

<b>Zeitschrift:</b>	Ingénieurs et architectes suisses
<b>Band:</b>	105 (1979)
<b>Heft:</b>	24
<b>Artikel:</b>	Programmes de calcul pour la détermination des besoins énergétiques des bâtiments: projet de recherche de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)
<b>Autor:</b>	Frank, Thomas
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-73870">https://doi.org/10.5169/seals-73870</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

multiples, il faut également placer une telle armature dans les zones de traction de l'arête supérieure, ancrée dans la partie comprimée longitudinalement. On obtient ainsi une importante armature supérieure et inférieure dans la zone où le moment de flexion est nul ; cette armature peut aussi être utile si la valeur calculée des moments ne correspond pas exactement aux valeurs effectives.

## 5. Remarques finales

Le principe de dimensionnement des sections partiellement précontraintes pro-

posé ici se base volontairement sur des raisonnements simples. Il demeure toutefois très réaliste en s'appuyant sur dix années d'expérience dans le domaine de la précontrainte partielle en Suisse. Il est également adapté aux besoins de la pratique. *Il est souvent erroné de croire que l'on construira de meilleurs ouvrages en utilisant des calculs compliqués et des prescriptions savantes.* Il ne faut pas oublier qu'il est possible d'appliquer aveuglément des formules et d'effectuer plusieurs contrôles prescrits sans créer un ouvrage vraiment réussi. Les erreurs ne se situeront pas seulement lors du calcul fastidieux, mais particulièrement dans l'élaboration de la construction.

L'auteur de ces lignes est convaincu qu'il faut utiliser les procédés le plus simples permettant à l'ingénieur de comprendre parfaitement ce qu'il calcule. *L'économie de chaque calcul de contrôle représente pour l'ingénieur un gain de temps à consacrer à la réflexion.* Et c'est précisément cette réflexion qui ne devrait pas être entravée par des principes ou des normes servant au dimensionnement.

Adresse de l'auteur :  
Hugo Bachmann, professeur  
Institut für Baustatik und Konstruktion  
ETH - Hönggerberg  
8093 Zurich

# Programmes de calcul pour la détermination des besoins énergétiques des bâtiments

## Projet de recherche de l'Agence internationale de l'énergie (AIE)

par Thomas Frank, Dubendorf

Dans le cadre du programme de recherche de l'AIE « Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments », 17 programmes de calcul des besoins énergétiques des bâtiments ont été soumis à un test comparatif très complet. L'objectif principal de ce test était de vérifier les méthodes de calcul utilisées ; la première phase de comparaison a déjà permis de dégager quelques conclusions importantes qui seront brièvement exposées ici. Un rapport final complet paraîtra à la fin de l'année 1979.

C'est sur la base du programme CAL-ERDA, provenant des Etats-Unis, que nous nous proposons de donner une idée de la structure d'un programme de calcul relatif aux besoins énergétiques.

### Définition du problème

La détermination du comportement thermique dynamique de bâtiments qui tienne compte du climat variable régnant à l'extérieur et à l'intérieur du bâtiment, des caractéristiques géométriques et physiques de la construction, des sources de chaleur internes ainsi que du système de chauffage et de refroidissement existant, représente un problème complexe ne pouvant pratiquement être résolu qu'à l'aide d'un ordinateur. Pour évaluer la consommation énergétique annuelle de bâtiments, des méthodes de calcul statiques peuvent fournir des résultats tout à fait raisonnables si les problèmes sont simples. En déterminant les charges de pointe (base du dimensionnement de l'installation de chauffage et de refroidissement), il faut toutefois tenir compte également des phénomènes dynamiques d'accumulation qui se produisent dans

un bâtiment. Les programmes de calcul discutés ici ont été développés en premier lieu pour résoudre ce problème de la technique de climatisation. Leur utilisation pour des bâtiments d'habitation non climatisés n'est donc possible que sous certaines réserves (en fonction des conditions marginales définies pour les différentes méthodes de calcul).

