Modélisation physique de la brise de pente atmosphérique

Autor(en): **Keller, Jean-Claude**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **107 (1981)**

Heft 2

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74301

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Modélisation physique de la brise de pente atmosphérique

par Jean-Claude Keller, Lausanne

Au cours de ces deux derniers siècles, l'homme, par ses activités, a considérablement modifié son environnement. L'extension d'une ville, les grands travaux de génie civil et la culture intensive modifient la nature du sol, alors que la circulation automobile, l'industrie et la production d'énergie modifient les conditions physiques et la composition chimique de l'air ou de l'eau, suivant les cas. Ces modifications peuvent conduire à des changements des conditions climatologiques régionales, spécialement dans des régions à forte densité de population. L'exemple le plus célèbre est sans aucun doute la région du bassin de Los Angeles en Californie, où la température, en raison de la pollution, est en moyenne supérieure à celle du reste de la côte californienne sud.

Il est donc souhaitable de se donner les moyens d'évaluer le niveau des perturbations occasionnées par les activités humaines sur les conditions climatologiques dans une région. Pour ce faire, on dispose de deux méthodes d'approche principales, l'une par modélisation physique (reproduction sur un modèle physique à une certaine échelle des différents mécanismes régissant les phénomènes pris en considération), l'autre par simulation mathématique (mise en équation de la physique des phénomènes à étudier). Mais la complexité d'une telle entreprise ne permet pas actuellement d'intégrer dans un seul modèle l'effet de tous les paramètres caractéristiques des phénomènes atmosphériques.

La présente communication expose une méthode d'approche par modélisation physique de la brise de pente. Dans la première partie, l'analyse de la phénoménologie de ces vents est effectuée en prenant pour base le modèle mathématique de la brise de pente formulé par Prandtl. Dans la seconde partie, une technique de modélisation ainsi que les résultats obtenus sont présentés.

L'intérêt de la modélisation de la brise de pente réside dans le fait que, comme l'a montré Defant [2],[1] les vents de vallée sont la résultante tridimensionnelle des brises prenant naissance sur les flancs et le fond d'une vallée. Par conséquent, dans une étude des écoulements atmosphériques d'une région à topographie tourmentée, le recours à la présente technique de modélisation des brises de pente proposée permettrait de créer des vents de vallée.

1. Phénoménologie de la brise de pente

La brise de pente prend naissance dans l'atmosphère au-dessus de toute surface inclinée chauffée ou refroidie par rapport à la masse d'air présente. Ce phénomène naturel peut être décomposé du point de vue énergétique en quatre parties, qui sont données par la figure 1.

2. Analyse de la brise de pente faite par Prandtl

Prandtl [7], au moyen des équations conventionnelles de la mécanique des fluides, a exprimé l'équilibre thermique et mécanique du phénomène stationnaire existant au-dessus d'un plan incliné, refroidi ou réchauffé, dans une atmosphère stratifiée à gradient thermique potentiel[2] constant. Pour résoudre le système d'équations, il s'est placé dans le cas où la variation d'énergie interne des particules d'air mises en mouvement au-dessus du plan par l'effet des forces de flottabilité compense strictement les variations de température consécutives au déplacement dans la masse d'air stratifiée. Pour satisfaire à cette condition, il faut que le flux thermique de perturbation ne dépende que de la direction normale au plan, puisqu'il considère la masse d'air stratifiée à gradient thermique potentiel constant. De plus, Prandtl paramétrise les échanges turbulents (thermique et mécanique) par la méthode conventionnelle des coefficients de diffusivité thermique (K_H) et mécanique (K_M), qu'il suppose constants [8] (chapitres 3.5 et 4.7). Toutes ces conditions lui permettent de supposer que la perturbation de température de l'air au-dessus du plan incliné ne dépend que de la normale au plan, et également que le déplacement des particules d'air est parallèle au plan, puisque tout mouvement fait perpendiculairement entraînerait une modification de cette perturbation.

Rappel des équations et des solutions de Prandtl (fig. 2)

Equations considérées:

$$0 = g\frac{1}{T_M}\Theta' \sin\psi + K_M\frac{\partial^2 u}{\partial Z_p^2}$$

et

$$0 = u\frac{\partial\Theta}{\partial X_p} - K_H\frac{\partial^2\Theta}{\partial Z_p^2}$$

avec:

$\Theta = T_{p_0} + B\cdot Z + \Theta'(Z_p)$

K_M = coefficient de diffusivité turbulente

K_H = coefficient de diffusion turbulente

T_M = valeur de la température non perturbée à une hauteur moyenne de la pente.

