

Ref
Ser
TH1
N21m5

no.126F

BLDG.

IRC PUB

NOTE D'INFORMATION DE RECHERCHE SUR LE BÂTIMENT



RELATION ENTRE LA RÉSISTANCE THERMIQUE ET L'EMMAGASINAGE
DE LA CHALEUR DANS LES ENVELOPPES DE BÂTIMENTS

par

G.P. Mitalas

ANALYZED

Division des recherches sur le bâtiment
Conseil national de recherches du Canada

Traduit de l'anglais par J. Morency et M.L. Racette

Ottawa, avril 1980

RELATION ENTRE LA RÉSISTANCE THERMIQUE ET L'EMMAGASINAGE
DE LA CHALEUR DANS LES ENVELOPPES DE BÂTIMENTS

par

G.P. Mitalas

La demande annuelle en énergie pour le chauffage d'un bâtiment est fonction de la résistance thermique de l'enveloppe du bâtiment et, à un degré moindre, de la masse de l'enveloppe du bâtiment. Dans la présente Note, l'auteur présente dans des graphiques les relations qui peuvent être utilisées pour évaluer les rapports entre la masse et la résistance thermique de l'enveloppe du bâtiment*. Ces relations définissent les réductions possibles de la résistance thermique en fonction de la masse telles que données dans "Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments 1978**".

L'auteur détermine, au moyen d'une simulation informatique^{1,2}, les changements dans la demande annuelle d'énergie de chauffage d'un bâtiment, découlant de changements dans l'emmagasinage thermique de son enveloppe. A partir des résultats de ces calculs, il obtient une relation simple entre les changements dans la masse de l'enceinte du bâtiment et les changements correspondants dans la résistance thermique de l'enveloppe du bâtiment, à condition que la demande annuelle en énergie pour le chauffage demeure constante. Par exemple, à mesure que la masse d'un mur extérieur augmente, il est possible de diminuer la résistance thermique du mur sans modifier la demande annuelle d'énergie de chauffage du bâtiment.

La simulation informatique prend en considération les facteurs suivants:

1. Le genre de bâtiment

- a) Maison individuelle (définie dans "Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments 1978", comme "enveloppes de bâtiment à faibles besoins énergétiques pour l'éclairage et pour le fonctionnement des ventilateurs et des pompes").
- b) Grands immeubles à bureaux (classés comme "enveloppes de bâtiment à besoins énergétiques élevés pour l'éclairage et pour le fonctionnement des ventilateurs et des pompes").

Cette publication est la version française de "Relation between Thermal Resistance and Heat Storage in Building Enclosures," Building Research Note No. 126.

* La "résistance thermique de l'enveloppe du bâtiment" est la résistance thermique globale entre l'air intérieur et l'air extérieur.

**Ce document a été préparé pour le Comité associé du Code national du bâtiment du CNR par son Comité permanent sur l'économie d'énergie. Il a été publié par le CACNB et porte le numéro NRCC 16574F, prix \$2.

2. Les données météorologiques

L'auteur utilise pour les calculs les données météorologiques horaires de Winnipeg, Vancouver et Ottawa (année 1970).

3. La masse de la construction intérieure

L'auteur considère trois catégories de masse de construction intérieure (légère, moyenne et lourde):

- a) Légère $\approx 150 \text{ kg/m}^2$ de surface de plancher
- b) Moyenne $\approx 350 \text{ kg/m}^2$ de surface de plancher
- c) Lourde $\approx 600 \text{ kg/m}^2$ de surface de plancher

4. La masse du mur extérieur

- a) Légère (ex: mur à ossature)
- b) Moyenne (ex: couche de béton d'environ 15 cm plus une couche isolante)
- c) Lourde (ex: mur de béton d'environ 30 cm plus la couche isolante)

5. La position relative de la composante massique par rapport à la couche isolante

- a) La composante massique à l'intérieur de la couche isolante
- b) La composante massique à l'extérieur de la couche isolante

6. Le programme de réglage des thermostats

a) Maison individuelle:

Programme (i) constant à 22°C

Programme (ii) jour 22°C
nuit 18°C

b) Grands immeubles à bureaux:

	Période occupée	Période inoccupée
Programme (i)	20.0°C	18.3°C
Programme (ii)	21.7°C	20.0°C
Programme (iii)	20.0°C	15.6°C
Programme (iv)	22.2°C	22.2°C

Dans tous les cas, l'écart de réglage est estimé à 1.7 K.

7. L'orientation

- a) Maison individuelle: trois orientations sont utilisées, la façade principale glacée orientée sud, ouest et nord.
- b) L'immeuble à bureaux a ses quatre façades orientées selon les points cardinaux.

