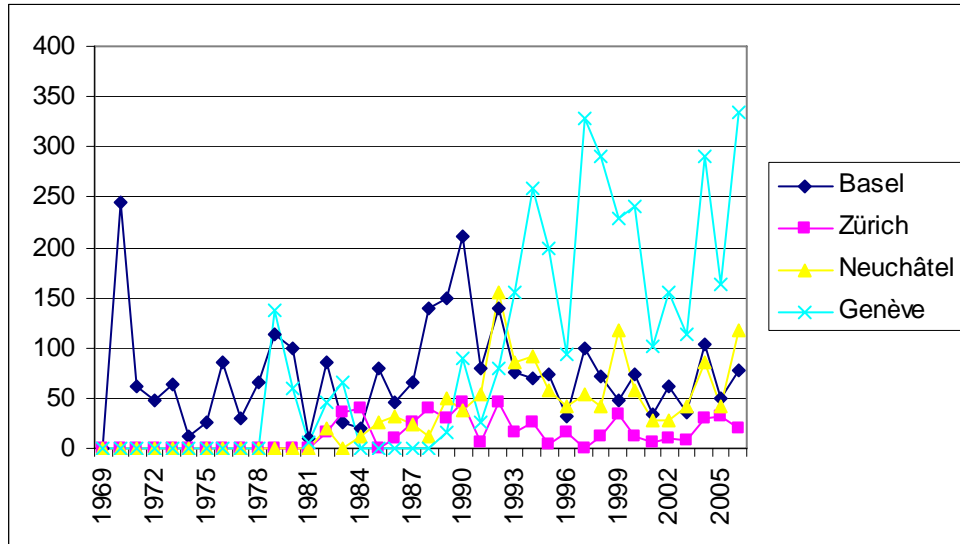
Les mesures du pollen de l'air effectuées par MétéoSuisse ont révélé l'augmentation régulière des concentrations de pollen d'ambroisie dans plusieurs régions et en particulier à Genève et au Tessin. Les recherches menées par des groupes multidisciplinaires comprenant botanistes, agronomes, médecins et aérobiologistes ont conduit dans ces régions à la découverte sur le terrain de plusieurs populations où les plantes se comptent par dizaines de milliers. Dans le reste de la Suisse, des individus isolés ou de petites populations ont été recensés. La Figure 5.13 montre que ce n'est que lorsque la plante commence vraiment à coloniser une région que les quantités de pollen augmentent vraiment. L'origine du pollen d'ambroisie abondamment présent à Bâle certaines années (1970, 1990) n'est pas connue. La présence de plants d'ambroisie dans la région du port de Bâle est attestée depuis longtemps (Leuschner 1978). Il est possible que certaines années une population plus importante se développe à la faveur de certaines activités dans cette zone.

L'invasion de la Suisse par l'ambroisie et l'apparition des allergies qui lui sont liées sont-elles donc inéluctables? Non, des mesures préventives efficaces existent - arrachage, végétalisation des sols, surveillance aérobiologique -, mais elles requièrent une prise de conscience précoce et une action concertée des différents milieux concernés. Il faut par exemple savoir que dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, l'ambroisie a pu être éradiquée de la Gaspésie (Québec) grâce à des campagnes d'arrachage menées avec ténacité.

Grâce à l'intervention précoce et l'action efficace des groupes « ambroisie », plusieurs lois ont été modifiées dans un temps record afin de tenir compte de cette menace. Ainsi, l'Ordonnance sur la protection des végétaux (OPV) oblige la lutte contre l'ambroisie dès le 1er juillet 2006. L'Ordonnance sur le livre des aliments pour animaux (OLAIA) interdit la présence de graines d'ambroisie dans les aliments pour animaux depuis le 1er mars 2005. Enfin, l'Ordonnance sur la dissémination dans l'environnement (ODE), dont la nouvelle version entrera vraisemblablement en vigueur fin 2007, interdira expressément l'importation, le transport et la dissémination de l'ambroisie et de ses graines. Il restera à voir quel suivi pratique sur le terrain sera donné à ces lois.

Ce n'est en effet pas facile de stopper une telle invasion et demande certains moyens. Mais il semble raisonnable d'investir maintenant quelques milliers de francs pour prévenir des coûts de santé qui s'élèveront à plusieurs centaines de millions dans quelques années et cela en évitant sensibilisation et allergie à de très nombreuses personnes.

Figure 5.13. Indices polliniques annuels dans plusieurs stations du Plateau suisse. Début des mesures : Bâle 1969, Zurich 1981, Neuchâtel 1981, Genève 1979 (1984-88 pas de données).



## **6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

## 6.1 Conclusions

La présente thèse rend compte d'une partie de la diversité des intérêts, des méthodes et des applications de l'aéropalynologie. Au carrefour de la botanique, de la météorologie et de la médecine, elle souligne l'intérêt que présente l'intégration des connaissances de différentes disciplines. Les publications qu'elle comprend apportent, outre des résultats concrets et appliqués, quelques éléments intéressants concernant l'interprétation et l'usage des données aéropalynologiques.

### Prévision saisonnière

#### *Bouleau et graminées*

Ce chapitre, concernant la saison des deux taxons les plus allergisants en Europe centrale, a introduit une idée intéressante dans le concept de prévision du début d'une saison pollinique en séparant en deux phases distinctes la période qui précède la maturité des fleurs – classiquement modélisée par un cumul de températures à long terme – et la période qui sépare cette maturité de l'apparition du pollen dans l'air, fortement influencée à court terme, par la température, mais aussi les précipitations, l'humidité atmosphérique et le vent. Ainsi, le début de la saison prévisible à moyen terme est le moment de la maturité des fleurs (début biologique de la saison); le fait que le pollen soit alors effectivement libéré dans l'air ou que cet événement soit reporté de quelques jours (début mesuré de la saison) dépend alors des conditions météorologiques à court terme et est à considérer comme un phénomène « intra saison ». Si cette considération n'améliore pas fortement la prévision à moyen terme (~ 1mois), elle en montre les possibilités et les limites tout en apportant une explication plus précise au sujet des causes des variations inter annuelles observées et ouvre des perspectives vers l'identification de facteurs de causalité (au lieu de corrélation). On constate aussi que la formule de prévision proposée reste valable dans le temps, mais n'est pas facilement transposable dans l'espace.

#### *Usage du rythme journalier dans l'information des patients allergiques*

"La concentration en pollen dans l'air est plus faible en fin de nuit" une assertion qui sert de justification à différents conseils de comportement donnés aux patients allergiques, qui peuvent dans certains cas se révéler fort inappropriés, est ainsi corrigée. De nombreux points sont à considérer : la sédimentation du pollen est bien sûr favorisée en fin de nuit par temps calme, mais ce n'est pas le cas avec toutes les situations météorologiques. Beaucoup d'espèces libèrent leur pollen en journée, mais certaines le font la nuit. La distance entre la source du pollen et le lieu de vie de la personne allergique peut être à l'origine d'un important décalage du pic de pollen dans le temps. Les variations inter annuelles sont importantes. En ce qui concerne la période principale du pollen de bouleau, le risque d'inhaler une concentration très élevée de pollen est plus grand que celui de se trouver au contact de concentrations faibles, ceci à toute heure du jour et de la nuit. Le seul conseil fiable pour aérer les appartements sans y faire entrer des quantités importantes de pollen en haute saison pollinique est par conséquent d'aérer lorsqu'il pleut assez longtemps.

### Conséquences du changement climatique

#### *Influence du changement climatique sur la phénologie*

Les observations phénologiques ont commencé en Suisse en 1951, alors que les premières mesures aéropalynologiques datent de 1969 (Bâle) et 1979 (Neuchâtel et Genève). La libération du pollen étant par définition une phase phénologique, les données phénologiques réunies jusqu'ici offrent une base de mesures plus longues et un cadre plus large à l'étude de l'influence du changement climatique sur la végétation. Elles donnent aussi une idée différente de la variabilité

régionale/locale, alors que la mesure aéropalynologique a un caractère intégrateur. Notre étude met en évidence la réaction immédiate de la végétation au changement climatique. Elle souligne surtout les tendances à long terme, début précoce du développement au printemps, avance moins marquée des phases estivales, allongement de la saison de végétation, automne tardif. Ce travail a été l'un des premiers à intégrer l'ensemble des données d'un réseau important et reste une référence dans ce domaine.

#### *Evolution du calendrier pollinique*

Ce chapitre a pour originalité d'intégrer le pollen dans l'air dans le cadre plus large des études concernant le changement climatique observé dans la deuxième moitié du vingtième siècle. Il s'attache aussi à analyser l'importance des tendances observées pour les allergies. Il s'agit de la première étude de ce genre incluant un grand nombre de taxons, offrant ainsi une vision d'ensemble sur toute la saison pollinique. Elle démontre les effets du réchauffement climatique sur les périodes d'apparition des pollens, qui ont des conséquences sur l'apparition des symptômes et sur la thérapie des maladies allergiques. Le début précoce de la saison est particulièrement remarquable, alors que l'augmentation des quantités de pollen, si elle est bien réelle, est lente et vraisemblablement pas en lien direct avec l'augmentation rapide des allergies. Pour les personnes sensibilisées, la période de risque s'allonge et les seuils risquent d'être dépassés plus souvent à l'avenir.