Solutions des équations:

$$\Theta'(Z_p) = \Theta'_0\cdot e^{-Z_p/l}\cdot\cos Z_p/l$$

et

$$u = \Theta'_0\sqrt{\frac{g\,K_H}{B\cdot T_M\cdot K_M}}\; e^{-Z_p/l}\sin Z_p/l$$

avec $l = \left(\dfrac{4\,K_M\cdot K_H\cdot T_M}{g\cdot B\sin^2\psi}\right)^{1/4}$

3. Comparaison entre la nature et le modèle mathématique de Prandtl

Cette communication n'a pas pour objectif de faire la preuve de la représentativité du modèle de Prandtl pour ce type de phénomène, il faut pour cela se référer à l'article de F. Defant [2]. Cepen-

1) énergie solaire	Energie thermique fournie au sol durant la journée
2) énergie interne	Energie thermique échangée durant le jour et la nuit entre le plan incliné et l'air créant des différences de température entre les particules près de la surface et celles de la masse d'air
3) énergie potentielle de position	Energie mécanique fournie à l'air. Conséquence des différences de température, donc de masse, entre les particules près de la surface du plan incliné et celle de la masse d'air à la même altitude
4) énergie dissipée	Dissipation de l'énergie mécanique due à la viscosité de l'air

Fig. 1. — Mécanisme de naissance de la brise de pente.

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

[2] Définition générale de la température potentielle:

$$T_p = T\left(\frac{p_0}{p}\right)^{\alpha_\sigma}$$

avec α_σ = coefficient thermique polytropique [1] (chap. 2.8).

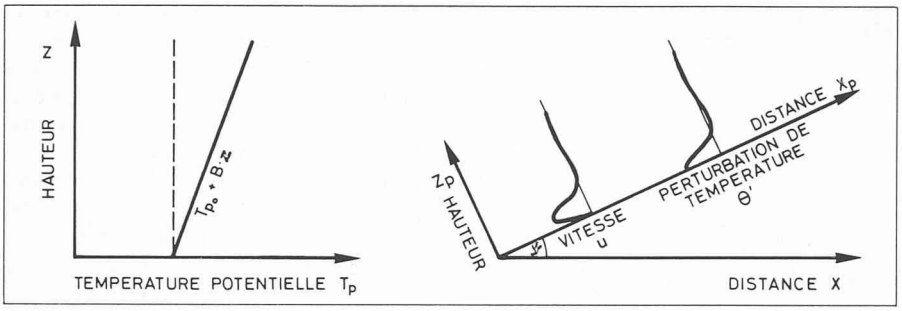


Fig. 2. — Brise de pente selon Prandtl.

dant, une comparaison entre les solutions données par Prandtl et le phénomène naturel devrait permettre d'en apprécier la validité.

Cette comparaison a été réalisée grâce à des mesures enregistrées par un ballon sonde du service de la protection de l'air de l'Institut suisse de météorologie à Payerne. Ces mesures consistent en l'établissement de profils de température et de vitesse en fonction de l'altitude, faites en juillet 1975 dans la vallée de la Broye à Payerne. La figure 3 permet de les comparer avec la représentation mathématique suivant Prandtl du phénomène brise de pente[3]. Les faibles différences apparaissant sur cette figure sont probablement dues à l'existence d'un mouvement de la masse d'air en altitude dont la température n'est pas perturbée par le sol et qui s'oppose à l'écoulement thermique. En effet, la condition supposée par Prandtl, d'une masse d'air immobile, n'apparaît que très rarement dans la nature et n'est pas vérifiée dans ce cas.

Ce simple exemple montre que le modèle de Prandtl permet une excellente approche de ce type d'écoulement atmosphérique. C'est pourquoi les résultats de la modélisation physique décrits au chapitre 5 seront comparés avec cette théorie, à défaut de pouvoir être comparés avec la réalité.