8. Le zonage intérieur

- a) La maison individuelle est considérée comme une seule zone.
- b) L'immeuble à bureaux est simulé comme ayant neuf zones par étage. Une à chaque coin, une de chaque côté et une au centre. La profondeur des zones extérieures est établie à 1.6 fois la hauteur d'un étage.

Les résultats de la simulation informatique indiquent que dans la relation entre la résistance thermique et la masse de l'enveloppe d'un bâtiment, les facteurs importants sont les suivants:

1. le genre de bâtiment*;
2. la position de la composante massique et de la couche isolante;
3. la masse de la construction intérieure;
4. la masse de la composante massique de l'enveloppe;
5. le programme de réglage des thermostats (pour les immeubles à bureaux).

Le programme de réglage des thermostats n'est pas traité comme une variable distincte dans la présentation de la relation entre la résistance thermique et la masse parce que l'exploitation de l'immeuble n'est pas commandée par son concepteur. C'est la valeur moyenne des résultats de tous les programmes de réglage des thermostats qui est prise comme valeur représentative. De même, c'est la moyenne des résultats qui est prise dans le cas des autres variables faibles comme l'orientation et le climat. Par conséquent, les relations entre la masse et la résistance thermique présentées dans les figures 1 à 4 tiennent compte:

- a) des genres de bâtiment* et
- b) de la position relative de la composante massique par rapport à la couche isolante.

*Maison individuelle ou grand immeuble à bureaux.

Dans "Mesures d'économie d'énergie dans les nouveaux bâtiments 1978" les auteurs n'emploient pas les désignations "maison individuelle" ou "grand immeuble à bureaux". Les immeubles sont classés selon le taux de perte de chaleur par rapport aux gains internes de chaleur. Ce taux est généralement élevé pour les maisons individuelles. Les résultats pour les maisons individuelles peuvent donc être utilisés comme exemples pour la classe définie comme "enveloppes pour bâtiments à faibles besoins énergétiques pour l'éclairage et pour le fonctionnement des ventilateurs et des pompes". Les relations résistance thermique/masse pour cette catégorie sont données dans les figures 1 et 3. Des exemples de l'autre catégorie (enveloppes de bâtiments à besoins énergétiques élevés pour l'éclairage et le fonctionnement des ventilateurs et des pompes) sont donnés par les relations résistance thermique/masse dans les grands immeubles à bureaux (figures 2 et 4).

Les figures 1 et 2 définissent la relation entre la résistance thermique et la masse pour les bâtiments dont la composante massique est à l'extérieur de la couche isolante. L'expérience indique que l'efficacité de la composante massique dépend de la résistance thermique entre l'air de la pièce et la composante massique. Toute résistance autre que la résistance du film d'air réduit l'efficacité de la composante massique en tant que réservoir intérieur d'énergie. Dans la présente Note, tout contact autre que le contact direct entre l'air intérieur et la composante massique (le contact direct signifiant une résistance thermique inférieure ou égale à $0.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) est considéré comme une couche isolante. Des exemples d'une telle couche pourraient être les faux plafonds, un coupe-feu pulvérisé ainsi que la couche isolante principale de l'enveloppe du bâtiment.

Les figures 3 et 4 définissent la relation résistance thermique/masse pour une composante massique intérieure et en contact direct avec l'air intérieur réglé. L'utilisation des figures 3 et 4 est compliquée parce que l'addition de la composante massique augmente la masse intérieure, et les besoins en chauffage de l'immeuble dépendent de l'effet combiné de la masse intérieure totale. De plus, l'effet de la masse n'est pas linéaire parce que l'accroissement de la masse au-delà d'environ 500 kg/m^2 n'a que peu d'effet sur les besoins en chauffage annuels de l'immeuble. On peut noter ce phénomène dans les figures 3 et 4 où le prolongement des courbes "R" est parallèle à l'axe de la masse au-delà de 500 kg/m^2 de surface de plancher.

Exemples de problèmes de détermination des réductions en termes de résistance thermique pour une couche de masse dans une enveloppe d'un immeuble

A l'aide des figures 1 et 2

Les figures 1 et 2 peuvent être utilisées pour estimer le changement dans la résistance thermique de l'enveloppe d'un immeuble, ce qui est équivalent à la composante massique pour les conditions où elle ne contribue pas directement à la masse intérieure (lorsque la composante massique n'est pas en contact direct avec l'air intérieur climatisé).

Exemple 1

Déterminer la réduction de la résistance thermique du mur extérieur, ΔR , que permet la composante massique du mur extérieur. La composante massique n'est pas en contact direct avec l'air de l'espace intérieur.