### **Nouveaux risques d'allergies**

#### *Nouvelles sensibilisations à des pollens locaux (un pollen peut en cacher un autre !)*

Le bouleau est l'arbre qui, en Europe centrale et du nord, provoque le plus grand nombre de cas d'allergies. Son pollen est également très abondant dans l'air. Ces deux constatations ont amené une focalisation sur son pollen comme source principale de manifestations allergiques au début du printemps. Le pollen d'autres espèces, comme le frêne et le charme, dont la floraison a lieu simultanément, a ainsi été négligé. En particulier, l'importance quantitative du pollen de charme est mise en évidence. Ainsi, du groupe de patients développant une allergie pendant la saison de pollinisation du bouleau et du charme, 60 pour cent sont sensibles au pollen des deux taxons. L'importance qualitative du pollen de charme est également soulignée, puisque 12,5% des personnes de ce même groupe sont sensibles seulement au pollen de charme. Ce type d'observations est de nature à faire évoluer les principes établis en matière de tests allergologiques et contribue à la reconnaissance de nouveaux allergènes.

#### *Extension d'aires de répartition, introduction de nouvelles espèces*

Que ce soit par l'introduction de variétés ornementales, la migration naturelle d'espèces ou l'implantation d'une plante envahissante, l'arrivée de nouveaux allergènes dans l'air de notre région est relativement fréquente et vraisemblablement amenée à se poursuivre. La reconnaissance précoce des situations à risque particulier pour la santé humaine, comme les taxons dont l'allergénicité est connue ailleurs, est importante pour permettre de mener à bien des actions de prévention à un moindre coût. De plus, des plantes très minoritaires à l'échelle régionale pourraient jouer un rôle à l'échelle stationnelle. L'engouement croissant pour les plantes étrangères à notre flore pourrait ainsi élargir le risque de développement de nouvelles allergies.

#### *Détection précoce d'une plante envahissante*

L'aéropalynologie s'est avérée très utile dans la découverte de l'arrivée d'un dangereux envahisseur, l'ambrosie, dans la région de Genève. Des mesures sur le terrain ont ainsi pu être prises à un stade précoce de la phase d'envahissement. Un inventaire aussi complet que possible des stations et une élimination des plantes avant la maturité des fruits ont été réalisés. La poursuite de ces mesures devrait permettre d'empêcher la dissémination de l'ambrosie dans notre pays. La lutte s'est aussi organisée aux niveaux national et international.

Le pollen d'ambroisie est un excellent modèle pour l'étude du transport à moyenne et longue distance. L'originalité particulière de nos travaux réside dans l'évaluation de l'importance des sources locales par rapport au pollen allochtone.

## **Responsabilité**

Les changements qui interviennent dans notre environnement, provoqués directement ou indirectement par les activités humaines, tendent à élargir le spectre des allergènes de l'air. De plus, la pollution, autre facteur anthropogène, augmente la quantité d'allergènes et de substances irritantes présentes dans le pollen, tout en fragilisant les mécanismes de défense et de régulation du corps humain. Elle aggrave donc les manifestations allergiques. Le risque devient donc de plus en plus grand de souffrir de pollinose.

Cette évolution alarmante n'est cependant pas inéluctable. Dans la mesure où l'être humain, par ses activités, est à l'origine de la plupart des situations négatives évoquées, la tendance peut être renversée. Encore faut-il que la volonté et l'engagement de chacun se manifeste d'une manière durable pour initier, développer et soutenir des projets visant à l'amélioration de la situation, sur le terrain comme dans les domaines financiers et politiques. Au moment où le financement des coûts de la « santé » continue de peser sur les budgets des individus comme sur ceux des collectivités, la qualité de vie, tributaire aussi de la qualité de l'air, devrait devenir un thème d'innovation au bénéfice et non à la charge de la société. La prévention des allergies appartient précisément aux mesures influençant directement le budget de la santé et la qualité de vie.

## **6.2 Perspectives**

Le succès futur et l'intérêt de l'aérobiologie résident dans la capacité des chercheurs à établir de nouveaux concepts comme dans la mise en œuvre de projets destinés à répondre à d'anciennes questions restées sans réponse. Actuellement, ces nouvelles étapes ne nécessitent pas forcément de nouvelles expériences, mais elles passent assurément par la mise en commun de savoirs et de compétences existants, mais encore cloisonnés. Les défis les plus urgents sont donc liés au renforcement de collaborations à tous les niveaux, local, national et international, mais en particulier multidisciplinaires. La mise en œuvre de ces objectifs permettra la prise de conscience que l'aérobiologie est une science à part entière et non seulement une interface entre des sciences plus traditionnelles. C'est ainsi sous le signe de la collaboration et de l'intégration qu'à eu lieu à Neuchâtel l'an passé le 8<sup>ème</sup> congrès international d'aérobiologie (8<sup>th</sup> ICA), sous le titre « Aerobiology : towards a comprehensive vision ».

## **Mesure**

Une étape importante doit être réalisée dans le développement de la mesure aérobiologique, avec pour vision un faisceau de systèmes permettant une mesure automatisée, en temps réel et en trois dimensions du pollen et des autres particules biologiques de l'air comme les spores de champignons, et pourquoi pas les bactéries et les virus. Les réseaux de mesures doivent être étendus aux pays et aux régions du monde qui en sont encore dépourvus.

L'homogénéisation des sites de mesures doit être discutée et mise en œuvre, de même que la continuité des mesures à long terme doit être assurée.

Pour les allergies, ce n'est plus la particule porteuse d'allergène, mais l'allergène lui-même qui devra pouvoir être identifié et quantifié, tant il est vrai que le contenu antigénique d'une particule peut assez fortement varier. D'autre part, un effort particulier devrait être réalisé dans le développement d'instruments permettant la mesure de l'exposition individuelle, au pollen ou aux allergènes. Cela permettrait en particulier de mieux déterminer des seuils de risque pour la sensibilisation d'une part, ou pour l'apparition des symptômes d'une allergie d'autre part.

Enfin, les programmes d'observations phénologiques doivent être développés de façon à mieux pouvoir être intégrés dans la problématique de l'aéropalynologie et des allergies.

## **Interprétation**

Les données accumulées méritent d'autres analyses, en particulier des comparaisons entre stations et une meilleure prise en compte de l'influence de la micro-météorologie sur les phénomènes locaux. Des approches nouvelles sont nécessaires pour mettre en évidence les liens de causalité et dégager les invariants, ce qui est particulièrement difficile dans de tels systèmes subissant l'influence de très nombreux facteurs. L'approche statistique, largement utilisée, a montré ses limites en particulier lorsqu'il s'agit de transposer des modèles d'une région (station) à une autre. De gros efforts d'harmonisation des méthodes sont encore nécessaires pour permettre une comparaison fondée de l'ensemble des résultats publiés dans le monde.

Une des faiblesses des travaux réalisés jusqu'ici en aérobiologie (y compris le présent travail) est l'absence de prise en compte des erreurs de mesure (techniques, dues à l'observateur, ou statistiques). C'est un élément important qui doit aussi être à la base du développement des techniques de mesures.

En phénologie, l'étude des limites de l'évolution possible des tendances observées devrait être entreprise. Par exemple, quel est le décalage maximum possible dans le temps de la date de réalisation d'une phase phénologique ?

De façon plus large, le rôle et l'importance de l'air comme milieu de déplacement (échanges de gènes, transport ou même multiplication d'organismes et surtout de micro-organismes, colonisation de nouveaux milieux, etc...) et les possibilités offertes par l'aérobiologie sont encore sous-estimées dans de nombreux domaines, voire méconnues.

## **Prévision**

Les prévisions doivent être harmonisées de l'échelle locale à l'échelle continentale et leur diffusion doit être encore améliorée. La première étape de cette vision est en cours avec la mise en œuvre de modèles phénologiques couplés à des modèles météorologiques intégrant des modules de dispersion. Ceci permettra une bien meilleure résolution spatiale et une intégration optimale des mesures automatisées.

Cependant, pour mettre en œuvre ces modèles, de gros efforts sont nécessaires pour réunir les informations de base. Des connaissances précises sur la distribution des sources de pollen, la phénologie des espèces et la quantité de pollen produit et libéré dans l'air au cours d'un cycle nyctéméral ou saisonnier manquent encore pour la très grande majorité des espèces.

## **Impacts**

Les interrelations entre le développement des maladies allergiques, la présence des allergènes et d'autres facteurs de l'environnement humain, en particulier la pollution, doivent être précisées.

Le concept de seuils en aérobio-allergologie doit être développé. A cet effet, des pistes très intéressantes ont été présentées au congrès de Neuchâtel. Le seuil d'apparition des symptômes dans une population semblerait en effet relatif à l'intensité de l'exposition de cette population au pollen d'une espèce. Ainsi, les échelles de risque (par exemple faible - moyen - fort) auraient un caractère régional qui pourrait poser problème aux voyageurs.

Des études épidémiologiques sont nécessaires afin de mieux comprendre les relations entre exposition à un allergène, exposition simultanée ou successive à d'autres facteurs de stress (autres allergènes, pollution, nourriture, infections, etc.) et l'apparition des symptômes ou la sensibilisation.

L'intérêt des études sur l'origine du pollen « indigène versus allochtone » a été démontré, mais la quantification de ces phénomènes doit être réalisée.

Enfin, l'importance des bio-aérosols sur les phénomènes météorologiques est largement méconnue. Dans le domaine microbien, la reproduction possible et le métabolisme des organismes pendant leur séjour dans l'air commencent à peine à être investigués.

## **Formation / information**

La formation doit préparer des chercheurs possédant des connaissances suffisantes dans les différentes disciplines de l'aérobiologie, capables d'intégrer leurs résultats et de les interpréter en termes intégrateurs. Un gros effort doit aussi être réalisé afin de proposer des filières en aérobiologie.

La prévention de l'exposition à certains allergènes dans l'environnement passe dans certains cas par la législation, mais dans tous les cas par l'information, qu'il convient encore de renforcer, de développer et de cibler pour des groupes d'intérêts particuliers (dont les législateurs).