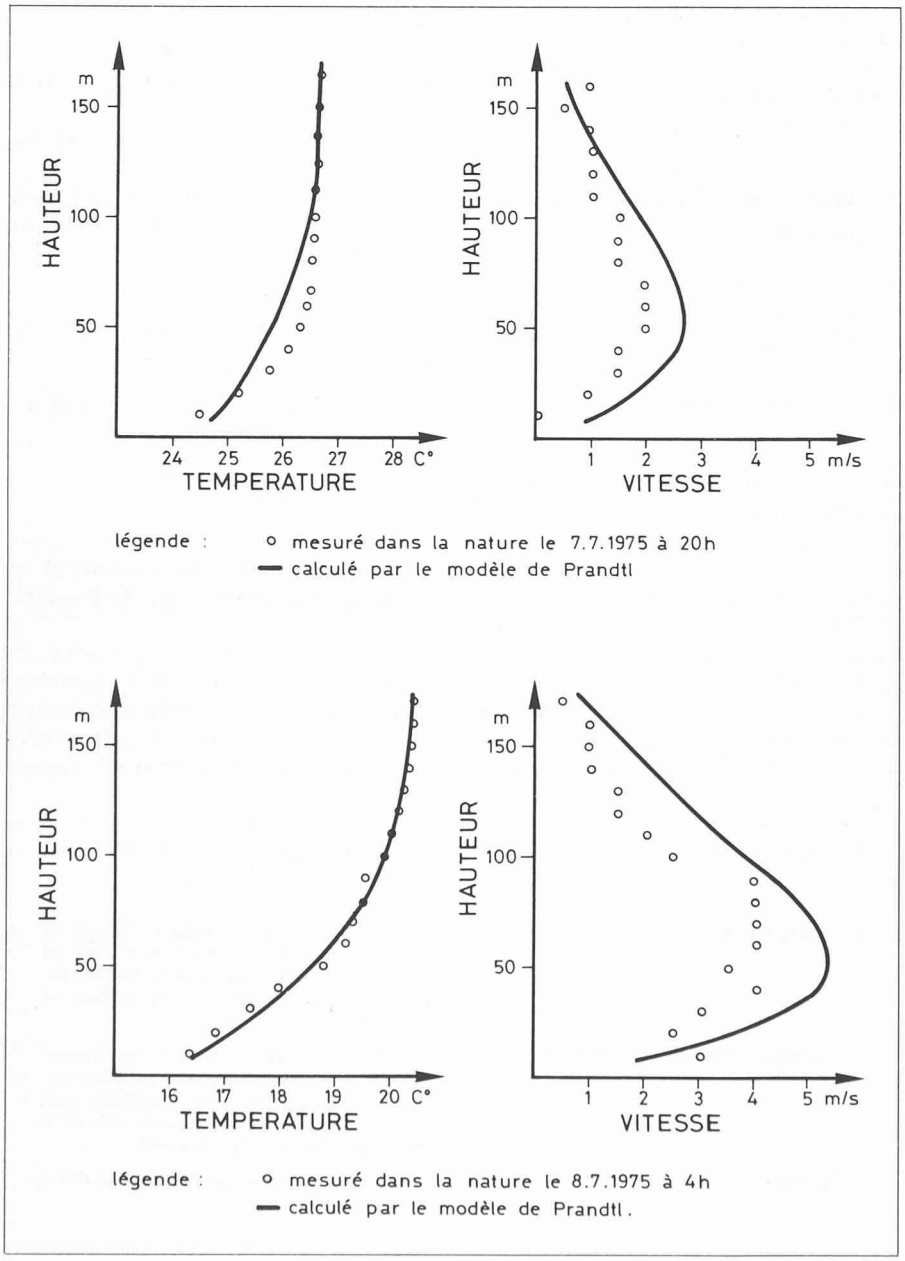


Fig. 3. — Comparaison entre un écoulement thermique mesuré à Payerne et le modèle de Prandtl.

4. La modélisation physique de la brise de pente

La comparaison faite au chapitre 3, entre une brise de pente mesurée dans la réalité et le modèle mathématique de Prandtl, montre que d'une part la phénoménologie de la brise de pente, décrite aux chapitres 1 et 2, est bonne, et que d'autre part, la représentation paramétrique de la turbulence par des coefficients de diffusivité constants ne conduit pas à de grosses différences sur les profils de vitesse et de température. Il est donc envisagé ici de simuler le phénomène de brise de pente, qui est turbulent dans la nature, par un phénomène laminaire prenant naissance dans de l'air au-dessus d'une plaque inclinée refroidie ou réchauffée.

4.1 *Règles à suivre dans la modélisation physique*

Pour la modélisation d'effet de mise en mouvement par les forces de gravitation, il faut respecter en premier lieu les règles données par les nombres de Froude et d'homochronie. Donc en restant dans le même champ de gravitation:

— les échelles des vitesses et des temps doivent varier comme la racine carrée de l'échelle des dimensions.

En second lieu, il faut respecter les contributions au phénomène des différentes formes d'énergie d'une part, et des dissipations d'autre part. Le respect de ces échanges est dicté par des règles qui découlent des équations de Prandtl rendues adimensionnelles, puisque ces équations sont représentatives de la physique du phénomène[4]:

— le nombre $\frac{u_0 D_0^2 B_0}{K_{H_0} \Theta'_0}$, représentatif de l'équilibre thermique, donne que la valeur $\frac{K_{H_0} \Theta'_0}{B_0}$ varie comme l'échelle des dimensions à la puissance 5/2,

[3] Les valeurs suivantes ont été introduites dans les solutions de Prandtl (voir chapitre 3):
pente: 3° $B = 0.2\ 10^{-2}$ °/m
pour le 7.7.75 à 20 h.: $\Theta'_0 = 2°$
pour le 8.7.75 à 4 h.: $\Theta'_0 = 4°$
$K_M = K_H = 1$ m²/sec
$T_M = 298.5$ °K
$T_M = 292$ °K

[4] Méthode conventionnelle des nombres adimensionnels.
Définition $x^* = \frac{x}{x_0}$