Données

Genre de bâtiment: bâtiment à faibles besoins énergétiques pour l'éclairage et le fonctionnement des ventilateurs et des pompes (maison individuelle).

Résistance thermique du mur extérieur: $R = 3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Masse de la couche du mur extérieur: $D = 200 \text{ kg/m}^2$ de surface de plancher

Solution

On utilise la figure 1 parce que le bâtiment a de faibles besoins énergétiques pour l'éclairage et le fonctionnement des ventilateurs et des pompes et que la composante massique n'est pas en contact direct avec l'air intérieur.

Des courbes $R = 3$ et $R = 4$ pour $d = 200 \text{ kg/m}^2$ de surface de mur, on lit:

$$\Delta R_3 = 0.010 \text{ (courbe } R = 3)$$

$$\Delta R_4 = 0.018 \text{ (courbe } R = 4)$$

On obtient ensuite par interpolation linéaire,

$$\Delta R \text{ pour } R = 3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$\Delta R_{3.6} = 0.01 + 0.6 \times (0.018 - 0.010) \approx 0.015 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Ainsi donc un mur extérieur ayant une résistance thermique globale de $R = 3.6 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ et une masse nulle est considéré comme l'équivalent d'un mur extérieur ayant une résistance thermique $R = 3.6 - 0.015 = 3.585 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \approx 3.59 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ et une couche de masse de 200 kg/m^2 de surface de mur. L'équivalence porte sur les besoins annuels de chauffage du bâtiment (tous les autres facteurs étant égaux).

Exemple 2

Déterminer la réduction de la résistance thermique, ΔR , d'un système toit-plafond en fonction de la composante massique de ce système. La composante massique n'est pas en contact direct avec l'espace d'air intérieur.

Données

Genre de bâtiment: bâtiment avec des besoins énergétiques élevés pour l'éclairage et le fonctionnement des ventilateurs et des pompes (grand immeuble à bureaux).

Résistance thermique
du système toit-plafond: $R = 4.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Masse de la couche: $d = 300 \text{ kg/m}^2$ de surface de toiture

Solution

On utilise la figure 2 parce que l'immeuble a des besoins énergétiques élevés pour l'éclairage et le fonctionnement des ventilateurs et des pompes et que la composante massique n'est pas en contact direct avec l'air intérieur.

De la courbe $R = 4$ pour $d = 300 \text{ kg/m}^2$ de surface de toiture, on obtient

$$\Delta R_4 = 0.12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Ainsi l'utilisation d'une couche de masse de 300 kg/m^2 de surface de toiture permet une réduction de la résistance thermique globale du toit-plafond $R = 4.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ de $\Delta R = 0.12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

A l'aide des figures 3 et 4

Les figures 3 et 4 sont utilisées pour estimer les réductions possibles dans la résistance thermique d'un élément de l'enveloppe d'un bâtiment (mur extérieur ou système toit-plafond) lorsque la composante massique de cet élément est en contact direct avec l'air de l'espace intérieur. L'emploi de ces figures étant plus compliqué que l'emploi des figures 1 et 2, il convient de suivre les étapes suivantes:

1) Calculer au moyen des données fournies la contribution de la composante massique de l'enveloppe du bâtiment, M_E , à la masse intérieure.

a) Système toit-plafond:

$$M_E = (A_L \times M_L) / A_F$$

où

A_L = la surface de la composante massique qui est en contact direct avec l'air intérieur en m^2

M_L = la masse de la couche, en kg/m^2 de surface

A_F = la surface de plancher en m^2

En calculant la contribution de la masse du système toit-plafond ou du plancher, il faut tenir compte des conduits ou autres discontinuités (il faut que A_L soit la surface nette de la composante massique). Dans le cas d'un plancher de dalles sur le sol, la masse du plancher de béton devrait être comprise dans les calculs à moins que le plancher ne soit pas en contact direct avec l'air de l'espace intérieur (s'il est couvert par un épais tapis, par exemple).

b) Mur extérieur:

$$M_E = (A_W \times M_L) / A_Z$$

où

A_W = la surface de la composante massique dans le mur extérieur,

A_Z = la surface du plancher où la masse intérieure est considérée comme influencée par la composante massique dans un mur extérieur. Dans la présente Note, on assume que

$$A_Z = 1.5 A_T$$

où

A_T = la surface totale du mur extérieur pour l'étage en question.