## **Le mot de la fin**

Les perspectives ci-dessus ne représentent qu'un aperçu des développements envisagés. La synthèse du 8<sup>ème</sup> congrès international d'aérobiologie (« Young Aerobiologist Forum » et « Future Challenges »), qui sera publiée cette année encore, donnera un panorama plus complet des développements ambitieux à réaliser dans les années qui viennent.

Les travaux présentés dans cette thèse ont probablement contribué en partie à la reconnaissance internationale dont jouit actuellement l'aérobiologie suisse. Nous souhaitons que celle-ci continue de jouer un rôle dynamique dans la recherche et qu'elle contribue ainsi à construire l'aérobiologie du futur. Les travaux en cours et ceux en préparation, en particulier en collaboration avec de nombreux collègues étrangers, devraient permettre de continuer dans cette voie stimulante, présentant un intérêt fondamental tout en offrant de nombreuses applications utiles à un large public.

## **7. PUBLICATIONS EN ANGLAIS**

## **7.1 Forecast of the Poaceae pollination in Zurich and Basle (Switzerland).**

### **Publication originale:**

Clot B. Forecast of the Poaceae pollination in Zurich and Basle (Switzerland). *Aerobiologia* 14: 267-268 (1998).

### ABSTRACT

A simple formula, intended to serve as an aid for the prevention of allergies, is proposed for forecasting the starting date of the grass pollination season in Switzerland. Parameters are daily mean air temperature and rainfall. The forecast is accurate in two thirds of the cases, and too early in one third, but still useful in practice.

Keywords: pollen, grass, forecast, meteorological factors.

## **7.2 Airborne birch pollen in Neuchâtel (Switzerland): onset, peak and daily patterns.**

### **Publication originale:**

Clot B. Airborne birch pollen in Neuchâtel (Switzerland): onset, peak and daily patterns. *Aerobiologia* 17: 25-29 (2001).

### ABSTRACT

An accurate forecast of the starting point of the birch pollen season in Neuchâtel can be made by adding the positive daily average air temperature from February 1st onward until the figure 270 is reached. At this point, the birch trees are ready to bloom. After that, the daily average temperature has to exceed 10°C to allow pollen release. Today, the birch pollen season starts some 19 days earlier in the year than in the 1980's, a consequence of a recent climate change. The daily patterns of airborne birch pollen is irregular. Moreover, pollen concentrations frequently exceed the threshold of the appearance of allergic symptoms, except during rainfall. Therefore, the only behavioral recommendation that can be given to people allergic to birch pollen is to shorten as much as possible the contact with outdoor air during the main birch pollen season.

Keywords: Betula, pollen, forecast, daily patterns.

## **7.3 Phytophenological trends in Switzerland.**

### **Publication originale:**

Defila C, Clot B. Phytophenological trends in Switzerland. *Int. J. Biometeorol.* 45: 203-207 (2001).

### ABSTRACT

Nation wide phenological observations have been made in Switzerland since 1951. In addition to these observation programmes, there are two very long phenological series in Switzerland : leaf bud burst of horse chestnut trees has been observed in Geneva since 1808 and full flowering of cherry trees in Liestal since 1894. In addition to the presentation of these two long phenological series,

trends for 896 phenological time series have been calculated with national data from 1951 to 1998. The earlier bud burst of horse chestnut trees in Geneva can be attributed mainly to the city effect (Warmth Island). This phenomenon was not observed with the cherry tree flowering in Liestal. A clear trend towards earlier appearance dates in spring and a weak tendency towards later appearance dates in autumn could be shown up with data from the national observation network. It must be noted that different phenophases and plant species react differently to various environmental influences.

Keywords: Global climate change - phytophenology - Switzerland - time series - trends

## **7.4 Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland).**

### **Publication originale:**

Clot B. Trends in airborne pollen : an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia* 19: 227-234 (2003).

### **ABSTRACT**

Airborne pollen analysis has been carried out in Neuchâtel (Switzerland) since 1979. In the context of increasing prevalence of pollen allergies and global climate warming, this study attempts to confirm whether airborne pollen may be responsible for the former or indicative of the latter, and presents some general features of pollen flight in western Switzerland.

The most common pollen types are *Taxus/Cupressaceae*, *Quercus*, *Poaceae*, *Pinus*, *Betula*, *Urticaceae* and *Fraxinus*. During the 21 years studied, there was no major change in the abundance of pollen. Among the twenty-five taxa studied only five presented a significant trend: an increase of pollen quantities was observed for *Alnus*, *Ambrosia*, *Artemisia* and *Taxus/Cupressaceae* and a decrease for *Ulmus*. The plant species flowering in winter and in the spring were influenced by the mild winters of the 1990s: 71% of the dates of the onset or the end of the pollen seasons nowadays occur significantly earlier in the year. The observed advance reaches 0.84 days/year. Trees appear to react stronger to the climate change than grass and weeds. No pollen type present a prolonged season, so the trend appears to be towards a shift in the timing of pollen presence in the air.

These observations show that the main cause of the spectacular increase of pollinosis prevalence in industrialised countries is probably not to be found in the weak tendency towards a rise of pollen abundance, except for some particular pollen types which can broaden the spectra and/or intensify the abundance of major allergens present in an area. However, airborne pollen is confirmed to be a sensitive indicator of climate change. The observed shifts in the pollen seasons make necessary the adequate information for people concerned with pollen allergies, in particular for prevention and therapy purposes.

Keywords : pollen, trends, abundance, season, allergy, climate change.

## **7.5 Importance of hornbeam (*Carpinus* sp.) pollen hypersensitivity in spring allergies.**

### **Publication originale:**

Gumowski P, Clot B, Davet A, Saad S, Hassler H, Dunoyer-Geindre S. The importance of hornbeam (*Carpinus* sp.) pollen hypersensitivity in spring allergies. *Aerobiologia* 16: 83-86 (2000).

### **ABSTRACT**

Hornbeam (*Carpinus* sp) flowering occurs generally simultaneously with birch anthesis. While birch pollen is known as the major tree-allergen in central and northern Europe, the quantitative and qualitative role of hornbeam pollen in allergy has not been evaluated. In some regions of Switzerland, the annual ratio hornbeam SPI / birch SPI reaches 20-30 % on average, and 50-180 % some years. The relative importance of hornbeam pollen hypersensitivity has been evaluated in more than 200 patients suffering from spring allergies to pollen during the last five years (1993-1997) in the region of Geneva. Among symptomatic patients during the March-April interval, 73.5 % were hypersensitive to Betulaceae pollens. Overall, 71.7 % of the patients allergic to Betulaceae pollens were found to be sensitive to hornbeam, and 12.5 % of the same group of patients were sensitive to hornbeam pollen only. Among this last group, half of the patients were suffering from both allergic rhino-conjunctivitis and asthma. Hornbeam pollen is abundant and appear to have a significant importance in spring allergies. In some case, specific immunotherapy to hornbeam pollen should perhaps be considered.

Keywords: hornbeam, birch, *Carpinus*, *Betula*, pollen, allergy.

## **8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## Références bibliographiques

- Alcazar P, Comtois P (1999) A new adhesive for airborne pollen sampling. *Aerobiologia* 15:105-109.
- Alcazar P, Comtois P (2000) The influence of sampler height and orientation on airborne Ambrosia pollen counts in Montreal. *Grana* 39: 303-307.
- Andenmatten R (1991) Atlas des pneumallergènes naturels. Janssen Pharmaceutica, Baar, 56.
- Ariatti A, Comtois P (1993) Louis Pasteur: the first experimental aerobiologist. *Aerobiologia* 9: 5-14.
- Armentia A, Lombardero M, Callejo A, Barber D, Martin Gil FJ, Martin-Santos JM, Vega JM, Arranz ML (2002) Is Lolium pollen from an urban environment more allergenic than rural pollen? *Allergol Immunopathol* 30: 218-224.
- Asero R (2002) Birch and ragweed pollinosis north of Milan: a model to investigate the effects of exposure to "new" airborne allergens. *Allergy* 57: 1063-1066.
- Asturias JA, Ibarrola I, Fernandez J, Arilla MC, Gonzalez-Rioja R, Martinez A (2005) Phod 2 a major allergen from date palm pollen is a profiling. *Clin Exp Allergy* 35: 374-381.
- Aupetit, H (1991) Les visiteurs du ciel – Guide de l'air pour l'homme volant. Ed. Rétine, Ivry, France.
- Bach S, König V, Clot B, Bircher AJ (2007) Sensitization to ragweed (Ambrosia) pollen in routine patients from the Basle region. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology* 39: in press.
- Bakkenes M, Alkemade JRM, Ihle F, Leemans R, Latour JB (2002) Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Global Change Biology* 8:390-407.
- Basset IJ, Crompton CW (1975) The biology of canadian weeds 11. *Ambrosia artemisiifolia* L. and *A. psilostachya* DC. *Can. J. Plant Sci.* 55: 463-476.
- Becerra-Acosta E, Comtois P, Clot B, Thibaudon M (in prep.) A simulation of ragweed pollen transport and dispersion over the Rhone-Alps and Switzerland: an episodic case study.
- Beggs PJ (1998) Pollen and pollen antigen as trigger of asthma – what to measure ? *Atmospheric Environment* 32, 1777-1783.
- Beggs PJ (2004) Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* 34: 1507-1513.
- Beggs PJ, Bambrick HJ (2005) Is the global rise of asthma an early impact of anthropogenic climate change? *Environmental Health Perspectives* 113: 915-919.
- Behrendt H, Krämer U, Schäfer T, Kasche A, Eberlein-Künig B, Darsow U, Ring J (2001) Allergotoxicology – A research concept to study the role of environmental pollutants in allergy. *ACI International* 13: 122-128.
- Belmonte J, Vila M (2004) Atmospheric invasion of non-native pollen in the Mediterranean region. *Am J Botany* 91: 1243-1250.
- Bider M, Meyer A (1946) Lässt sich der Zeitpunkt der Kirschenernte der Nordwestschweiz vorausbestimmen? *Schweiz. Z. f. Obst- u. Weinbau* 55 (25): 476 – 483.
- Blackley CH (1873) Experimental researches on the causes and nature of Catarrhus Aestivus. Ballière, Tindall & Cox, London, 202.
- Bodmer H (1921) Über den Windpollen. *Natur und Technik* 3: 294-298.
- Bonura A, Artales A, Marino M, Amoroso S, Marcucci F, Geraci D, Colombo P (2006) Cross reactivity between Parietaria species using the major rParj1 and rParj2 allergens. *Allergy asthma proc* 27: 378-382.
- Braun-Fährlander C, Vuille JC, Sennhauser FH, et al. (1997) Respiratory health and long-term exposure to air pollutants in Swiss schoolchildren. SCARPOL Team. Swiss Study on Childhood