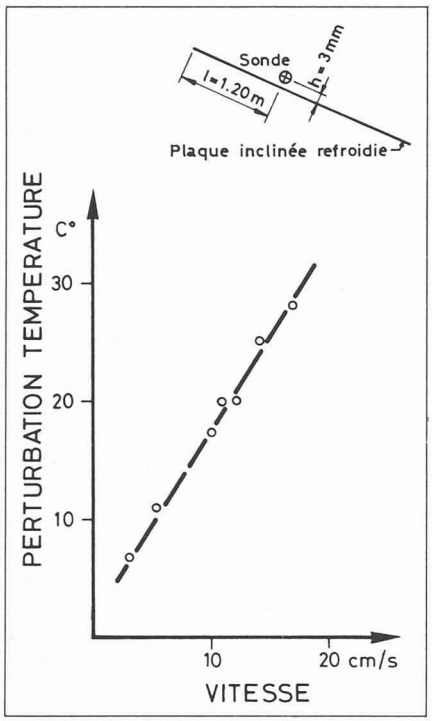


Fig. 4. — Vitesse à 3 mm du sol.

— le nombre $\frac{g\,\Theta'_0\,D_0^2}{T_M\,K_{M_0}\,u_0}$, représentatif de l'équilibre mécanique, donne que la valeur $\frac{K_{M_0}\,T_M}{\Theta'_0}$ varie comme l'échelle des dimensions à la puissance 3/2.

4.2 *Modélisation physique*

4.2.1 Choix du fluide

Le choix de l'air a été guidé par les considérations suivantes:

— il est nécessaire de créer des variations de densité suffisantes par différence de température uniquement, ce qui implique le choix d'un gaz,

— ce choix permet en outre d'introduire des phénomènes biphasiques air-eau pour tenir compte de l'humidité,

— l'air est un fluide commun d'emploi aisé!

4.2.2 Installation d'essai

Le stand d'essai est composé d'une plaque d'aluminium de 2 m × 1 m, inclinée d'un angle de 7° et refroidie par le dessous au moyen d'un serpentin dans lequel circule un fluide caloporteur (antigel). La plaque possède deux parois verticales forçant l'écoulement dans le sens de la pente.

Sur ce modèle, seul un écoulement thermique descendant, obtenu par refroidissement de la plaque, a été créé. En effet, la longueur de la plaque trop petite et la faible valeur du gradient thermique vertical, existant dans la halle d'essai, se prêtent mal à la création d'un écoulement montant.

5. Présentation des résultats obtenus

5.1 *Les mesures effectuées*

Les figures 4 à 7 présentent les résultats des différentes mesures effectuées dans l'écoulement d'air descendant, créé au-dessus de la plaque refroidie. Sur la base de ces figures, les remarques suivantes peuvent être faites:

1) La relation linéaire, donnée dans la théorie de Prandtl, entre la vitesse de déplacement de l'air et la perturbation en température de la surface, semble confirmée expérimentalement, si la mesure est effectuée le plus près possible de la surface (fig. 4).

2) La plaque qui a des dimensions finies (2 m × 1 m) ne permet pas de faire des mesures en un point où les couches limites se seraient complètement développées (fig. 6).

3) La non-linéarité de la vitesse maximale, en fonction de la perturbation de température de la surface (fig. 5), paraît infirmer la remarque 1). Cette contradiction découle du fait que les couches limites ne sont pas stabilisées sur la plaque. Il serait intéressant d'étudier l'évolution de cette relation en fonction de la position au-dessus de la surface en utilisant une plaque beaucoup plus longue. Ceci n'a pas été réalisé dans ce travail.

5.2 *Echelle de la modélisation*

Il convient de préciser ici que l'état d'équilibre thermique correspondant aux hypothèses exprimées par Prandtl (voir paragraphe 2) n'est pas respecté dans la présente expérience. Les couches limites ne sont pas entièrement développées sur toute la longueur de la plaque. Pour respecter cet équilibre, il aurait fallu recourir à une plaque beaucoup plus longue, ou modifier le gradient thermique vertical B de la masse d'air ambiant. En prenant les profils mesurés de la figure 7 et en supposant que l'équilibre thermique, défini par Prandtl, est réalisé — donc que la

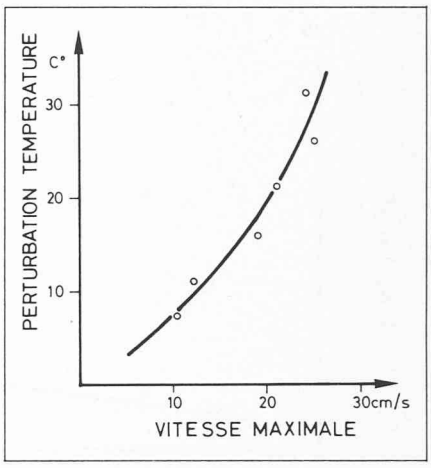


Fig. 5. — Vitesse maximale.

couche limite mécanique est stabilisée — il est possible de calculer que cet état est obtenu dans une masse d'air qui aurait un gradient thermique de 78°/m, alors qu'en réalité il n'était que de 0,5°/m. Il sera donc vain de rechercher une solution des équations de Prandtl sans tenir compte de cette correction du gradient.