Ainsi, les grosses colonnes de béton, les poutres et les cloisons fixes qui sont en contact direct avec l'air de l'espace intérieur et qui sont situées dans l'espace A_Z doivent être incluses dans le calcul:

$$M_C = (\text{masse totale des poutres, colonnes et partitions}) / A_Z$$

2) A partir des données fournies, calculer la masse intérieure totale M_T , de l'espace défini par la surface de plancher A_Z . La valeur M_T devrait comprendre la masse des meubles, des cloisons, des dalles de plancher et la masse de la couche en question. Comme ces informations ne sont généralement pas disponibles, parce que la position et la nature des cloisons ainsi que le genre et la quantité de meubles ne sont généralement pas fixés au moment où l'enveloppe extérieure est conçue, il est recommandé d'utiliser la valeur de 100 kg/m^2 de surface de plancher comme valeur de la masse des meubles et des cloisons. Donc,

$$M_T = 100 + M_F + M_C + M_E \text{ kg/m}^2 \text{ de surface de plancher}$$

où

M_F = la masse du plancher en kg/m^2 de surface de plancher.

3) Lire les valeurs de ΔR_1 et ΔR_2 pour M_T et $(M_T - M_E)$ respectivement en utilisant les courbes "R" appropriées. Utiliser l'interpolation linéaire comme le montre l'exemple 1 lorsque la résistance thermique de l'élément de l'enveloppe du bâtiment n'est pas un nombre entier.

4) La différence $\Delta R = \Delta R_1 - \Delta R_2$ est la réduction possible de la résistance thermique de l'élément de l'enveloppe du bâtiment en fonction de la composante massique de cet élément, lorsque cette composante massique est en contact direct avec l'espace d'air intérieur.

Voici un exemple de ce procédé:

Exemple 3

Déterminer la réduction possible de la résistance thermique des murs extérieurs, ΔR , en fonction de la composante massique d'un mur extérieur qui est en contact direct avec l'air de l'espace intérieur.

Données

Genre de bâtiment: bâtiment avec des besoins énergétiques élevés pour l'éclairage et le fonctionnement des ventilateurs et des pompes (grand immeuble à bureaux).

Résistance thermique du mur extérieur: $R = 3.0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Masse de la composante massique du mur extérieur: $M_L = 250 \text{ kg/m}^2$ de surface de mur

Masse de la dalle de plancher: $M_F = 300 \text{ kg/m}^2$ de surface de plancher

Surface de la composante massique du mur extérieur: $A_W = 200 \text{ m}^2$

Surface du mur extérieur: $A_T = 300 \text{ m}^2$

Solution

Utiliser la figure 4 parce que le bâtiment a des besoins énergétiques élevés pour l'éclairage et le fonctionnement des ventilateurs et des pompes et que la composante massique est en contact direct avec l'air de l'espace intérieur.

Contribution de la composante massique à la masse intérieure:

$$\begin{aligned} M_E &= (A_W \times M_L) / A_T \\ &= (200 \times 250) / (1.5 \times 300) \\ &= 111 \text{ kg/m}^2 \text{ de surface de plancher} \end{aligned}$$

Masse intérieure totale:

$$\begin{aligned} M_T &= 100 + M_F + M_E \\ &= 100 + 300 + 111 = 511 \text{ kg/m}^2 \text{ de surface de plancher} \end{aligned}$$

A l'aide de la courbe $R = 3$ (figure 4), pour $M_T = 511$ et pour $(M_T - M_E) = 400 \text{ kg/m}^2$ de surface de plancher, on obtient:

$$\Delta R_1 = 0.82 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$\Delta R_2 = 0.69 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

La réduction est donc:

$$\Delta R = 0.82 = 0.69 \approx 0.13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Notes supplémentaires

- 1) Prenons le cas d'un mur extérieur ou d'un toit qui est formé de trois couches de telle sorte que l'isolant est compris entre deux composantes massiques et que la composante massique intérieure est en contact direct avec l'air de l'espace intérieur. Dans ce cas, la réduction possible de la résistance thermique extérieure, ΔR , est la somme des deux réductions possibles: a) l'une calculée à partir des figures 1 ou 2 et b), l'autre calculée à partir des figures 3 ou 4.
- 2) Prenons le cas d'une enveloppe constituée d'un mur extérieur et d'un toit de telle sorte que les deux composantes massiques sont en contact direct avec l'air de l'espace intérieur. Dans ce cas, la contribution totale à la masse intérieure est la somme des masses du système toit-plafond et du mur extérieur: $M_E = (A_L \times M_L) / A_F + (A_W + M_L) / A_Z$. Au moyen des figures 3 ou 4 et de la valeur M_E définie ci-dessus, on peut déterminer la réduction possible de la résistance thermique pour le mur extérieur et le système plafond-toit. Il est à noter qu'une seule valeur de réduction peut être utilisée pour ces deux éléments de l'enveloppe parce que les deux valeurs possibles sont basées sur la masse totale de la pièce (ΔR calculé pour le mur extérieur ou pour le système toit-plafond).