- Allergy and Respiratory Symptoms with Respect to Air Pollution, Climate and Pollen. *Am J Respir Crit Care Med* 155 : 1042-1049.
- Brügger R, Vassella A (2003) Les plantes au cours des saisons – Guide pour observations phénologiques. *Geographica Bernensia*, Bern, 288p., ISBN 3-906151-62-X.
- Buttler A (1984) Analyse aérobiologique à Neuchâtel. *Informations Université Neuchâtel* 67: 10-11.
- Buttler A, Girard M (1986a) Aeropalynological study in Neuchâtel (Switzerland): analysis and illustration of the data compiled over a period of four years by mathematical methods and computer control. 3rd International Conference on Aerobiology, August 6-9 1986, Basel, Switzerland.
- Buttler A, Girard M (1986b) Methods for yearly comparisons of aeropalynological data. *Proceedings of the Third Internat. Conf. on Aerobiology*, Basel, (Boehm and Leuschner Eds).
- Cage BR, Schreiber K, Barnes Ch, Portnoy J (1996) Evaluation of four bioaerosol samplers in the outdoor environment. *Ann of allergy, asthma, immunol* vol 77, novembre:401-406.
- Calleja M, Farrera I, Almeras T, Richard P, Rossi O, Vernier D (2004) Métrologie des pollens dans l'air: étude intercomparative sur la région languedoc-Roussillon. *AgroM, ENSAM, Montpellier*, 90p.
- Cecchi, L., Morabito, M., Domeneghetti, M. P., Crisci, A., Onorari, M., Orlandini S., 2006: Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Ann. Allergy Asthma Immunol.* 96: 86-91.
- Chakraborty P, Roy I, Chatterjee S, Chanda S, Gupta-Battacharya S (2006) Phoenix silvestris pollen allergy. *J Invest Allergol Clin Immunol* 16: 377-384.
- Charpin J, Surinyach R, Frankland AW (1974) Atlas européen des pollens allergisants. Sandoz Ed, Basel, 299.
- Chehregani A, Majde A, Moin M, Gholami M, Ali Shariatzadeh M, Nassiri H. (2004) Increasing allergy potency of Zinnia pollen grains in polluted areas. *Ecotoxicol Environ Saf* 58:267-72.
- Chmielewski FM, Roetzer T (2002) Annual and spatial variability of the beginning of the growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Clim Res* 19: 257-264.
- Chuine I, Beaubien EG (2001) Phenology is a major determinant of tree species range. *Ecology Letters* 4:500-510.
- Chuine I, Belmonte J (2004) Improving prophylaxis for pollen allergies: Predicting the time course of the pollen load of the atmosphere of major allergenic plants in Europe. *Grana* 43: 1-17.
- Ciotti V, Maspoli G, Köhler B (2004) *Ambrosia artemisiifolia* monitoring im Kanton Tessin. Museo cantonale di storia naturale, Lugano, 32p.
- Clot B** (1991) Analyse aéropalynologique à Neuchâtel et à La Chaux-de-Fonds en 1990. *Bull Soc Neuchâtel Sci Nat* 114: 139-144.
- Clot B** (1993) Analyse aéropalynologique à Neuchâtel et à La Chaux-de-Fonds en 1992. *Bull Soc Neuchâtel Sci Nat* 116 : 89-92.
- Clot B** (1996) Analyse aéropalynologique à Neuchâtel et à La Chaux-de-Fonds en 1995. *Bull Soc Neuchâtel Sci Nat* 119: 163-165.
- Clot B** (1998) Forecast of the Poaceae pollination in Zurich and Basle (Switzerland). *Aerobiologia* 14: 267-268.
- Clot B** (2000) 21 years airborne pollen data in Neuchâtel: an overview. Abstracts of the Second European Symposium on Aerobiology, Vienna, 55.
- Clot B** (2001) Airborne birch pollen in Neuchâtel (Switzerland): onset, peak and daily patterns. *Aerobiologia* 17: 25-29.
- Clot B** (2003a) Aérobiologie. In: Felber F, **Clot B**, Leimgruber A, Spertini F (Eds). *Plantes, pollen, allergies*. Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208p.

- Clot B** (2003b) Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia* 19: 227-234.
- Clot B**, Gumowski PI, Helbling A (1998) Fungi and moulds: risk for the health? Aerobiological symposium, Neuchâtel, Switzerland. *Mycologia Helvetica* 10 (1): 31-58.
- Clot B**, Gumowski PI, Job D (1995) Fungi, spores and environment. Résumés du workshop. *Mycologia Helvetica* 7 (2): 111-143.
- Clot B**, Küpfer P (1990) Analyse aérobiologique à Neuchâtel et à La Chaux-de-Fonds. Université Neuchâtel Informations 104: 23-26.
- Clot B**, Küpfer P (1999) 1979-1998: 20 ans d'analyse aéro-palynologique à Neuchâtel. *Bull Soc Neuchâtel Sci Nat* 122: 99-107.
- Clot B**, Schneiter D, Tercier P, Gehrig R, Peeters AG, Thibaudon M (2002) Pollen d'ambroisie en Suisse: production locale ou transport? *Allergie et Immunologie* 34, 126-128.
- Comtois P (1995) The experimental research of Charles H. Blackley. *Aerobiologia* 11: 63-68.
- Comtois P (1997) Pierre Miquel: the first professional aerobiologist. *Aerobiologia* 13: 75-82.
- Comtois P (1998) Statistical analysis of aerobiological data. In: Mandrioli P, Comtois P, Levizzani V (Eds). *Methods in aerobiology*. Pitagora Editrice Bologna: 262pp.
- Comtois P, Alcazar P, Néron D (1999) Pollen counts statistics and its relevance to precision. *Aerobiologia* 15:19-28.
- Comtois P, Kuehne E (2006) Abstracts of the 8<sup>th</sup> International Congress on Aerobiology, Neuchâtel, Switzerland, 318p.
- Corbaz R (1968) Spores dans l'atmosphère. *Path Microbiol* 32: 114-123.
- Corbaz R (1969) Etude des spores fongiques captées dans l'air. *Phytopath Z* 66: 69-79.
- Corden J, Millington W (1999) A study of Quercus pollen in the Derby area, UK. *Aerobiologia* 15, 29-37.
- Corden JM , Millington WM, Mullins J (2003) Long-term trends and regional variation in the aeroallergen *Alternaria* in Cardiff and Derby UK – are differences in climate and cereal production having an effect? *Aerobiologia* 19: 191–199.
- Cornaz M (1860) De l'existence du catarrhe des foins en Suisse. *L'Echo Médical* 4: 307-318.
- Corsico R (1993) L'asthme allergique en Europe. In: Spieksma FTM, Nolard N, Frenguelli G, Van Moerbeke D: *Pollens de l'air en Europe*. UCB, Braine-l'Alleud, 19-29.
- Cortegano I, Civantos E, Aceituno E, del Moral A, López E, Lombardero M, del Pozo V, Lahoz C (2004) Cloning and expression of a major allergen from Cupressus arizonica pollen, Cup a 3, a PR-5 protein expressed under polluted environment. *Allergy* 59: 479-481.
- Corthay P, Gumowski P, Bodmer R, **Clot B** (1996) Efficacy of sub-lingual versus sub-cutaneous immunotherapy to pollen allergens after 3 consecutive years of treatment. *Congrès Société Suisse d'Allergologie et Immunologie Clinique*, Saint-Gall.
- Cottet M, Castella F (1891) Guide du botaniste dans le canton de Fribourg: contribution à l'étude de la flore suisse. Impr. Fragnière frères, Fribourg, 231p.
- Cour P (1974) Nouvelle technique de détection des flux et des retombées polliniques. *Pollen et spores* 16: 103-141.
- D'Amato G, Gentili M, Russo M, Mistrello G, Saggese M, Liccardi G, Falagiani P (1994) Detection of *Parietaria judaica* airborne allergenic activity: comparaison between immunochemical and morphological methods including clinical evaluation. *Clin Exp Allergy* 24: 566-574.
- D'Amato G, Liccardi G, D'Amato M, Cazzola M (2002) Outdoor air pollution, climatic changes and allergic bronchial asthma. *Eur Respir J* 20:763-776.
- D'Amato G, Spieksma FTM (1992) European allergenic pollen types. *Aerobiologia* 8: 447-450.
- D'Amato G, Spieksma FTM (1993) Pollenallergie in Europa. *Allergologie* 11, 430-433.