Comparaison «phénomène de Prandtl — modélisation physique» (représentation en figure 7):

— Inconnues:
  e = échelle des dimensions entre le modèle et Prandtl
  K_M pour Prandtl = K_M
  K_H pour Prandtl = K_H

— Données:
  T_1 pour modèle = 288 °K
  Θ'_0 pour modèle = 25 °K
  B pour modèle = 78 °K/m
  K_M pour modèle = $14 \cdot 10^{-6}$ m²/s
  K_H pour modèle = $19.7\ 10^{-6}$ m²/s
  T_1 pour Prandtl = 288 °K
  Θ'_0 pour Prandtl = 25 °K
  B pour Prandtl = $78 \cdot e$ °K/m

Appliquons alors les relations sur la similitude énoncées dans le chapitre 4.1:

— de la relation sur $\frac{K_H \cdot \Theta'}{B}$ il vient:

$$e = \left(\frac{19.7\ 10^{-6}}{K_H}\right)^{2/3} \qquad \text{(a)}$$

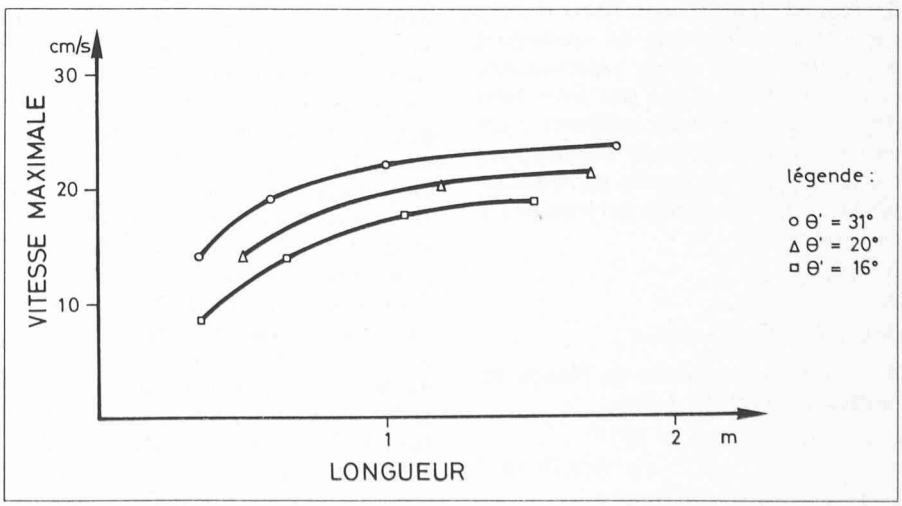


Fig. 6. — Vitesse maximale en fonction de la position sur la plaque.

