

## UNE MÉTHODE DE CLASSIFICATION TRIDIMENSIONNELLE DE LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE : APPLICATION AU NORD-EST DE LA FRANCE

**P. P. KASTENDEUCH**

*Faculté de Géographie et d'Aménagement, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg CEDEX*  
[kastendeuch@geographie.u-strasbg.fr](mailto:kastendeuch@geographie.u-strasbg.fr)

### Résumé

Cet article présente une méthode dont l'objectif est de classer la circulation atmosphérique par l'utilisation du champ de pression au sol et du vent en altitude obtenu par radiosondage. Afin de pouvoir traiter simultanément ces deux types d'informations, les champs de pression sont convertis en données vectorielles grâce au calcul de vecteurs gradient, puis l'ensemble des données sont normalisées. L'algorithme de classification ascendante hiérarchique scinde le jeu de données en plusieurs classes. Une application sur le nord-est de la France est proposée.

### Abstract

The aim of the method exposed into this paper is to classify the atmospheric circulation by the use of ground pressure fields and the radio sounding upper winds. To be able to treat simultaneously the two types of data, the pressure fields are converted to gradient vectors. After normalisation, the algorithm based on a cluster analysis gives several classes. An application over north east France is proposed.

Mots-clés : classification, situation synoptique, pression, radiosondages, circulation atmosphérique.

Keywords : classification, synoptique situation, pressure, radio-soundings, atmospheric circulation.

### Introduction

Les études menées sur la ventilation aux échelles fines se heurtent souvent au problème de l'interférence des circulations aux différentes échelles et notamment celui de l'influence de la dynamique de l'atmosphère au niveau synoptique sur la circulation du vent au sol. D'autre part, pour réduire les difficultés, les travaux de recherche ou de modélisation sont souvent menés pour des « journées types » dites « représentatives » que l'on qualifie « d'advectives » ou « radiatives » en fonction de différents critères. Finalement, bon nombre de thématiques de recherches ne peuvent se passer de classifications pour déceler ces journées-types. L'objectif de cette communication est de proposer une classification automatisée des situations météorologiques qui soit capable de décrire la dynamique de l'atmosphère à échelle synoptique avec un nombre limité de variables. L'idée consiste en effet à combiner les données de champs de pression observés au sol et de vent mesurés en altitude le long d'un profil vertical. C'est en ce sens que cette classification se veut tridimensionnelle. Ces deux types d'informations seront traitées simultanément par un algorithme automatisé, identique et unique. La méthodologie ainsi que les résultats sont évoqués dans cet article.

### 1. Les données et leurs techniques de traitement

La classification s'appuie sur deux types de données : les champs de pression réduits au niveau de la mer et les vecteurs vent issus de radiosondages. Ces données sont a priori de nature différente (scalaire/vectorielle) et ne couvrent pas les mêmes dimensions de l'espace (horizontale 2D/altitude 1D), mais elles sont parfaitement complémentaires. Les champs de pression réduits

au niveau de la mer donnent une bonne idée de la tendance générale de l'advection dans les basses couches, là où les vents mesurés au niveau du sol ont une représentativité limitée en raison de la topographie, des obstacles et de la turbulence. Quant aux radiosondages, ils permettent de connaître l'état de la circulation au sein de toute la troposphère, un domaine où le vent est moins chaotique qu'en surface. Pour que les résultats soient statistiquement significatifs, les données ont été acquises sur la période la plus longue possible (1990-2000) et sous forme de données quotidiennes observées en milieu de journée.

Les pressions réduites au niveau de la mer proviennent du bulletin publié par l'Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, intitulé « Berliner Wetterkarte ». Un ensemble de 15 stations a été choisi pour couvrir de façon homogène un domaine circulaire limité à 169822 km<sup>2</sup> et centré sur Strasbourg (une station tous les 110 km environ). A partir de ces données, le champ de pression quotidien a été reconstitué par interpolation spatiale (méthode du Krigeage par point, qui est une technique d'interpolation exacte aux points de mesures) sur un domaine rectangulaire de 480 x 450 km, à une résolution de 10 km (49 colonnes x 46 lignes). Les vecteurs gradient ont ensuite été calculés pour chaque champ par la méthode des différences finies centrées. Ces vecteurs pointent vers les hautes pressions et leur intensité est proportionnelle au gradient de pression local. En définitive, ne sont utilisées que les informations concernant 25 vecteurs gradients uniformément répartis sur le domaine d'étude tous les 100 km (Figure 1a).