- D'Amato G, Spieksma FTM, Bonini S (1992) Allergenic pollen and pollinosis in Europe. Vienna: Blackwell Scientific Publications.
- D'Amato G, Spieksma F, Liccardi G, Jäger S, Russo M, Kontou-Fili K, Kikkels H, Wüthrich B, Bonini S (1998) Pollen-related allergy in Europe. *Allergy* 53: 576-578.
- D'Odorico P, Yoo J, Jäger S (2002) Changing seasons: An effect of the North Atlantic Oscillation? *Journal of Climate* 15, 435-445.
- Dahl A, Strandhede SO, Wihl JA (1999) Ragweed – An allergy risk in Sweden? *Aerobiologia* 15: 293-297.
- Davet A, Clot B, Guibet S, Van Eck F, Gaudart M, Gumowski PI (2007a) Increasing incidence of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen allergy in the Geneva area: the perspective from a clinical allergy department. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology* 39: in press.
- Davet A, Clot B, Guibet S, Van Eck F, Gaudart M, Gumowski PI (2007b) Newly sensitized patients to ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen in the Geneva area. *European Annals of Allergy and Clinical Immunology* 39: in press.
- Davies RR (1968) The aerobiology of Davos and its relation to treatment in an alpine resort. *Acta Allerg* 23: 321.
- Davies RR (1969) Aerobiology and the relief of asthma in an alpine valley. *Acta Allerg* 24: 377-395.
- De Marco R, Poli A, Ferrari M (2002) The impact of climate and traffic-related NO<sub>2</sub> on the prevalence of asthma and allergic rhinitis in Italy. *Clin Exp Allergy* 32:1405-1412.
- Déchamp C, Méon H (2002) *Ambrosies – polluants biologiques*. ARPPAM Edition, Lyon, ISBN 2.902913.37.11.
- Déchamp C, Rimet ML, Meon H, Deviller P (1997) Parameters of ragweed pollination in the Lyon's area (France) from 14 years of pollen counts. *Aerobiologia* 1997; 13: 275-279.
- Defila C (1991) *Pflanzenphänologie der Schweiz*. Diss. Uni Zürich. Veröff. d. Schweiz. Meteorologischen Anstalt, Nr. 50: 1-235.
- Defila C (1992) *Pflanzenphänologische Kalender ausgewählter Stationen in der Schweiz, 1951-1990*. *Klimatologie der Schweiz*, Heft 30L, Beiheft zu den *Annalen der Schweiz. Meteorologischen Anstalt* (1998): 1-233.
- Defila C (1996) 45 Years Phytophenological Observations in Switzerland. 1991 – 1995. *Proceedings of the 14th International Congress of Biometeorology*, 1 – 8 September 1996, Ljubljana, Slovenia, *Biometeorology* 14, Part 2: 175 – 183.
- Defila C, Clot B (2001a) Phytophenological trends in Switzerland. *Int J Biometeorol* 45: 203-207.
- Defila C, Clot B (2001b) Phytophenological trends in different seasons, regions and altitudes in Switzerland. In: Walther GR, Burga CA, Edwards PJ (Eds) *Fingerprints of climate change – Adapted behaviour and shifting species ranges*. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York and London, 113-121.
- Defila C, Clot B (2005) Phytophenological trends in the Swiss Alps 1951-2002. *Meteorologische Zeitschrift* 14(2): 191-196.
- Defila, C. *Phänologische Beobachtungen und Anwendungsmöglichkeiten für die Pollenprognose*. *Swiss Med.* 10: 21-25 (1988).
- Delabays N, Bohren C, Mermillod G, Keimer C, Kündig C (2005) L'ambrosie à feuilles d'armoise en Suisse: aspects malherbologiques. *Revue Suisse Agric.* 37: 17-24.
- Delabays N, Lambelet C, Jeanmonod D, Keimer C, Clot B (2002) L'ambrosie à feuilles d'armoise, une espèce à surveiller en Suisse. *Revue Suisse Agric.* 34, 21-22.
- Dervaderics M, Fust G, Otos M, et al (2002) Differences in the sensitisation to ragweed and occurrence of late summer allergic symptoms between natives and immigrant workers of the nuclear power plant of Hungary. *Immunol Invest* 31: 29-40.

- Detandt M, Nolard N (2000) The fluctuations of the allergenic pollen content of the air in Brussels (1982 to 1997). *Aerobiologia* 16, 55-61.
- Diehl K, Matthias-Maser S, Jaenicke R, Mitra SK (2002) The ice nucleating ability of pollen: Part II. Laboratory studies in immersion and contact freezing modes. *Atmos Res* 61: 125- 133.
- Dingle AN, Gill GC, Wagner WH, Hewson EW (1959) The emission, dispersion and deposition of ragweed pollen. In: Landsberg HE and Van Mieghem J (Eds) *Advances in Geophysics*, Academic Press, New-York, 367-387.
- Dunoyer-Geindre S, Goergen F, Kahlen E, Gumowski PI (1993) Development of a liquid phase specific IgE for hornbeam pollen. *Proceedings of the Swiss Society for Allergology and Immunology Annual Meeting*, Geneva.
- Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jaeger S, Nolard N, Rantio-Lehtimäki A (2002) Responses in the start of *Betula* (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe. *Int J Biometeorol* 46: 159–170.
- Emberlin J, Jäger S, Dominguez-Vilches E, Galan Soldevilla C, Hodal L, Mandrioli P, Rantio Lehtimäki A, Savage M, Spiekma FTM, Bartlett C (2000) Temporal and geographical variations in grass pollen seasons in areas of western Europe: an analysis of season dates at sites of the European pollen information system. *Aerobiologia* 16, 373-379.
- Emberlin J, Jones S, Bailey J, Caulton E, Corden J, Dubbels S, Evans J, McDonagh N, Millington W, Mullins J, Russel R, Spencer T (1994) Variation in the start of the grass pollen season at selected sites in the United Kingdom 1987-1992. *Grana* 33, 94-99.
- Emberlin J, Mullins J, Corden J, Millington W, Brooke M, Savage M, Jones S (1997) The trend to earlier birch pollen seasons in the U.K.: a biotic response to changes in weather conditions? *Grana* 36: 29-33.
- Estrella N, Menzel A, Krämer U, Behrendt H (2006) Integration of flowering dates in phenology and pollen counts in aerobiology: analysis of their spatial and temporal coherence in Germany (1992–1999). *Int J Biometeorol* 51: 49-59
- Ezeamuzie CI, Thomson MS, Al-Ali S, Dowaisan A, Khan M, Hijazi Z. (2000) Asthma in the desert: spectrum of the sensitizing aeroallergens. *Allergy*.55:157-62.
- Felber F, Clot B (2003) Dispersion du pollen et des graines, distribution des plantes. In: Felber F, Clot B, Leimgruber A, Spertini F (Eds). *Plantes, pollen, allergies*. Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208pp.
- Fernandez-Sevilla D, Emberlin J, Schulz E (2006) Abstracts of the 8<sup>th</sup> International Congress on Aerobiology, Neuchâtel, Switzerland, 318p.
- Fornaciari M, Bricchi E, Frenguelli G, Romano B (1996) The results of 2 year pollen monitoring of an urban network in Perugia, central Italy. *Aerobiologia* 12: 219-227.
- Frei P (2006) Zur Bedeutung der Sensibilisierung auf *Ambrosia artemisiifolia* Pollen in der Schweiz. Diplomarbeit Dept Umweltwissenschaften ETH Zürich, 82p.
- Frei T (1998) The effects of climate change in Switzerland 1969-1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass. *Grana* 37, 172-179.
- Frei T, Leuschner RM (2000) A change from grass pollen induced allergy to tree pollen induced allergy: 30 years of pollen observation in Switzerland. *Aerobiologia* 16: 407-416.
- Frenguelli G, Bricchi E, Romano B, Mincigrucci R, Spiekma FTM (1989) A predictive study on the beginning of the pollen season for Gramineae and *Olea europea* L. *Aerobiologia* 5, 64-70.
- Frenguelli G, Spiekma FTM, Bricchi E, Romano B, Mincigrucci G, Nikkels AH, Dankaart W, Ferranti F (1991) The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana* 30, 196-200.
- Frenz DA, Melcher SE, Murray LM, Sand RE (1997) A comparison of total pollen counts obtained 5,6 km apart. *Aerobiologia* 13: 205-208.