Le grand nombre de paramètres de calcul exigeait, pour le test comparatif, des opérations systématiques ; il fallait, en premier lieu, trouver des réponses aux questions de savoir où et pourquoi dans les programmes apparaissent des résultats de calcul différents les uns des autres. A cet effet, on a appliquée la méthode suivante :

#### Phase I :

Examen des divers facteurs d'influence en utilisant les spécifications de bâtiments fictifs et en augmentant le degré de difficulté :

- a) passage de chaleur non stationnaire à travers des éléments de construction opaques ;
- b) gain de chaleur par l'insolation de surfaces opaques ;
- c) passage de chaleur et de radiations par des surfaces vitrées ;
- d) comportement dynamique du bâtiment par suite de l'insolation ;
- e) comportement dynamique du bâtiment dû aux sources de chaleur internes.

L'influence des pertes par aération sur le bilan énergétique et les méthodes de calcul s'y rapportant n'ont pas été soumises ici à une analyse détaillée, car ces problèmes font l'objet d'un vaste projet de recherche (annexe VII).

#### Phase II :

Calculs comparatifs établis en relation avec un bâtiment réel dont les données de consommation en énergie et de météorologie sont connues, et ceci pour une période prolongée.

La première phase de comparaison est maintenant terminée, tandis que la seconde est encore en cours d'exécution. Des 17 programmes ayant fait l'objet de la phase I, seuls 9 ont été retenus pour la seconde phase. Cette réduction est due, d'une part, à la complexité du bâtiment pris comme modèle de comparaison et, d'autre part, à certaines insuffisances constatées dans les procédés de calcul de divers programmes. Dans ce qui suit, seuls les problèmes rencontrés au cours de la première phase comparative seront brièvement expliqués.

### Résultats obtenus lors de la première phase de comparaison

Les programmes de calcul testés peuvent être répartis, grossièrement, en trois catégories :

1. Programmes basés principalement sur la méthode de calcul ASHRAE<sup>1</sup> (Response factors — Weighting factors).

- Programmes possédant leur propre méthode de calcul (méthodes de solution numérique).
- Programmes utilisant des méthodes simplifiées (procédés d'approximation avec des dispositions mathématiques quasi statiques).

Tous les programmes présentent une bonne concordance dans la détermination des pertes de transmission de la chaleur par l'enveloppe du bâtiment. Pour ce calcul, on a utilisé aussi bien la méthode des « Response Factors » (ASHRAE) que différents autres procédés numériques. La détermination du gain de chaleur dû à l'insolation de surfaces opaques dépend en grande partie des conditions de transition de la chaleur par l'enveloppe du bâtiment que l'on aura choisie. Ainsi, les résultats des divers programmes, bien qu'étant pratiquement similaires d'allure, fournissent, pour les charges calculées, diverses valeurs de pointe. Les différences dans le comportement dynamique des locaux par suite de la radiation solaire incidente à travers les fenêtres ainsi que des sources de chaleur internes (occupation par un certain nombre de personnes, lumière, appareils, etc.) doivent être attribuées avant tout à des hypothèses différentes lors de l'appréciation des processus de transmission de chaleur par les surfaces intérieures (convection et rayonnement). Les programmes basés sur des procédés de calcul quasi statiques fournissent tous des résultats trop élevés pour les charges de pointe, car c'est avec trop d'imprécision qu'ils mettent en compte les processus d'accumulation thermique.

L'analyse des divers programmes a démontré la très grande importance des conditions marginales. Il est donc indispensable d'examiner chaque programme avant son utilisation afin de savoir si les conditions marginales retenues sont applicables au problème posé.