RÉFÉRENCES

1. A. Konrad et B.T. Larsen, Programme informatique ENCORE-CANADA pour l'étude de la consommation d'énergie dans les bâtiments résidentiels au Canada (version préliminaire). Présenté lors du Troisième symposium international sur l'information appliquée au génie climatique dans le domaine du bâtiment, Banff, mai 1978.
2. G.P. Mitalas, Programme informatique spécial pour simuler les grands édifices à bureaux, basé sur des méthodes de calcul présentées dans "Procedures for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculations - Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines" compilé et publié par le groupe de travail de l'ASHRAE (Energy Requirements for Heating and Cooling of Buildings), 1975.

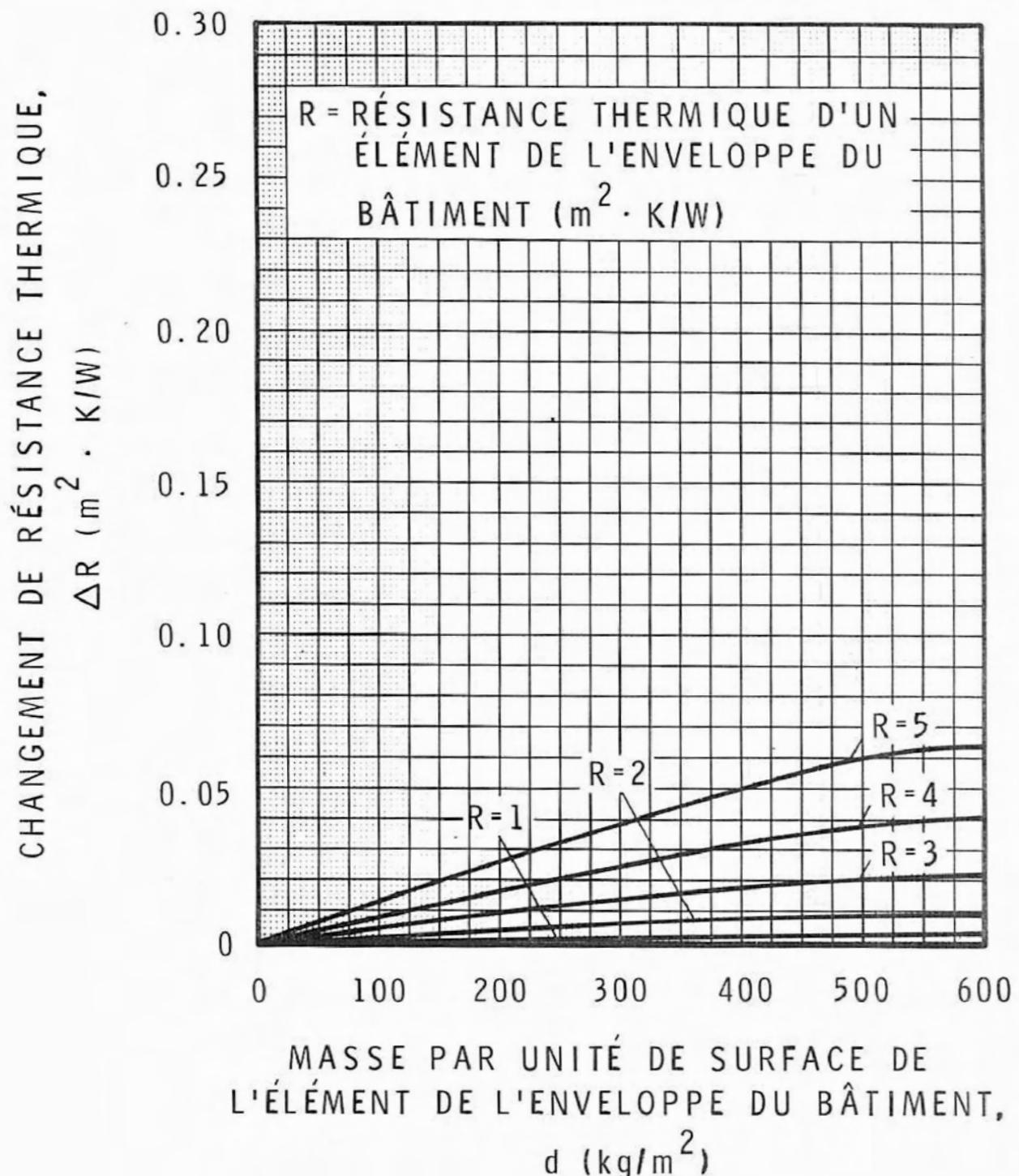


FIGURE 1

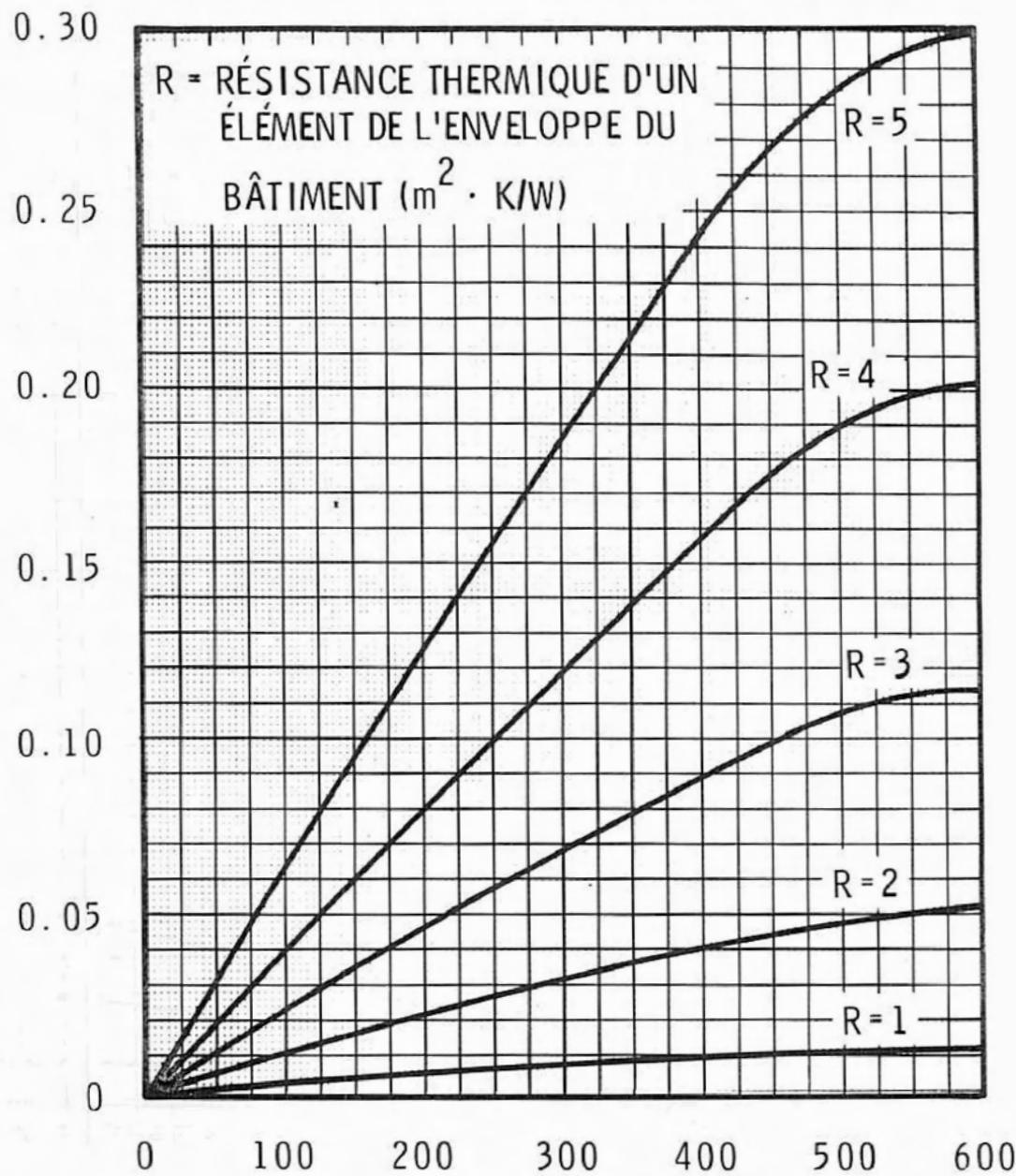
RELATION ENTRE LA RÉSISTANCE
THERMIQUE ET LA MASSE D'UN ÉLÉMENT
DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

LA COMPOSANTE MASSIQUE EST À L'EXTÉRIEUR DE LA COUCHE
ISOLANTE

GENRE D'ENVELOPPE: BÂTIMENTS AYANT DE FAIBLES BESOINS

CHANGEMENT DE RÉSISTANCE THERMIQUE,

$$\Delta R \left(\text{m}^2 \cdot \text{K/W} \right)$$



MASSE PAR UNITÉ DE SURFACE DE
L'ÉLÉMENT DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT,
 $d \left(\text{kg/m}^2 \right)$