- Fritz A, Gressel W (1983) Zur Wetter-, insbesondere zur Temperatur-abhängigkeit des Pollenfluges des Hasel, Birke und Gräser in Kärnten. *Med.-Met.* 3, 14-17.
- Fritzscher C, von Mutius E, Weiland SK et al. (1994) Prävalenz asthmatischer und allergischer Erkrankungen bei Schulkindern - ein Vergleich zwischen Leipzig und München. *Allergo J* 3: 11-16.
- Galan C, Dominguez-Vilches E (1997) The capture media in aerobiological sampling. *Aerobiologia* 13: 155-160.
- Galán C, García-Mozo H, Vázquez L, Ruiz L, Díaz de la Guardia C, Trigo MM (2005) Heat requirement for the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. *Int J Biometeorol* 49: 184-188.
- García-Mozo H, Galan C, Gomez-Casero MT (2000) A comparative study of different temperature accumulation methods for predicting the start of *Quercus* pollen season in Cordoba (Sth W Spain). *Grana* 39: 194-199.
- García-Mozo H, Galan C, Jato V, Belmonte J, Diaz De La Guardia C, Fernandez D, Gutierrez AM, Aira MJ, Roure JM, Ruiz L, Trigo MM, Dominguez-Vilches E (2006) *Quercus* pollination dynamics in the Iberian Peninsula: response to meteorological parameters and consequences of the Climate Change. *Ann Agric Environ Med* 13: 209-224.
- Gassner M (1990) Polleninformation in der Schweiz. *Tuberkulose und Lungenkrankheiten* 3: 1-8.
- Gehrig R, Clot B (2003) Long term trends of aerobiological data and climate change in Switzerland: 20 years of airborne pollen analysis in Zurich, Buchs, Neuchâtel and Basle. Third European Symposium on Aerobiology, Worcester, UK, 30.8 – 4.9.
- Gehrig R, Peeters AG (2000) Pollen distribution at elevations above 1000m in Switzerland. *Aerobiologia* 16: 69-74.
- Geller-Bernstein C, Kenett R (2004) Allergies in immigrants. *Allerg Immunol* 36: 313-316.
- Grant Smith E (1990) Sampling and identifying allergenic pollens and molds. Blewstone Press, San Antonio, ISBN 0-930961-02-1.
- Gregory PH (1973) Microbiology of the atmosphere. Leonhard Hill Books, Aylesbury, 377.
- Guérin B, Wüthrich B, Peeters AG, Choquet PH (1990) Allergie aux pollens d'arbres. *Médecine et Hygiène* 48: 1089-1096.
- Guerrier G (1993) Les pollinoses aux arbres chez l'enfant dans la région lyonnaise : Il ne faut pas que l'herbe cache la forêt. *Rev fr Allergol*; 33: 221-225.
- Gumowski PI, Clot B, Davet A, Saad S, Hassler H, Dunoyer-Geindre S (1998) Importance de l'hypersensibilité au pollen de charme dans les allergies printanières précoces. Proceedings of the Swiss Society for Allergology and Immunology Annual Meeting, Geneva.
- Gumowski PI, Clot B, Davet A, Saad S, Hassler H, Dunoyer-Geindre S (2000) The importance of hornbeam (*Carpinus* sp) pollen hypersensitivity in spring allergies. *Aerobiologia* 16: 83-86.
- Gumowski PI, Davet A, Clot B, Maurer A, Jeanmonod D, Keimer C (2002) Case report : facial and respiratory allergy induced by indigenous ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) pollen. *Swiss Medical Weekly* 132, sup 129.
- Harrison RM, Jones AM, Biggins PDE, Pomeroy N, Cox CS, Kidd SP, Hobman JL, Brown NL, Beswick A (2005) Climate factors influencing bacterial count in background air samples. *Int J Biometeorol* 49: 167-178.
- Hartmann P (1991) Untersuchungen der Beziehungen zwischen Witterung und der Pflanzenphänologie. Sanasilva-Projekt: 1-98.
- Helbling A (1983) Analyse und Zählung der Pollen im Raume Zürich während der Jahre 1977-1979. *Med. Diss. Zürich*, 177.
- Helbling A, Leuschner R M, Wüthrich B (1985) Pollinosis; IV: Welche Pollen sollten in der Allergie-Praxis getestet werden? *Schweiz Med Wschr* 115: 1150-1159.

- Hemmer W, Focke M, Wantke F (2000) Ash (*Fraxinus excelsior*) pollen allergy in central Europe: specific role of pollen panallergens and major allergen of ash pollen, Fra e 1. *Allergy* 55: 923-930.
- Hirschwehr R, Heppner C, Spitzauer S, et al (1998) Identification of common allergenic structures in mugwort and ragweed pollen. *J Allergy Clin Immunol* 101: 196-206.
- Hirst JM (1952) An automatic volumetric spore trap. *Ann Appl Biol* 39: 257-265.
- Hjelmroos M (1992) Long-distance transport of *Betula* pollen grains and allergic symptoms. *Aerobiologia* 8, 231-236.
- Horak F, Jäger S (1979) *Die Erreger des Heufiebers*. Urban & Schwarzenberg, Wien, 135.
- Huber HP (1993) 10 Jahre Schweizerische Arbeitsgruppe für Aerobiologie. *Hautnah Schweiz* 4: 180-182.
- Huynen M, Menne B (coordinating authors), Behrendt H, Bertollini R, Bonin S, Brandao R, Brown-Fahrländer C, Clot B, D'Ambrosio C, De Nuntii P, Ebi KL, Emberlin J, Erdei Orbanne E, Galan C, Jäger S, Kovats S, Mandrioli P, Martens P, Menzel A, Nyenzi B, Rantio-Lehtimäki A, Ring J, Rybnicek O, Traidl-Hoffmann C, Van Vliet A, Voigt T, Weiland S, Wickman M (2003) *Phenology and Human Health: allergic disorders*. Report of a WHO meeting, Rome, Italy, 16-17 January.
- Hyde HA, Adams KF (1958) *An atlas of airborne pollen grains*. MacMillan, London, 112.
- Inoue S, Kawashima S, Takahashi Y (2002) Estimating the beginning day of Japanese cedar pollen release under global climate change. *Global Change biology* 8: 1165 - 1168.
- IPCC (2001) *Climate change 2001: Synthesis report*. Contribution of working groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, Cambridge.
- Irdi G A, Jones J R, White C M (2002) Pollen and fungal spore sampling and analysis Statistical evaluations. *Grana* 41: 44-47.
- Isard S, Gage S (2000) *Flow of life in the atmosphere*. Michigan State University Press, East Lansing, ISBN 0-87013-550-3.
- Jackson M (2001) Allergy: the making of a modern plague. *Clin. Exp. Allergy* 31, 1665-1671.
- Jaeger PM (1983) Schweizerischer Polleninformationsdienst. *Swiss Med* 5:29-34.
- Jaenicke R. (2005) Abundance of cellular material and proteins in the atmosphere. *Science* 308:73.
- Jäger L (1998) Pollenexposition-Pollensensibilisierung. *Allergologie* 21, 95-97.
- Jäger S (1990) Tageszeitliche Verteilung und langjährige Trends bei allergiekompetenten Pollen. *Allergologie* 13: 159-182.
- Jäger S (2000) Ragweed (*Ambrosia*) sensitization rates correlate with the amount of inhaled airborne pollen. A 14-year study in Vienna, Austria. *Aerobiologia* 16: 149-153.
- Jäger S (2001) Allergies in the 20th and 21th century: start, duration and intensity of the pollen season. Abstract book, 'The times they are a-changin'', December 2001, Wageningen, The Netherlands.
- Jäger S (2002) Long term trends of pollen seasons in Europe: Changes in start, duration and intensity. Abstracts of the 7th International Congress on Aerobiology, Montebello, Canada, August 2002.
- Jäger S, Mandrioli P (1991) Airborne grass pollen distribution in Europe 1991. *Aerobiologia* 7: 3-36.
- Jäger S, Nilsson S, Berggren B, Pessi AM, Helander M, Ramfjord H (1996) Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980-1993. *Grana* 35, 171-178.
- Jakus M (1987) Utilité du calendrier pollinique. *Méd Hyg* 45: 2248-2250.

- Jakus M, Clot B (1988) Circadian rhythm of allergenic pollens and new approach to pharmacotherapy in pollinosis. 13rd International Congress of Allergology and Clinical Immunology, Montreux.
- Jeanneret F (1996) Phänologie in einem Querschnitt durch Jura, Mittelland und Alpen. Jb. Gg. Ges. BE 59: 159 – 203.
- Jud S (2006) Feldexperiment zum Pollentransport im Val de Nendaz – Frühling 2005. Diplomarbeit. Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät, Universität Bern, 199p.
- Käpylä M (1984) Diurnal variation of tree pollen in the air of Finland. Grana 23: 167-176.
- Katellaris CH, Burke TV, Byth K (2004) Spatial variability in the pollen count in Sydney, Australia: can one sampling site accurately reflect the pollen count for a region? Ann Allergy Asthma Immunol 93: 131-136.
- Kersten W (1979) Klinische und biologische Aspekte der Pollinose. Therapiewoche 29: 3708-3713.
- Kersten W (1983) Die Bedeutung einzelner Baumpollen bei der Pollinose. Med Klin 78: 403-406.
- Kienast F, Zimmermann NE, Wildi O (2001) Evolutions possibles des aires de répartition des principales essences forestières en fonction des scénarios de changement climatique. Revue forestière française 2000: 119 - 126.
- Knox RB (1993) Grass pollen, thunderstorms and asthma. Clin. Exp. Allergy 23: 354-359.
- Köhler B, Gehrig R, Clot B, Ciotti V, Maspoli G (2006) Ambrosialuftpollenmessungen in der Schweiz: Quantifizierung des Gefahrenpotentials und Indikator für die Ausbreitung der Pflanze: Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 58: 299-303.
- Köhler B, Gehrig R, Pauling A, Clot B. Which factors influence ragweed pollen concentration in Ticino? European Annals of Allergy and Clinical Immunology 39: 135 (2007).
- Koti S, Reddy KR, Reddy VR, Kakani VG, Zhao D. (2005) Interactive effects of carbon dioxide, temperature, and ultraviolet-B radiation on soybean (*Glycine max L.*) flower and pollen morphology, pollen production, germination, and tube lengths. J Exp Bot. 2005 56:725-36.
- Laaidi K (1995) Pollen et pollinoses : estimation des seuils d'action clinique de quelques taxons allergisants. Climat et santé 22: 95-113.
- Laaidi M, Laaidi K, Besancenot JP, Thibaudon M (2003) Ragweed in France: an invasive plant and its allergenic pollen. Ann Allergy Asthma Immunol 91: 195–201.
- Laaidi M, Thibaudon M (2003) Two statistical approaches to forecasting the start and duration of the pollen season of Ambrosia in the area of Lyon F. Int J Biometeorol 48: 65-73.
- Larsson KA (1993) Prediction of the pollen season with a cumulated activity method. Grana 32: 111-114.
- Leibundgut H, Marcet E (1953) Pollenspektren und Baumartenmischung. Schweiz Z Forstwes 104: 594-611.
- Leuenberger P, Sapaldia group (1998) Etude suisse sur la pollution de l'air et les maladies respiratoires chez l'adulte (SAPALDIA). Schweiz Med Wochenschr 128:150-161.
- Leuschner RM (1974) Luftpollenbestimmung in Basel Während der Jahre 1969 und 1970. Verh Naturf Ges 84: 521-625.
- Leuschner RM (1978) Registrierte Luftpollen von Ambrosia L. als Hinweis auf ein Vorkommen dieser Adventivpflanzen. Bauhinia 6: 265-271.
- Leuschner RM (1989) 20 Jahre Luftpollenbestimmung. DIA-GM 4: 367-377.
- Leuschner RM (1992) Von Messgeräten für Partikeln in der Luft zum Europäischen Polleninformationsnetz. Präz. Rehab. 4: 30-36.
- Leuschner RM, Christen H, Jordan P, Vonthein R (2000) 30 years of studies of grass pollen in Basel (Switzerland). Aerobiologia 16:381-391.
- Leuschner RM, Jenkins J (1996) Ruth M. Leuschner: a biographical sketch. Aerobiologia 12: 141-147.