Les radiosondages proviennent des archives du British Atmospheric Data Centre (BADC). Il s'agit de ceux de la station synoptique de Nancy Essey localisée dans le domaine d'étude. Comme les vents sont fournis à des niveaux d'altitude hétérogènes (niveaux standards et certains niveaux « significatifs » conformes aux critères du « Met office »), les données ont fait l'objet d'une interpolation linéaire (préconisée par le BADC). Les profils de vent sont reconstitués entre 300 et 13700m par pas de 100m (Figure 1b) et 25 vecteurs sont extraits à des niveaux fixes sélectionnés avec une résolution décroissante en altitude (progression géométrique). A noter que ne sont retenus que les radiosondages ayant au moins 21 niveaux sur les 25 théoriques.

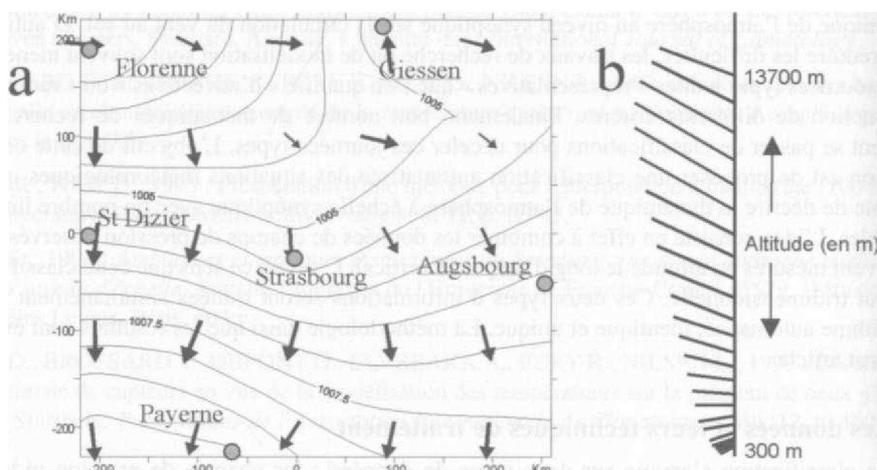


Figure 1 : (a) Un exemple de champ de pression reconstitué (un isobare tous les 0.5 hPa) et des 25 vecteurs gradient calculés. Quelques villes repères ont été ajoutées. Un exemple de radiosondage et des 25 vecteurs vents extraits entre 300 et 13700 m d'altitude (b).

Ainsi, pour représenter la dynamique de la circulation atmosphérique de chaque journée, dispose-t-on :

- 1) De 25 vecteurs extraits du champ de pression réduit au niveau de la mer. Ces vecteurs traduisent la direction et l'intensité du gradient pression.
- 2) De 25 vecteurs vent extraits du radiosondage de 12h à des altitudes fixes (1 vecteur par altitude)

Ces 2 jeux de données sont volontairement équilibrés afin d'accorder autant de poids aux processus au sol et en altitude. Après élimination des journées trop lacunaires, se sont 3591 journées qui vont pouvoir être traitées.

