

Double diffusion, convection de Boussinesq et convection profonde en air atmosphérique pollué ou humide

Pierre-Antoine Bois

Laboratoire de mécanique de Lille, UMR CNRS 8107, UFR de mathématiques, bâtiment M3, USTL, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France

Reçu le 6 décembre 2005 ; accepté après révision le 25 août 2006

Disponible sur Internet le 22 septembre 2006

Présenté par Évariste Sanchez-Palencia

Résumé

On donne la forme prise par les équations de diffusion moléculaire et on montre comment la détermination des coefficients de diffusion moléculaire de scalaires passifs inerts (polluants, humidité, etc.) dans l'air atmosphérique peut être réalisée en première approximation par des relevés de pression, température et densités dans le milieu au repos. Ces approximations sont valables lorsque l'on écrit des équations de convection peu profonde (équations de Boussinesq), quelle que soit la fréquence de Brunt–Väisälä (donc dans la stratosphère et la troposphère). Dans le cas de la convection profonde, possible uniquement dans la troposphère, la faible fréquence de Brunt–Väisälä affecte aussi l'équation de diffusion moléculaire, celle-ci modifiant de son côté la forme des équations de convection. Des évaluations plus fines des coefficients doivent également être faites, à partir de relevés statiques pour différentes distributions de température par exemple. *Pour citer cet article : P.-A. Bois, C. R. Mécanique 334 (2006).*

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Double diffusion, Boussinesq convection and deep convection in polluted or moist atmospheric air. We derive the molecular diffusion equations, and we show how the determination of the molecular diffusion coefficients of passive scalars (pollutants or moisture) in the atmospheric air may be performed, in first approximation, by means of data of pressure, temperature and densities in the medium at the rest. These approximations are sufficient in order to write the equations of shallow convection (Boussinesq equations), whatever be the Brunt–Väisälä frequency of the medium (as well as in the troposphere and in the stratosphere). In the case of deep convection, which is possible in the troposphere only, the weakness of the Brunt–Väisälä frequency modifies the molecular diffusion equations, and these equations also modify the equations of convection. More accurate evaluations of the diffusion coefficients must also be made, using, for instance, static datas associated with several temperature distributions. *To cite this article: P.-A. Bois, C. R. Mécanique 334 (2006).*

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Mécanique des fluides ; Diffusion moléculaire ; Air hétérogène ; Convection peu profonde ; Convection profonde

Keywords : Fluid mechanics; Molecular diffusion; Heterogeneous air; Shallow convection; Deep convection

Adresse e-mail : pierre-antoine.bois@univ-lille1.fr (P.-A. Bois).

Abridged English version

The main aim of this Note is to express the degeneracies of the equations of the polluted atmospheric convection in both cases where the Brunt–Väisälä (B–V) frequency is of order unity (case of the stratosphere) and in the case of weak B–V frequency (case of the troposphere). The most original equation, in a polluted atmosphere, is the molecular diffusion equation. In the convection of heterogeneous fluids the molecular diffusion equation is usually written with the help of Fick’s law. Although this law agrees with standard experiments, the principles of thermodynamics lead to more sophisticated constitutive equations, namely, in the case of inert pollutants, Eqs. (1) and (2), from which we deduce the values (3) of the diffusion coefficients. Moreover, we assume that the mixture is an ideal mixture of $N + 1$ polytropic gases, the concentrations $(q_\alpha)_{\alpha=1,\dots,N}$ of the N pollutants being of order of magnitude $O(q^*)$, and the concentration q_0 of the dry air being $1 - O(q^*)$ (q^* is a small numerical parameter). Under these assumptions the diffusion equations are expressed in the approximate form (9).

Now we examine an equilibrium state of the mixture. The static equations read in the form (10)–(12). These equations, taken into account the formulæ (4) and (7), provide the static values, say $\tilde{C}_{\alpha\beta}(z)$, of the diffusion coefficients for a given equilibrium state characterized by a temperature $\tilde{T}(z)$ and the concentrations of pollutants $\tilde{Q}(\alpha)(z)_{\alpha=1,\dots,N}$.