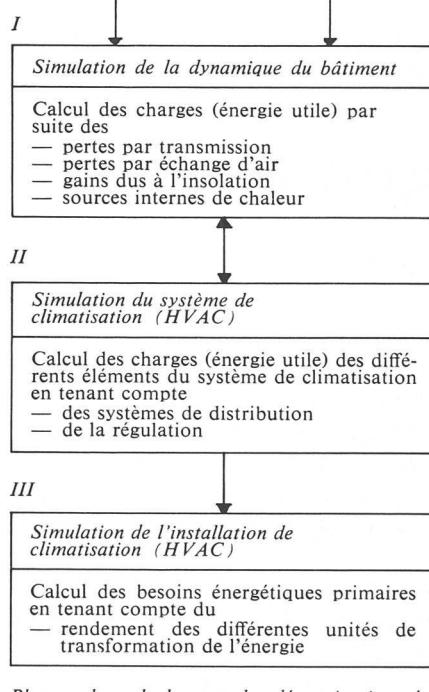
### Systématique d'un programme de calcul pour la détermination des besoins énergétiques de bâtiments

Les programmes de calcul ayant pris part à la ronde de comparaison de l'AIE présentent un éventail très étendu de méthodes de calcul. Une description et une critique détaillées de ces méthodes dépasseraient le cadre du présent article. Toutefois, leur allure se fonde sur des principes systématiques semblables que nous allons présenter ici de plus près. A cause de la dynamique thermique des bâtiments et de la disponibilité des données climatiques, c'est un processus de calcul avec des pas d'une heure qui l'a emporté. L'analyse du bilan énergétique

d'un bâtiment s'effectue alors en trois phases de calcul :

#### INPUT

Données relatives au bâtiment	Données météorologiques
Orientation, situation, Géométrie, Compartimentage en locaux ou en zones, Climat intérieur, Données relatives à la construction, Système de climatisation (HVAC)	Température de l'air extérieur, Humidité de l'air, Pression atmosphérique, Direction du vent, Vitesse du vent, Insolation, Degré de nébulosité



Dans la première phase, on effectue le calcul des charges horaires de chauffage et de refroidissement en tenant compte des spécifications géométriques et physiques du bâtiment ainsi que du climat régnant à l'intérieur et à l'extérieur. C'est lors de la deuxième phase que les caractéristiques du système de distribution et de régulation de l'installation de chauffage ou de climatisation sont introduites dans le processus de calcul. Les charges de chauffage et de refroidissement déterminées servent, dans la troisième phase, au calcul des besoins énergétiques primaires, compte tenu du rendement des unités de transformation d'énergie.

### Programme CAL-ERDA<sup>2</sup>

L'un des programmes de calcul, le programme CAL-ERDA, a été développé et financé sur mandat du Département américain de l'énergie et l'Etat de Cali-

fornie. En Californie, il est utilisé depuis 1978 pour contrôler les justificatifs légaux concernant les besoins énergétiques des bâtiments climatisés. Aux Etats-Unis, l'ensemble du programme est publiquement accessible ; il a été mis à la disposition de la Suisse, à titre gracieux, par le Département américain de l'énergie dans le cadre des travaux de l'AIE. C'est au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux (LFEM) qu'a été confiée la tâche d'adapter ce programme aux conditions suisses et d'assurer par la suite son utilisation par le public.

Le présent programme a été développé en vue de sa particulière utilisation sur des bâtiments climatisés. Il se prête donc moins à la solution des problèmes propres aux bâtiments d'habitation.

L'accent principal de ce programme a été mis sur l'élaboration d'un système d'exploitation que l'utilisateur maîtrise aisément. C'est ainsi que l'introduction des données concernant le bâtiment s'effectue à l'aide d'un langage adapté au problème. Le programme se compose des parties suivantes :

Eléments du programme	Fonction
BDL (Building Design Language)	Programme de compilation préparant les données introduites pour les transmettre aux séquences de calcul suivantes. L'input s'effectue sans format au moyen d'un langage adapté au problème.
LOADS	Calcul des charges horaires pour le chauffage et le refroidissement en fonction du climat extérieur variable et du climat intérieur stable. Détermination des charges de pointe.
SYSTEMS	Calcul des charges horaires des différents composants du système de climatisation avec climat interne variable. 15 systèmes HVAC sont à disposition.
PLANT	Calcul du besoin énergétique primaire des unités de transformation de l'énergie.
ECONOMICS	Calcul de l'ensemble des frais d'exploitation de l'installation de climatisation.