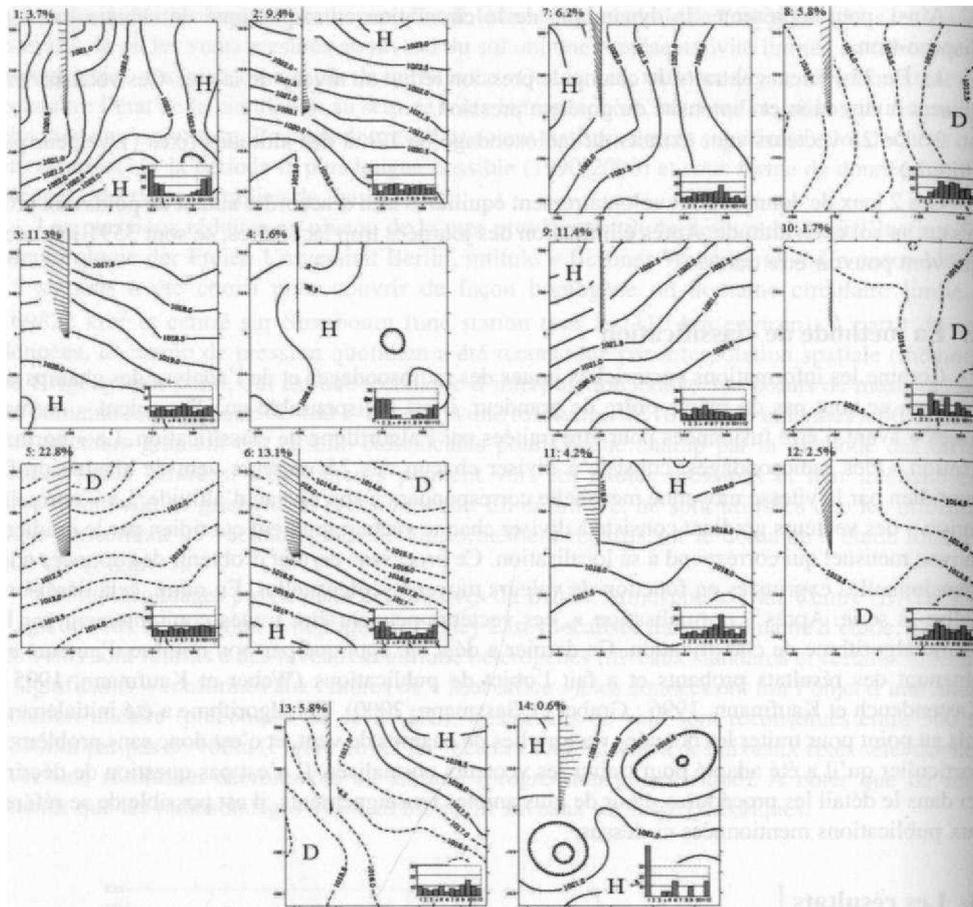
## 2. La méthode de classification

Comme les informations vectorielles issues des radiosondages et de l'analyse des champs de pression ne sont pas du même ordre de grandeur, il est indispensable qu'elles soient « normalisées » avant d'être fusionnées pour être traitées par l'algorithme de classification. La « normalisation » des radiosondages, consiste à diviser chacun des 25 vecteurs vent de chaque profil quotidien par la vitesse moyenne mensuelle correspondant à son niveau d'altitude. La « normalisation » des vecteurs gradient consiste à diviser chaque vecteur gradient quotidien par le gradient moyen mensuel qui correspond à sa localisation. Ce processus permet d'obtenir des données adimensionnelles exprimées en fonction de valeurs moyennes mensuelles. En outre, cela désaisonnalise la série. Après « normalisation », ces vecteurs peuvent être traités conjointement par le même algorithme de classification. Ce dernier a déjà été appliqué par bon nombre d'auteurs en obtenant des résultats probants et a fait l'objet de publications (Weber et Kaufmann, 1995 ; Kastendeuch et Kaufmann, 1996 ; Graber et Gassmann, 2000). Cet algorithme a été initialement mis au point pour traiter les données vectorielles de champs de vent, et c'est donc sans problèmes particulier qu'il a été adapté pour traiter les vecteurs normalisés. Il n'est pas question de décrire ici dans le détail les procédures. Pour de plus amples renseignements, il est possible de se référer aux publications mentionnées ci-dessus.

## 3. Les résultats

A l'issue du traitement, les circulations atmosphériques des 3591 journées ont été regroupées en un nombre volontairement restreint de 14 classes majeures. Malgré tous les efforts faits en ce sens, il n'existe pas de critère absolu pour justifier l'arrêt d'un processus de classification ascendante hiérarchique à un niveau donné. Cette faiblesse laisse à l'utilisateur le soin de déterminer le nombre de classes souhaité en fonction du degré de détails souhaité. Les figures 2, 3 et 4 montrent les résultats : chaque classe est identifiée par un numéro (de 1 à 14), est accompagnée de sa fréquence d'apparition sur les 11 ans (en %), d'un graphique d'occurrence annuel (histogramme), du champ de pression moyen de la classe (isobares) et d'un profil de radiosondage moyen (de 300 à 13700m). A noter que la pression moyenne dans le secteur d'étude est de 1017 hPa et que les isobares sont représentés en traits pleins pour des pressions plus hautes que la moyenne (H), et en trait discontinu pour des pressions plus basses que la moyenne (B).