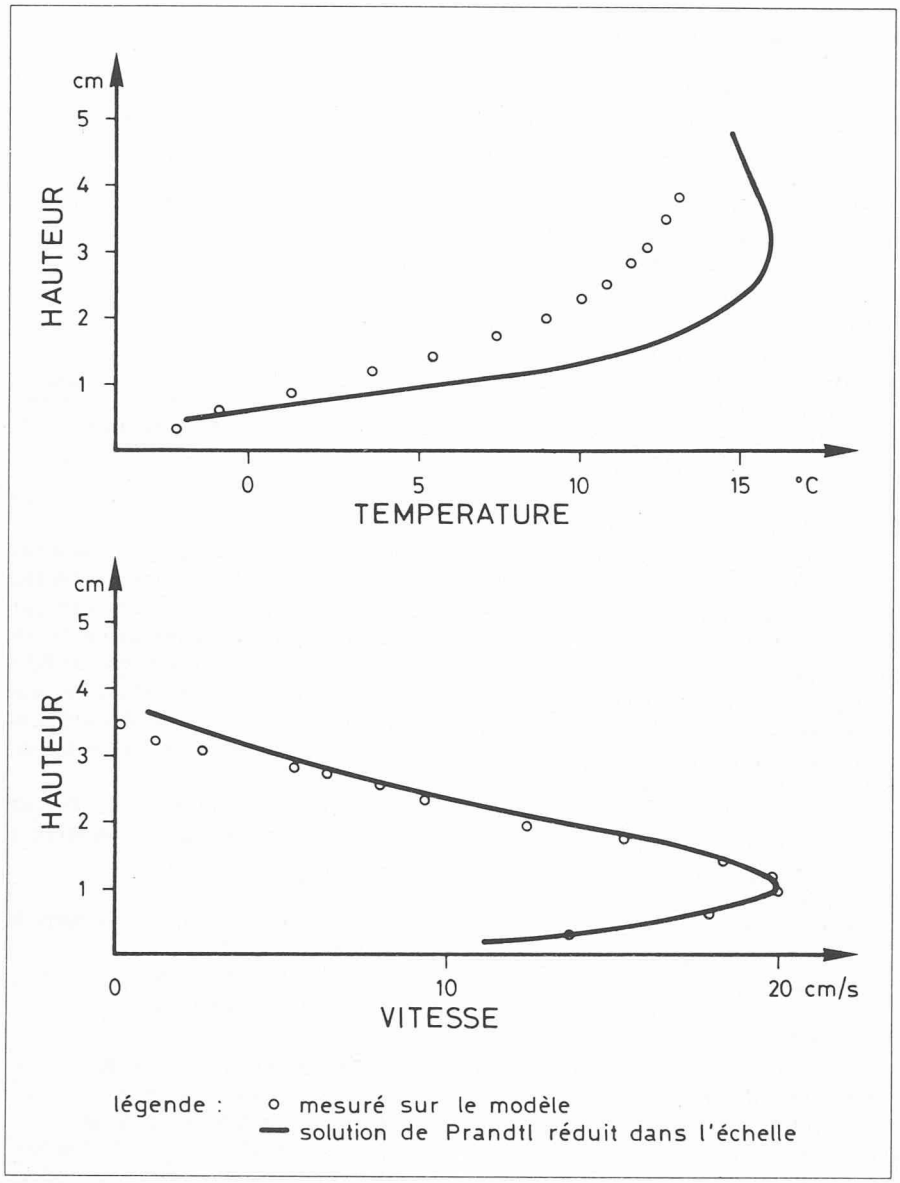


Fig. 7. — Brise de pente selon Prandtl comparaison entre des profils mesurés et calculés.

— de la relation sur $\frac{K_M T_1}{\Theta'}$ il vient:

$$e = \left(\frac{14 \cdot 10^{-6}}{K_M}\right)^{2/3} \qquad \text{(b)}$$

Pour résoudre ce système, il manque encore une équation de liaison; les deux nombres à la base de ces relations font cependant déjà intervenir les équations de Prandtl. Il faut donc fixer une des variables, par exemple en choisissant $K_M = 0{,}06$ m²/s, valeur représentative du cas modélisé d'une très forte brise descendante. Ce choix arbitraire n'entraîne d'ailleurs qu'une modification d'échelle, mais n'a pas de conséquence sur la forme des profils (le produit $l \cdot e$ ne varie pas).

Il vient alors:
de (b) $e = 1/264$
de (a) K_H : 0.0845 m²/sec

Avec pour les solutions de Prandtl réduites dans l'échelle 1/264:

$$\begin{cases} u = 0.62 \sin^{Zp}/1.29 \cdot 10^{-2} \cdot \\ \qquad \cdot e^{-Zp}/1.29 \cdot 10^{-2} \\ \Theta' = 25 \cos^{Zp}/1.29 \cdot 10^{-2} \cdot \\ \qquad \cdot e^{-Zp}/1.29 \cdot 10^{-2} \end{cases}$$

Il est intéressant de remarquer que, pour des valeurs de K_M *variant de 0,1 m²/s à 10 m²/sec (valeurs représentatives pour une brise de pente atmosphérique), l'échelle d'une telle modélisation (turbulente – laminaire) varie entre 1/371 et 1/7991.*

Ces deux équations sont superposées graphiquement aux mesures correspondantes sur la figure 7. De la comparaison entre les profils mesurés et ceux calculés, réduits à la même échelle, il ressort qu'il existe une bonne similitude pour la représentation des vitesses, mais un gros écart pour celle des températures. Ceci s'explique par la distorsion de la caractéristique thermique de la masse d'air introduite pour simuler artificiellement la condition imposée par Prandtl sur l'équilibre thermique. En effet, c'est l'énergie potentielle de position, consécutive au refroidissement du fluide, qui est le moteur de l'expansion de la couche limite mécanique. Donc le fait de la supposer stabilisée, alors qu'elle ne l'est pas entraîne que la couche limite thermique mesurée contient implicitement plus d'énergie potentielle de position que celle calculée d'après cette hypothèse.
Par cette astuce de calcul, le profil de vitesse a toutefois pu être ajusté selon la loi de Prandtl afin de le rendre semblable aux mesures et de connaître l'échelle de cette réduction en fonction des autres paramètres.

6. Synthèse des résultats

Les résultats présentés dans le chapitre 5 permettent de relever les points importants suivants:

— une fois les conditions physiques de la manipulation fixées (inclinaison, température et rugosité de la plaque), c'est le gradient thermique vertical dans la masse d'air non perturbée, qui est le paramètre explicatif de l'équilibre thermique. Il est donc probable que son influence est grande sur la longueur nécessaire pour atteindre un état d'équilibre;
— l'écoulement mesuré sur une plaque plane finie, inclinée et refroidie, n'atteint pas un état d'équilibre pour les valeurs du gradient thermique vertical qui existait pendant les mesures dans la masse d'air non perturbée (fig. 6);
— malgré cette instabilité, une tendance linéaire entre la vitesse et le Θ'_0 a été mise en évidence (fig. 4). Ce résultat est en accord avec la théorie de Prandtl;
— grâce à une hypothèse de calcul faite sur le gradient thermique, une comparaison entre les mesures et la théorie de Prandtl a été possible, elle montre qu'il existe une parfaite similitude sur les profils de vitesse (fig. 7);
— en produisant un écoulement laminaire, cette modélisation simule des phénomènes dont le rapport des coefficients de diffusivité thermique et mécanique est égal à 1,41. Ce fait n'est pas une limitation majeure car la forme des profils est peu sensible à la variation des coefficients de diffusivité.