#### Structure de programme CAL-ERDA.

Le programme CAL-ERDA est un excellent instrument de planification destiné aux architectes, ingénieurs et autorités. Son utilisation est particulièrement indiquée dans les domaines suivants :

- Dimensionnement et optimalisation de l'enveloppe du bâtiment en vue du bilan thermique.
- Dimensionnement de l'installation de climatisation (HVAC).
- Etude des paramètres d'influence, tels que l'inertie thermique du bâtiment, les dispositifs de protection contre le soleil, les mesures d'explo-

<sup>1</sup> ASHRAE : « American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers », Inc., New York.

<sup>2</sup> Connue dernièrement sous la désignation DOE-1 (modification due au changement du nom de l'Energy Research and Development Administration, « ERDA », en Department of Energy, « DOE »).

tation relatives au système de chauffage et de refroidissement, etc.

La préparation du programme CALERDA a été prise en main par le LFEM au début de 1979. La première étape, c'est-à-dire la mise en exploitation de la version originale USA avec les données climatiques américaines, est terminée. D'autres travaux sont en voie d'exécution, à savoir :

- Traitement de données météorologiques suisses (avec l'aide de l'Institut suisse de météorologie).
- Incorporation de systèmes de climatisation (HVAC) supplémentaires (collaboration avec des fabricants et ingénieurs-conseils).

- Adaptation de l'ensemble du programme au système métrique.
- Travaux d'adaptation sur diverses parties du programme.
- Vérification des résultats de calculs à l'aide de bâtiments réels servant d'objets de mesure (avec la collaboration de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)).

Un élargissement du domaine d'application de ce programme aux bâtiments d'habitation est actuellement en cours aux Etats-Unis. Des efforts en ce sens sont également entrepris en Suisse (projets de mesure LFEM/EPFL ; projet du Fonds national « Programme national Energie »).

Le catalogue des tâches à exécuter fait entrevoir que ces travaux s'étendront sur une période assez longue, notamment par suite de la limitation du personnel et des finances. Toutefois, la mise en train d'un service public d'utilisation, bien qu'en cours sous forme restreinte, est prévue pour le milieu de l'année 1980.

Adresse de l'auteur :

Thomas Frank  
Ing. dipl. EPF  
LFEM, Section physique du bâtiment  
8600 Dubendorf

## Hommage à François Baatard

par Jacques-André Hertig, Lausanne

**Il y a déjà une année que le professeur Baatard était enlevé prématurément à ses amis et à ses collaborateurs, le 20 novembre 1978. Le texte ci-dessous, rédigé par l'un de ses anciens élèves, est un hommage aux travaux du défunt dans le domaine qu'il a si largement contribué à ouvrir à la connaissance scientifique : la mécanique aléatoire et son application à l'étude de la turbulence.**

**François Baatard fut, dans cette branche, le professeur de l'auteur, puis corapporteur de sa thèse, cette dernière ayant été l'occasion de longues et nombreuses discussions sur le sujet évoqué ici.**

Dès 1945, le professeur Baatard fut chargé d'étudier divers problèmes posés par le comportement des jets turbulents des turbines Pelton, puis fut préoccupé par les problèmes de diffusion et de dispersion par la turbulence atmosphérique.

Les connaissances des phénomènes de turbulence étaient à cette époque encore étonnamment succinctes, malgré l'abondance des travaux effectués antérieurement. Citons, à ce propos, ce qu'écrivait François Baatard dans l'avant-propos de sa thèse [1],<sup>1</sup> en 1962 : « Nous fûmes d'abord conduit à nous poser d'une manière générale l'étude de la turbulence, surpris par l'impuissance avouée et les échecs subis par tous ceux qui avaient tenté une solution de ce problème ».