La classe 5, est la plus fréquente (22.8%), c'est une classe dépressionnaire, les isobares sont orientés sud-ouest nord-est, et la circulation est de sud-ouest dans toute la troposphère avec un jet bien formé. Elle se produit légèrement plus fréquemment en automne que durant le reste de l'année. La deuxième classe la plus fréquente est la classe 6 (13.1%). Le champ isobarique est très contrasté entre des hautes pressions localisées au sud-ouest, et des basses pressions au nord-est, donnant une circulation d'ouest dans les basses couches qui tourne au nord-ouest au niveau



Figures 2-3-4 : Configuration des 14 classes avec leur champ de pression moyen, radiosondage moyen, répartition annuelle et fréquence. Les isobares inférieures à la valeur moyenne (1017) sont dessinés en pointillés.

du jet-stream bien formé. C'est une classe qui se produit préférentiellement en hiver. La classe 3 présente la même configuration que la classe 6, mais avec un champ de pression moins contrasté, plutôt supérieur à la valeur moyenne et avec des vitesses de vent moins élevées dans les basses couches. Cette classe est assez fréquente en été. A elles seules, ces trois classes représentent plus de 47% des journées.

La classe 4 présente une situation de marais barométrique avec de très hautes pressions sur tout le domaine, un vent quasi nul au sol surmonté d'un vent de nord en altitude. Comme le montre l'histogramme, c'est une classe typiquement hivernale. La classe 1 est également une situation typiquement hivernale avec un champ de pression plutôt anticyclonique, localisé à l'est du secteur, conduisant à des vents de sud dans les basses couches, tournant à l'ouest en altitude. La classe 2, qui fait 9.4% des cas est intéressante dans le sens où elle matérialise un champ de hautes pressions au nord-est, et la mise en place d'un vent d'est dans la basse troposphère s'inversant en haute altitude. Cette situation se produit en toutes saisons.

Les classes 7, 8 et 10 sont des variantes d'un même type de situation présentant des hautes pressions sur tout le flanc ouest à nord-ouest du secteur, avec différents profils de vent. Pour la classe 9 (11.4%), les hautes pressions se situent au nord-ouest, avec des vents de nord-est dans toute la troposphère. La classe 11 est une situation typique d'été, avec des hautes pressions au nord et surtout une augmentation graduelle des vitesses de vents entre les basses et les hautes couches. La classe 12 est plus fréquente au printemps et en automne et matérialise les remontées de sud sud-ouest. La classe 13 présente un cisaillement entre les vents des basses couches (est à sud-est) et d'altitude (sud-ouest). Elle est assez fréquente en automne. La classe 14 est très peu fréquente, son champ de pression n'est pas interprétable, mais elle révèle une particularité dans la configuration du radiosondage, avec des vents d'est soutenus vers 10000m, qui correspond à une inversion de la circulation atmosphérique habituelle dans toute la troposphère, avec des vitesses élevées.

### **Conclusion**

Cet article présente les résultats d'une démarche qui vise à exploiter et à combiner les données de vent et de pression disponibles depuis de longues années dans le nord-est de la France afin de mieux comprendre l'évolution de la circulation atmosphérique dans ce secteur. Cette étude pour servir de cadre pour de futures recherches et notamment pour la compréhension de la circulation du vent dans le Fossé Rhénan. Ce n'est en effet qu'en couplant les informations obtenues à différentes échelles que peut s'élaborer une véritable climatologie du vent. Il reste donc à exploiter plus avant cette classification et à la mettre en relation avec les champs de vent réellement observés au niveau du sol.

### **Remerciements**

Je tiens à mentionner le British Atmospheric Data Centre (B ADC) pour la fourniture des données de radiosondage.

### **Bibliographie**

- GRABER W. K. et GASSMANN F. 2000. Real time modelling as an emergency decision support system for accidental release of air pollutants. *Mathematics and computers in simulation*, 52, p. 413-426.
- KASTENDEUCH P. P. et KAUFMANN P. 1996. Classification of summer wind fields over complex terrain. *Int. J. Climatol.*, 17, p. 521-534.
- WEBER R. O. et KAUFMANN P. 1995. Automated classification scheme for wind fields. *J. Appl. Meteor.*, 34, 5, p. 1133-1141.