Pour avoir les moyens de maîtriser tous les paramètres intervenant dans le phénomène de brise de pente, les travaux suivants sont en cours:

— simuler expérimentalement le gradient thermique vertical de la masse d'air non perturbée;
— étudier le comportement en similitude d'une brise de pente prenant naissance en présence d'un vent synoptique.

7. Conclusions

La présente communication expose une méthode opérationnelle de simulation d'une brise de pente atmosphérique par un modèle physique. Cette méthode est

Remerciements

L'auteur remercie MM. J.-A. Hertig et P. Liska pour leurs conseils et leurs suggestions sans lesquels cet article n'aurait jamais paru.

Toute sa reconnaissance va également à M. Aeppli, de la section de la protection de l'air de l'Institut suisse de météorologie à Payerne (SPA/ISM), pour avoir aimablement mis à sa disposition des résultats des sondages météorologiques de température et de vitesse de l'air.

Références

[1] L. Borel: *Thermodynamique I et II.*

[2] F. Defant: *Zur Theorie des Hangwinde, nebst Bemerkungen zur Theorie der Berg und Thalwinde.* Archive Meteo. Geoph. Biokl., A, BD. I, H. 3-4, 1949 ISM/SPA, Payerne.

[3] J.-A. Hertig: *Etude de la similitude entre écoulements turbulents.* Thèse N° 288, EPFL, Lausanne 1977.

[4] J.-A. Hertig: *Modèle mathématique et physique.* Rapport Climod N° 149.50, 1978.

[5] A. Jelinek: *Beiträge zur Mekanik der periodischen Hangwind.* Beitr. Physik fr. atm. 24, 85 (1937).

[6] J.-C. Keller: *Note synthétique sur la brise de pente, 1re partie.* Rapport Climod N° 501.108, 1979.

[7] L. Prandtl: *Strömungslehre.* Verlag Vieweg & Sohn.

[8] O.-G. Sutton: *Micrometeorology.*

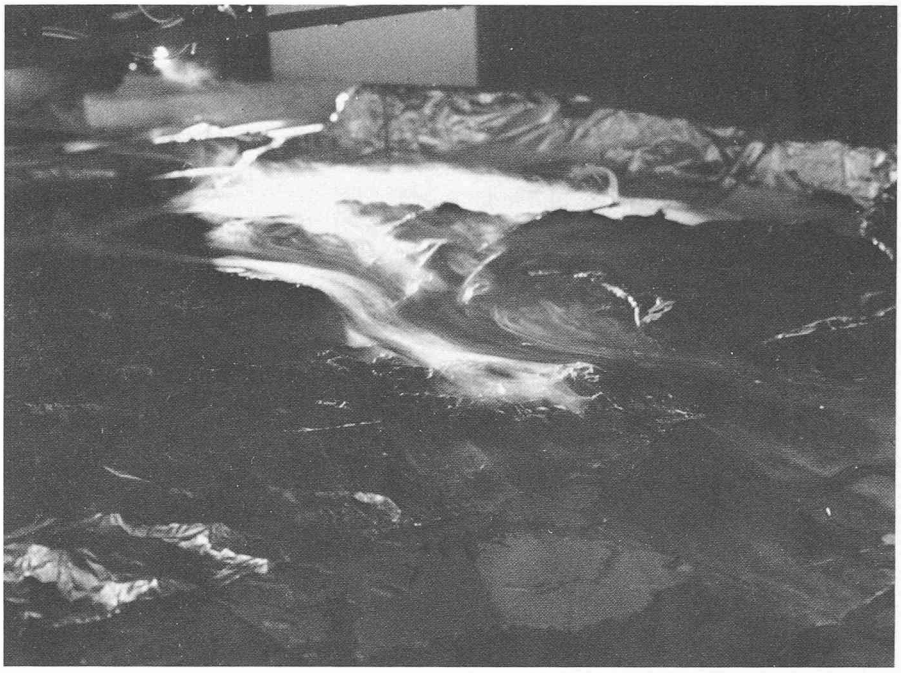


Fig. 8. — Lac d'air froid sur le Plateau suisse avec débordement par-dessus les crêtes du Jura, région Waldshut-Bâle vue du nord-ouest.

utilisée par l'Institut d'économie et d'aménagements énergétiques (IENER) de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) sur un modèle tridimensionnel, à l'échelle 1/5000, de la région bâloise (vallée du Haut-Rhin) pour simuler des écoulements thermiques atmosphériques (voir figure 8). Ces travaux s'insèrent dans le cadre d'un projet plus vaste visant à déterminer l'impact des activités humaines sur le climat de la vallée du Haut-Rhin/Rhin supérieur.