- Levizzani V (1998) Microphysics of atmospheric transport. In: Mandrioli P, Comtois P, Levizzani V (Eds): *Methods in aerobiology*, Pitagora Editrice, Bologna, ISBN 88-371-1043-X.
- Lin RY, Clauss AE, Bennett ES (2002) Hypersensitivity to common tree pollens in New York City patients. *Allergy Asthma Proc* 23: 253-258.
- Lüdi W, Vareschi V (1936) die Verbreitung, das Blühen und der Pollenniederschlag der Heufieberpflanzen im Hochtale von Davos. *Ber Geobot Forsch Inst Rübel, für 1935*: 47-111.
- Luna S, Figueroa J, Baltazar B, Gomez R, Townsend R, Schoper JB (2001) Maize pollen longevity and distance isolation requirements for effective pollen control. *Crop Science* 41, 1551-1557.
- Mandrioli P, Comtois P, Dominguez-Vilches E, Galan Soldevilla C, Isard S, Syzdek L (1998) Sampling, principles and techniques. In: Mandrioli P, Comtois P, Levizzani V (Eds): *Methods in aerobiology*, Pitagora Editrice, Bologna, ISBN 88-371-1043-X.
- Mandrioli P, Comtois P, Levizzani V (Eds) (1998) *Methods in Aerobiology*. Pitagora Ed, Bologna, 262.
- Mandrioli P, Di Cecco M, Andina G (1998) Ragweed pollen: the aeroallergen is spreading in Italy. *Aerobiologia* 14, 13-20.
- Mari A, Wallner M, Ferreira F (2003) Fagales pollen sensitization in a birch-free area: a respiratory cohort survey using Fagales pollen extracts and birch recombinant allergens (rBet v 1, rBet v 2, rBet v 4). *Clin Exp Allergy* 33:1419-1428.
- Matulla C, Scheifinger H, Menzel A, Koch E (2003) Exploring two methods for statistical downscaling of central European phenological time series. *Int J Biometeorol* 48: 56-64.
- Maurer A (2003) Etude de la dynamique d'envahissement de trois espèces dans le canton de Genève. Travail de diplôme, Université de Genève, 193 p.
- Menzel A (1997) Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen – Auswertungen der Beobachtungen in den Int. Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. *Forstliche Forschungsberichte, München*, 186: 1-147.
- Menzel A (2003) Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climatic Change* 57: 243-263.
- Menzel A, Estrella N, Fabian P (2001) Spatial and temporal variability to the phenological season in Germany from 1951 to 1996. *Global Change Biology* 7: 657-666.
- Menzel A, Fabian P (1999) Growing season extended in Europe. *Nature*, 397: 659.
- Mitakakis T Z, Mc Gee P A (2000) Reliability of measures of spores of *Alternaria* and pollen concentrations in air over two towns in rural Australia. *Grana* 39: 141-145.
- Monn C, Sapaldia Team (1995) Particulate matter PM10 and total suspended particulates in urban, rural and alpine air in Switzerland. *Atmospheric Environment* 29: 2565-2573.
- Morrow Brown H (1992) The relationship of aerobiological data to seasonal allergic symptoms: a review of 27 years' experience. *Immunol allergy pract* vol 14, no9: 318-329.
- Moulton FR (1942) *Aerobiology*. Am. Ass. Adv. Sci. Washington 17: 1-289.
- Munuera Giner M, Garcia Selles J (2002) Allergenic pollens in South-East Spain. *Allergy* 57: 59-60.
- Newnham RM (1999) Monitoring biogeographical response to climate change: the potential role of aeropalynology. *Aerobiologia* 15, 87-94.
- Ogden EC, Raynor GS, Hayes JV, Lewis DM, Haines JH (1974) *Manual for sampling airborne pollen*. Hafner Press, New York, ISBN 0-02-849820-8.
- Ormstad H, Johansen BV, Gaarder PI (1998) Airborne house dust particles and diesel exhaust particles as allergen carriers. *Clin. Exp. Allergy* 28: 702-708.
- Osborne C, Chuine I, Viner D, Woodward FI (2000) Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. *Plant, Cell & Environment* 23: 701-710.

- Parmesan C, Yohe G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Peeters AG (1986) Recherches aéropalynologiques à Samedan, Haute-Engadine (Suisse) de 1983 à 1985. Thèse, Université de Bâle, 181.
- Peeters AG (1988) Pollens aériens en Suisse. Groupe de travail suisse d'aérobiologie, Grabs.
- Peeters AG (1998) Cumulative temperatures for prediction of the beginning of ash (*Fraxinus excelsior* L.) pollen season. *Aerobiologia* 14: 375-381.
- Peeters AG (2000) Ambrosia sp Pollen in Switzerland. *Aerobiologia* 16: 295-297.
- Peeters AG, Clot B, Frei T (1994) Pollens aériens en Suisse 1993. Institut Suisse de Météorologie, No. 1, 65.
- Peeters AG, Clot B, Frei T (1996) The Swiss national pollen measuring network. *International Aerobiology Newsletter* 44.
- Peeters AG, Frei T, Wüthrich B (1994) Vergleich des Pollenflugs und der Pollinose-Häufigkeit an zwei klimatisch verschiedenen Standorten in der Schweiz (Zürich und Locarno). *Allergologie* 11: 501-504.
- Peeters AG, Herren T, Udriet M, Hauser M, Hess C, Vuillemin F, Clot B, Gehrig R (2002) Airborne pollen in Switzerland 2001. *MeteoSchweiz*, Zürich, No 9, pp.90.
- Peeters AG, Zoller H (1988) Long range transport of *Castanea sativa* pollen. *Grana* 27: 203-207.
- Penuelas J, Filella I, Comas P (2002) Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global change biology* 8: 531-544.
- Pfister C (1984) Klimageschichte der Schweiz 1525 bis 1860 – Das Klima der Schweiz 1525 bis 1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft; Band 1, Haupt, Bern; 1-184.
- Primault B (1955) Cinq ans d'observations phénologiques systématiques en Suisse. *Annales der Schweiz. Meteorologischen Anstalt*, 92. Jhg.: 7/4 – 7/5.
- Primault B (1984) Phänologie; Blatt 13.1, 13.2; in Kirchhofer, W.: *Klimaatlas der Schweiz*; 2. Lieferung. Verlag des Bundesamtes für Landestopographie Bern, 2 Kartenblätter.
- Ramirez J, Carpizo JA, Ipsen H, Carreira J, Lombardero M (1997) Quantification in mass units of Bet v 1, the main allergen of *Betula verrucosa* pollen, by a monoclonal antibody based-Elisa. *Clin Exp Allergy* 27: 926-931.
- Ranta H, Oksanen A, Hokkanen T, Bondestam K, Heino S (2005) Masting by *Betula*-species; applying the resource budget model to north European data sets. *Int J Biometeorol* 49: 146-151.
- Rantio-Lehtimäki A, Matikainen E (2002) Pollen allergen reports help to understand pre-season symptoms. *Aerobiologia* 18: 135–140.
- Rasmussen A (2002) The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark. *Aerobiologia* 18: 253-265.
- Rebetez M (2000) Changements climatiques en Suisse au 20ème siècle: grandes tendances et extrêmes. In Rebetez M, Combe J (Eds), *Quelle sylviculture pour les climats à venir? Actes de la journée thématique*, WSL, Lausanne, pp. 48.
- Riediker M, Monn Ch, Koller T, Stahel WA, Wüthrich B (2001) Air pollutants enhance rhinoconjunctivitis symptoms in pollen-allergic individuals. *Ann Allergy Asthma Immunol* 87: 311-318
- Rogers CA, Wayne P, Macklin E, Muilenberg ML, Wagner CW, Epstein PR, Bazzaz FA (2005) Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environmental Health Perspectives* 114: 865-869.
- Root TL, Price JT, Hall KR, Schneider SH, Rosenzweig C, Pounds A (2003) Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60.
- Rybnicek O, Jäger S (2001) Ambrosia (ragweed) in Europe. *ACI International* 13, 60-66.