In order to study the convection in the medium, we now distinguish two cases, namely: (i) large B–V frequency of the static state (stratospheric convection); and (ii) weak B–V frequency of the static state (tropospheric convection). In the case (i) the only possible convection is a Boussinesq convection: the characteristic length of the convection, say L , is small before the atmospheric height H . The convection may exist either in thin medium (shallow convection in shallow medium), or in deep medium (shallow convection in deep medium). The equations lead to the first approximation (16) of diffusion equations. In these equations the diffusion coefficients $C_{\alpha\beta}$ are the static coefficients $\tilde{C}_{\alpha\beta}$, hence: either constant (in a shallow medium) or slowly varying with the altitude (in a deep medium).

In the case (ii) two kinds of convection may arise: (ii-1) the shallow convection, which is not very different of that of the case (i); and (ii-2) the deep convection: the length L is of the same order as the atmospheric height H , and the relevant motion equations are the anelastic equations. In this case, three degeneracies of the diffusion equations may arise, according with the magnitude of the concentrations of pollutants: for large concentrations, the resulting motion is quasi-static (Eq. (24)); for weak concentrations, both Boussinesq motions (Eq. (25)) and anelastic motions (Eq. (26)) can occur; for very small concentrations of pollutants, the convection remains the same as in pure fluid, while the molecular diffusion is a static diffusion only. Each diffusion coefficient $C_{\alpha\beta}$ is the sum of a coefficient $\tilde{C}_{\alpha\beta}$ (which is, in that case, rapidly variable) and a perturbation $\bar{C}_{\alpha\beta}$ which may be estimated using measurements of several static states of the medium.

1. Introduction

Un des mécanismes de diffusion d’impuretés dans l’air atmosphérique est celui de diffusion–convection. Dans l’air pur il s’agit de la diffusion de la chaleur. Dans l’air pollué ou humide on doit également tenir compte du transport de ces impuretés dans le milieu. Ce transport, pour une espèce inerte de concentration q , est écrit ordinairement à l’aide d’une formule $\rho dq/dt = C \Delta q$ (*loi de Fick usuelle*). Bien que cette loi concorde souvent avec l’expérience, les principes de la rhéologie conduisent à des équations moins simples : le premier objet de cette Note, qui complète et généralise une autre Note [1] est de préciser les conditions de validité des différentes formes prises par les équations de diffusion moléculaire dans un air hétérogène : un fluide hétérogène composé de $N + 1$ constituants est décrit à l’aide de $N + 2$ variables thermodynamiques, par exemple : la pression p , la température T , et N concentrations q_α ($1 \leq \alpha \leq N$). Dans ce qui suit nous considérons un mélange d’impuretés dans l’air. Nous désignons par q_α la concentration massique de la α -ème impureté, la concentration de l’air étant alors $q_0 = 1 - \sum q_\alpha$. La loi d’état s’exprime sous une forme $\rho = f(p, T, (q_\alpha)_{(\alpha=1,\dots,N)})$, où f est un opérateur algébrique.

On a montré par ailleurs [2] que la diffusion moléculaire pour le constituant de concentration q_α peut s’exprimer linéairement en fonction du gradient de pression et des gradients de concentrations des impuretés à l’aide de coefficients de diffusion $C_{\alpha\beta}$, $0 \leq \beta \leq N$: $C_{\alpha 0}$ définit la diffusion moléculaire due au gradient de pression, $C_{\alpha\alpha}$ représente la diffusion directe de l’impureté, les $C_{\alpha\beta}$ tels que $\alpha \neq \beta$ représentent une diffusion croisée due aux gradients de concentration des autres impuretés. On montre comment une estimation des $C_{\alpha\beta}$ peut être déduite de relevés expérimentaux de température, pression et masses volumiques dans le milieu au repos.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/824363>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/824363>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)