Adresse de l'auteur:
Jean-Claude Keller,
Collaborateur scientifique,
Institut d'économie et aménagements énergétiques (IENER),
Ecole polytechnique fédérale,
1015 Lausanne

Bibliographie

Physique, temps et devenir

par *I. Prigogine*, Prix Nobel. — Un vol. 16 × 24 cm, 280 pages, broché, Edit. Masson, Paris 1980.

La nature que nous percevons aujourd'hui est très différente de celle de la physique classique, dans laquelle le temps n'était qu'un paramètre. Le passé et l'avenir jouaient le même rôle au niveau des lois fondamentales. Physiciens et chimistes savaient certes qu'une description où futur et passé sont symétriques ne pourrait s'appliquer à tous les phénomènes. Mais ces « phénomèmes irréversibles » furent longtemps négligés au niveau de la description fondamentale de la physique. Cette description classique correspondait à une vue statique du monde. Un autre point de vue, où le temps joue un rôle plus important, prévaut aujourd'hui dans presque tous les domaines de la science.

L'intérêt pour les phénomènes irréversibles provient d'une part de ce que nous savons aujourd'hui que la matière placée dans des conditions de non-équilibre peut acquérir des propriétés nouvelles, radicalement distinctes des propriétés usuelles. Les phénomènes irréversibles peuvent s'étudier aujourd'hui à trois niveaux: au niveau macroscopique, thermodynamique, au niveau des fluctuations et au niveau de l'insertion de l'irréversibilité dans le cadre des lois fondamentales classique ou quantique. D'une certaine manière, l'irréversibilité marque la limite de validité des concepts fondamentaux tels que trajectoires ou fonctions d'onde sur lesquels s'édifient la physique classique et quantique. Il était de tradition d'opposer les schémas théoriques déterministes et les schèmas comprenant des éléments aléatoires. L'introduction du concept d'irréversibilité permet de mieux comprendre aujourd'hui que hasard et nécessité se complètent bien plus qu'ils ne s'opposent.

L'ouvrage de I. Prigogine, « Physique, temps et devenir » se propose d'introduire le lecteur dans ces domaines fascinants de la physique moderne, il ne se veut ni complet ni définitif. Il s'adresse au lecteur ayant une certaine formation scientifique sans être un spécialiste de la physique théorique. De cette manière, cet ouvrage apparaît comme un complément à l'exposé plus général publié récemment par l'auteur en collaboration avec I. Stengers sous le titre « La Nouvelle Alliance ».

Sommaire

I. Le temps en physique. — II. La dynamique classique. — III. Mécanique quantique. — IV. Physique du devenir: la thermodynamique. — V. Physique du devenir: l'auto-organisation. — VI. Physique du devenir: les fluctuations. — VII. Du temps au devenir: théories cinétiques. — VIII. Du temps au devenir: la théorie microscopique des processus irréversibles. — IX. Temps et devenir.

Appendice A. — Opérateurs temps, entropie et transformation du boulanger.

Appendice B. — Résonances et description cinétique.

Appendice C. — Entropie, mesure et principe de superposition en mécanique quantique.

Appendice D. — Cohérence et probabilité dans la théorie quantique.

Prévention des accidents chez les jeunes

La fondation Dialogue, qui a lancé cet automne sa « Campagne nationale de prévention des accidents destinée aux jeunes », vient de publier une brochure de 52 pages traitant de prévention des accidents (route, loisirs, sport, etc.). Cette attrayante brochure s'adresse tout spécialement aux jeunes, mais elle constitue également un excellent document d'information pour les enseignants et les adultes intéressés.

Cette brochure peut être commandée à la fondation Dialogue, case postale 150, 1095 Lutry, en joignant Fr. 1.30 en timbres-poste.

Ouvrages reçus

Communications de la Chaire d'hydraulique, hydrologie et glaciologie de l'EPFZ, Gloriastrasse 37-39, 8092 Zurich:

N° 43: Grundlagen, Aufbau und Resultate von Laborexperimenten zur Erforschung von Ölausbreitungen in Grundwasserträgern, *Hans Olivier Schiegg*, Zurich, 1980. Broché, 192 pages, format A 5.

N° 44: Umwandlung kinetischer Energie in Wellenenergie durch ins Wasser fallende und absinkende Körper, *Andreas Huber.* Broché, 68 pages, format A 5.

N° 45: Fernerkundungsmethoden zur Erfassung der Bodenfeuchtigkeit im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach, *Roger Meier.* 116 pages, format A 5, broché.

N° 46: Die Variabilität der Evapotranspiration im Einzugsgebiet Rietholzbach bestimmt mit Energiebilanzmethoden, *Bruno Schädler.* 115 pages, broché, format A 5.