FIGURE 2

RELATION ENTRE LA RÉSISTANCE
THERMIQUE ET LA MASSE D'UN ÉLÉMENT
DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

LA COMPOSANTE MASSIQUE EST À L'EXTÉRIEUR DE LA COUCHE
ISOLANTE

GENRE D'ENVELOPPE: BÂTIMENTS AYANT DES BESOINS
ÉNERGÉTIQUES ÉLEVÉS POUR L'ÉCLAIRAGE ET LE FONCTIONNEMENT

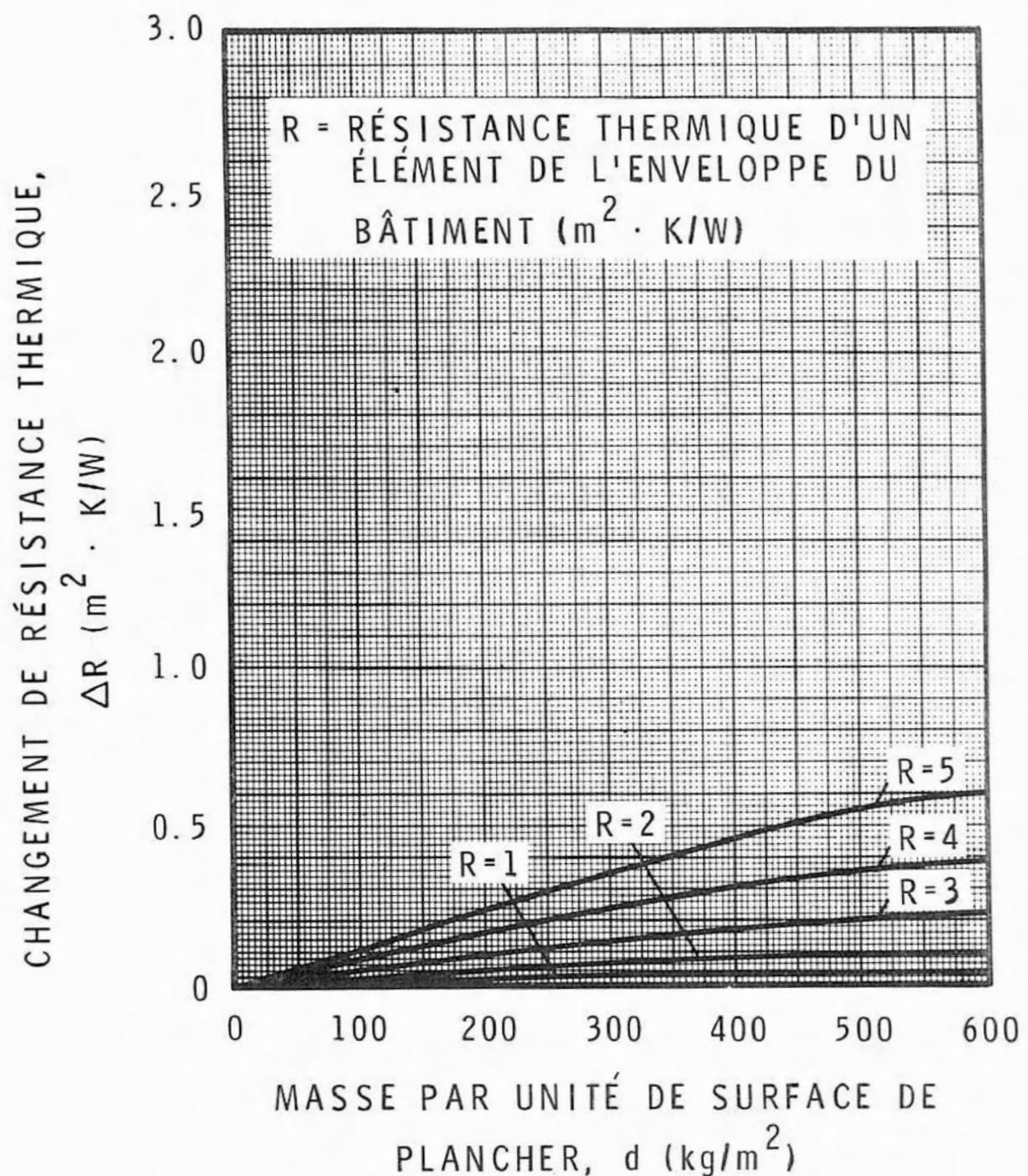


FIGURE 3

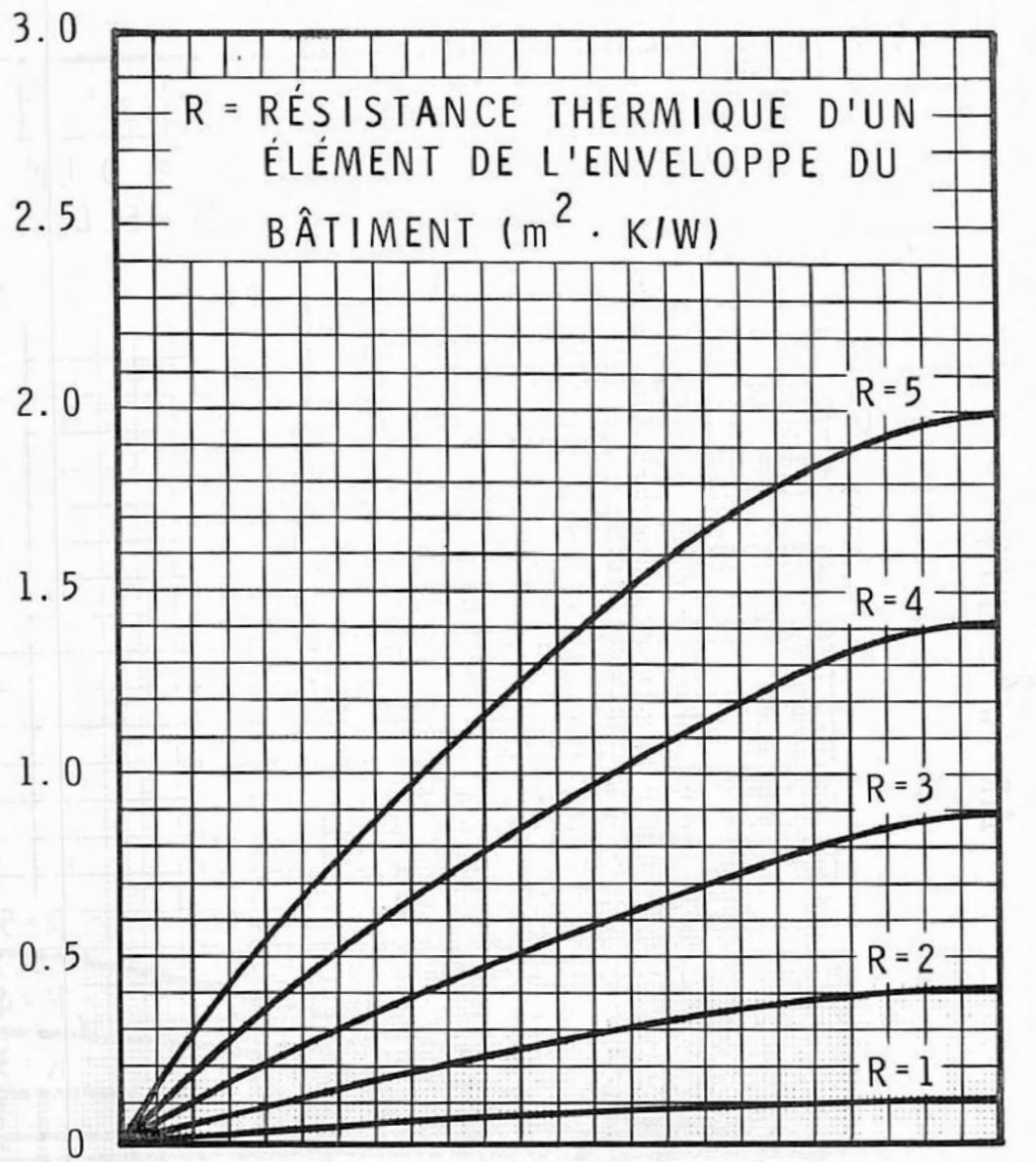
RELATION ENTRE LA RÉSISTANCE THERMIQUE ET LA MASSE D'UN ÉLÉMENT DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

LA COMPOSANTE MASSIQUE EST EN CONTACT DIRECT AVEC L'AIR DE L'ESPACE INTÉRIEUR

GENRE D'ENVELOPPE: BÂTIMENTS AYANT DE FAIBLES BESOINS ÉNERGÉTIQUES POUR L'ÉCLAIRAGE ET LE FONCTIONNEMENT DES

CHANGEMENT DE RÉSISTANCE THERMIQUE,

ΔR ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)



MASSE PAR UNITÉ DE SURFACE DE
PLANCHER, d (kg/m^2)

FIGURE 4

RELATION ENTRE LA RÉSISTANCE
THERMIQUE ET LA MASSE D'UN ÉLÉMENT
DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

LA COMPOSANTE MASSIQUE EST EN CONTACT DIRECT AVEC
L'AIR DE L'ESPACE INTÉRIEUR

GENRE D'ENVELOPPE: BÂTIMENTS AYANT DES BESOINS
ÉNERGÉTIQUES ÉLEVÉS POUR L'ÉCLAIRAGE ET LE FONCTIONNEMENT