En cherchant ainsi à améliorer les connaissances des mécanismes se développant au sein des fluides turbulents et, partant, la modélisation de ces phénomènes, le professeur Baatard fut conduit à reprendre et à poursuivre les travaux des météorologues français Georges Dedeant et Philippe Wehrle. Ces derniers avaient déjà pressenti que les méthodes déterministes issues de la mécanique newtonienne et du cartésianisme

étaient mal adaptées à l'étude, à la formulation et à la résolution des problèmes relatifs aux écoulements atmosphériques turbulents. Ils ont établi les règles de l'analyse statistique, ou analyse aléatoire, qui associe aux variables déterministes usuelles des fonctions ou grandeurs statistiques qui sont des êtres mathématiques permettant de quantifier le relâchement et la dépendance de probabilité entre les variables. G. Dedeant a également jeté les bases des théories modernes de prévisibilité, en exploitant la propriété de symétrie temporelle des fonctions d'autocorrélation. En discutant du problème des nombres aléatoires, puis d'une analyse aléatoire, enfin d'une mécanique aléatoire conduisant aux notions de prévisibilité, G. Dedeant et Ph. Wehrle ont ouvert la voie de l'établissement d'une théorie générale de la mécanique aléatoire. Cette généralisation revient à François Baatard et correspond à la mécanique du corpuscule aléatoire [2].

Le rôle joué par les fonctions de corrélation dans ces mécaniques aléatoires est capital. En effet, on peut définir une mécanique comme étant, très schématiquement, l'expression des relations caractéristiques de l'état d'un champ de masses ou de particules en mouvement. La nature des relations existant entre les masses élémentaires ou les particules est,

selon cette définition, la caractéristique fondamentale d'une mécanique.

SORTONS UN INSTANT DES GÉNÉRALISATIONS ABSTRAITES ET ANALYSONS DEUX CAS PARTICULIERS, OPPOSÉS, EXTRêMES ET SIMPLES. SI NOUS CONSIDÉRONS L'ACTION RÉCIPROQUE DE DEUX MASSES DANS LE VIDE, LA FORCE D'ATTRACTION ENTRE CES MASSES EST DÉFINIE PAR LA RELATION DE NEWTON, BIEN CONNUE :

$$F = \frac{K m m'}{D^2}$$

La relation entre les masses est parfaitement déterministe. Si l'une des masses tourne autour de l'autre, cette loi, associée aux lois du mouvement, permet de décrire la trajectoire. La fonction d'autocorrélation réduite de la vitesse dans l'espace est identique à l'unité, quel que soit le temps considéré :

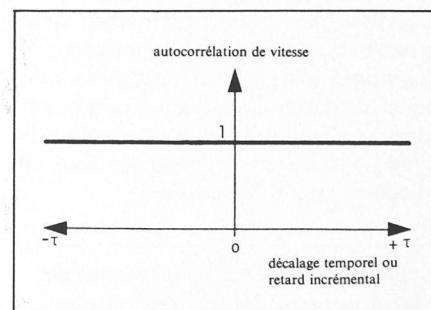


Fig. 1. — Autocorrélation de vitesse d'un phénomène déterministe.

ON DIT QUE LE PROBLÈME EST PUREMENT PRÉVISIBLE. IL S'AGIT, ÉVIDEMMENT, D'UNE MÉCANIQUE CERTAINE.

Si, par contre, nous considérons le cas d'un gaz formé de molécules, nous devons supposer que leur vitesse ne va dépendre que du choc précédent. Pour une molécule, la prévision de la vitesse n'est donc possible qu'entre deux chocs, à un instant donné, puis n'est plus possible. Ceci se traduit par une fonction d'autocorrélation requise valant 1 à l'origine, et nulle partout ailleurs (fig. 2). On dit que le phénomène n'est pas prévisible. Il s'agit d'une mécanique « purement » aléatoire, pouvant être décrite par les équations de Maxwell-Boltzman.

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.