- Sauty A (2003) Mécanisme de l'allergie. In: Felber F, **Clot B**, Leimgruber A, Spertini F (Eds). Plantes, pollen, allergies. Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208pp.
- Schapowal A (1997) Nehmen die allergischen Krankheiten zu? *Allergologie* 11, 560-564.
- Schäppi GF (1996) Analyse von Pollenallergenen in Aerosolen. Thèse, ETHZ, 124.
- Schäppi GF, Monn C, Wüthrich B, Wanner HU (1996) Analysis of allergens in ambient aerosols: comparison of areas subjected to different levels of air pollution. *Aerobiologia* 12: 185-190.
- Schäppy G, Taylor P, Staff I, Suphioglu C, Knox B (1997) Source of Bet v1 loaded inhalable particles from birch revealed. *Sex Plant. Reprod.* 10: 315-323.
- Schmid P, Peeters A G, Wüthrich B (1992) L'allergie au pollen de frêne existe en Suisse, nous l'avons rencontrée. *Rev fr Allergol*, 32 (3), 139-140.
- Schmid-Grendelmeier P, Peeters A, Wahl R, Wüthrich B (1994) Zur Bedeutung der Eschenpollenallergie. *Allergologie* 17: 535-542.
- Schneiter D, Defila C, Gehrig R, **Clot B** (2002) Influence du changement climatique sur la phénologie des plantes et la présence de pollens dans l'air en Suisse. *Allergie et Immunologie* 34, 113-116.
- Schnelle F (1955) Pflanzenphänologie. Probleme der Bioklimatologie, 3. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1-299.
- Schreiber KF (1977) Wärmegliederung der Schweiz. Grundlagen für die Raumplanung, Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Bern, 1-69.
- Senna G, Roncarolo D, Dama A (2000) Anaphylaxis to pine nuts and immunological cross-reactivity with pine pollen proteins. *Invest Allergol Clim Immunol* 10: 44-46.
- Singh A B, Pandit T, Dahiya P (2003) Changes in airborne pollen concentrations in Delhi, India. *Grana* 42: 168-177.
- Slayback D, Pinzon J, Los S, and Tucker C (2003) Northern hemisphere photosynthetic trends 1982–1999. *Global Change Biol* 9:1–15.
- Sparholt SH, Larsen JN, Ipsen H, Schou C, Van Neerven RJJ (1997). Crossreactivity and T-cell epitope specificity of Bet v 1-specific T cells suggest the involvement of multiple isoallergens in sensitization to birch pollen. *Clin Exp Allergy* 27: 932-941.
- Spertini F (2003) Augmentation de la fréquence des allergies : un problème de société ? In: Felber F, **Clot B**, Leimgruber A, Spertini F (Eds). Plantes, pollen, allergies. Jardin botanique de l'Université et de la Ville de Neuchâtel, 208pp.
- Spieksma FTM (1990) Allergenic plants in different countries. In: Falagiani P (ed). *Pollinosis*. CRC Press, Boca Raton, Florida. ISBN 0-8493-6482-5.
- Spieksma FTM, Corden JM, Detandt M, Millington WM, Nikkels H, Nolard N, Schoenmakers CHH, Wachter R, de Wager LA, Willems R, Emberlin J (2003) Quantitative trends in annual totals of five common airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, *Poaceae*, *Urtica*, and *Artemisia*), at five pollen-monitoring stations in western Europe. *Aerobiologia* 19: 171-184.
- Spieksma FTM, Emberlin J, Hjelmroos M, Jäger S, Leuschner R (1995) Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons. *Grana* 34, 51-57.
- Spieksma FTM, Nikkels AH (1998) Airborne grass pollen in Leiden, The Netherlands: annual variations and trends in quantities and season starts over 26 years. *Aerobiologia* 14, 347-358.
- Studer S, Appenzeller C, Defila C (2005) Inter-Annual Variability and Decadal Trends in Alpine Spring Phenology: A Multivariate Analysis. *Climatic Change* 73: 395-414.
- Suzuki R, Nomaki T, Yasunari T (2003) West-east contrast of phenology and climate in northern Asia revealed using a remotely sensed vegetation index. *Int J Biometeorol* 47: 126-138.
- Taira H (2002) Dormancy breaking effects of chilling and altitude on male flowers of *Cryptomeria japonica*. *Grana* 41: 227-231.

- Tamarcaz P, Lambelet C, Clot B, Keimer C, Hauser C (2005) Progression and risk of ragweed allergy in Geneva: will Switzerland resist this invasion? *Swiss Med Wkly* 135: 538-548.
- Teranishi H, Kenda Y, Katoh T, Kasuya M, Oura E, Taira H (2000) Possible role of climate change in the pollen scatter of Japanese cedar *Cryptomeria Japonica* in Japan. *Climate Research* 14:65-70.
- The British Aerobiology Federation (1995) Airborne pollens and spores, a guide to trapping and counting. Kimberley Clark Ltd, Aylesford, 60 p.
- Thibaudon M, Lachasse C, Finet F (2003) Ragweed in France and in the Rhône Alpes region (Lyon - Bourgoin - Grenoble - Rousillon). *Eur Ann Allergy Clin Immunol* 35: 87-91.
- Thibaudon M, Outteryck R, Lachasse C (2005) Bioclimatologie et allergie. *Rev fr allergol immunol clin* 45: 447-455.
- Thuiller W (2003) BIOMOD - optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology* 9: 1353-1362.
- Tormo Molina R, Munoz Rodriguez A, Silva Palacios I (1996) Sampling in aerobiology; differences between traverses along the length of the slide in Hirst sporetraps. *Aerobiologia* 12: 161-166.
- Trigo M del M, Toro F J, Recio M (2000) A statistical approach to comparing the results from different aerobiological stations. *Grana* 39: 252-258.
- Valencia-Barrera RM, Comtois P, Fernandez-Gonzalez D (2001) Biogeography and bioclimatology in pollen forecasting. *Grana* 40: 223-229.
- Valencia-Barrera RM, Comtois P, Fernandez-Gonzalez D (2002) Bioclimatic indices as a tool in pollen forecasting. *Int J Biometeorol* 46: 171-175.
- Valenta R, Steinberger P, Duchêne M, Kraft D (1996) Immunological and structural similarities among allergens: prerequisite for a specific and component-based therapy of allergy. *Immunol Cell Biol* 74: 187-194.
- Van Vliet AJH, Overeem A, De Groot RS, Jacobs AFG, Spijksma FM (2002) The influence of temperature and climate change on the timing of pollen release in the Netherlands. *International Journal of Climatology* 22:1757-1767.
- Varonier HS (1968) Les allergènes atmosphériques. Thèse d'habilitation, Univ. de Genève, 88 p.
- Varonier HS (1969) Etude du potentiel aéro-allergénique (pollinique et fongique) à Genève. *Acta Allergol* 24: 410-420.
- Varonier HS (1976) Les allergènes atmosphériques. *Médecin sociale et préventive* 21: 77-83.
- Vassella A (1997) Phänologie von Waldbäumen. *Umwelt-Materialien* Nr. 73, Buwal: 9 – 75.
- Voltolini S, Minale P, Troise C, Bignardi D, Modena P, Arobba D, Negrini A.C (2000) Trend of herbaceous pollen diffusion and allergic sensitisation in Genoa, Italy. *Aerobiologia* 16, 245-249.
- Walther GR, Burga CA, Edwards PJ(eds) (2001) "Fingerprints" of climate change: adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York and London, 330 p.
- Wan S, Yuan T, Bowdish S, Wallace LL, Russell S, Luo Y (2002) Response of an allergenic species, *Ambrosia psilostachya*, to experimental warming and clipping: implications for public health under global change. *American Journal of Botany* 89: 1843-1846.
- Wayne P, Foster S, Connolly J, Bazzaz F, Epstein P (2002) Production of allergenic pollen by ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) is increased in CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. *Ann Allergy Asthma Immunol* 88: 279-282.
- Weber E (1999) Switzerland and the invasive plant species issue. *Bot Helv* 110: 11-24.
- Weber RW (2002) Mother Nature strikes back: global warming, homeostasis, and implications for allergy. *Ann Allergy Asthma Immunol* 88: 251-152.

- Welten M, Sutter HCR (1982) Atlas de distribution des ptéridophytes et phanérogames de la Suisse. Birkhäuser Verlag, Basel: Vol. 1, 716p.
- Wilkinson MJ (1989) Pollen and climatic change. *Aerobiologia* 5: 3-8.
- Winkler H, Ostrowski R, Wilhelm M (2001) Pollenbestimmungsbuch der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst. Takt, Paderborn, ISBN 3-931732-09-6.
- Wodehouse RP (1935) Pollen grains. Their structure, identification and significance in science and medicine. MacGraw Hill, republié par Hafner Publishing, New York, 1965, 574 p.
- Wolfe DW, Schwartz MD, Lakso AN, Otsuki Y, Pool RM, Shaulis NJ. (2005) Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA. *Int J Biometeorol* 49: 303-309.
- Wopfner N, Gadermaier G, Egger M, Asero R, Ebner C, Jahn-Schmid B, Ferreira F (2005) The spectrum of allergens in ragweed and mugwort pollen. *Int Arch Allergy Immunol* 138: 337-346.
- Wüthrich B (1989) Epidemiology of allergic diseases: are they really in the increase? *Int Arch Allergy Appl Immunol* 90: 3-10.
- Wüthrich B (1995) Pollenallergie. *Deutsches Aerzteblatt* 92: 809-814.
- Wüthrich B, Annen H (1979) Pollinosis : Ermittlungen zur Klinik und zum Pollenspektrum an 1565 Pollenallergikern. *Schweizerische Medizin Wochenschrift* 109: 1212-1218.
- Wüthrich B, Helbling A, Primault B, Cour P, Duzer D (1983) Pollinosis III Pollenkalender von Zürich mit den allergologisch wichtigsten Pollenarten. *Schweiz Med Wschr*; 113: 170-183.
- Wüthrich B, Schindler C, Leuenberger P, Ackermann U, SAPALDIA-Team (1995) Prevalence of atopy and pollinosis in the Adult population of Switzerland (SAPALDIA-Study). *Int Arch Allergy Immunol* 106: 149-156.
- Ziska LH, Gebhard DE, Frenz DA, Faulkner S, Singer BD, Straka JG. (2003) Cities as harbingers of climate change: common ragweed, urbanization, and public health. *J Allergy Clin Immunol*. 111: 290-5.
- Zwander H (2002) Der Pollenflug im Klagenfurter Becken (Kärnten) 1980-2000. *Carinthia II* 192: 197-214.