

## NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

### Considérations thermiques relatives au dessin des toits Garden, G. K.

For the publisher's version, please access the DOI link below./ Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

#### **Publisher's version / Version de l'éditeur:**

<https://doi.org/10.4224/40001127>

*Digeste de la construction au Canada, 1967-11*

#### **NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :**

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=f69934e1-ac56-4922-9a0a-0a8c5a5116b4>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=f69934e1-ac56-4922-9a0a-0a8c5a5116b4>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

**Questions?** Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

**Vous avez des questions?** Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

## **Digeste de la Construction au Canada**

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

**CBD 70F**

# **Considérations thermiques relatives au dessin des toits**

*Publié à l'origine en novembre 1967*

*G.K. Garden*

### **Veillez noter**

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Les considérations thermiques relatives au dessin des toits peuvent être classées dans deux catégories générales: d'une part, moyens de régler les pertes et gains de chaleur; d'autre part, effets sur l'ensemble du toit des valeurs extrêmes de la température et de ses variations. Dans les bâtiments canadiens, où la température est très souvent réglée par chauffage en hiver et refroidissement en été, les gains et pertes de chaleur présentent une grande importance économique. Certains toits, en abritant le bâtiment des rayons solaires, le protègent seulement contre les gains de chaleur; mais tous les toits exposés aux intempéries subissent de grandes variations de température. Les effets des valeurs extrêmes de la température et de ses variations présentent une importance majeure parce qu'elles influent sur la durabilité de l'ensemble de la toiture. Il est également important de noter que tous les matériaux interposés entre le bâtiment et l'extérieur, y compris les plafonds et les espaces d'air, influent tous sur le rendement thermique de l'ensemble de la construction et doivent par suite être considérés comme partie de la toiture.

### **Réduction des pertes et gains de chaleur**

Les dimensions, puissance et coût des installations de chauffage et de refroidissement, qui sont calculés d'après des taux maximaux de pertes et de gains de chaleur, peuvent être réduits par une augmentation de la résistance d'ensemble du toit aux flux de chaleur. Ainsi on réalise également des économies sur les dépenses annuelles en combustible et en entretien mécanique. Ce but est habituellement atteint par l'inclusion d'isolants dans la toiture. En été, les gains de chaleur peuvent être encore réduits si la surface du toit est de couleur claire. Les couleurs claires réfléchissent davantage les radiations solaires que ne le font les couleurs sombres; elles absorbent donc une quantité moindre de chaleur.

Si on ne tient compte que des pertes et des gains de chaleur, on peut déterminer l'épaisseur de l'isolant la plus économique; le calcul se fait d'après le coût d'installation d'une résistance thermique plus élevée, d'après le coût moindre de l'équipement mécanique et de l'énergie fournie à celui-ci, et d'après la différence dans les taxes et l'intérêt sur le capital investi. A

cause de nombreux problèmes qui se présenteront certainement en service, l'épaisseur de l'isolant et sa répartition dans la construction devraient cependant être déterminées par, une étude de leur influence sur les températures dans l'ensemble du toit.

### **Effets de la température**

La durabilité ou vie utile d'un toit dépend dans une large mesure des températures auxquelles il est exposé. Il est essentiel, pour pouvoir dessiner des toits durables, de connaître les propriétés thermiques des matériaux, les variations et les valeurs extrêmes de la température, ainsi que la manière de modifier ou neutraliser celle-ci.

Les températures élevées augmentent la vitesse de détérioration de nombreux matériaux de toiture; elles accélèrent en effet les processus de photo-oxydation, amollissent les bitumes, et, dans des cas extrêmes, amollissent même l'isolant plastique. Une élévation de température peut produire, sur de petites quantités d'air ou d'humidité emprisonnées entre les couches du revêtement d'étanchéité du toit, une dilatation suffisante pour entraîner des gonflements capables de priver le revêtement de ses qualités d'étanchéité.

Aux basses températures, le coefficient de dilatation des revêtements bitumineux est élevé. Le matériau a une tendance à la fragilité et devient capable de développer des craquelures lorsqu'il est sous tension. Les températures des faces internes, qu'elles soient élevées ou basses, influent sur les conditions de confort, les valeurs basses pouvant régir le degré d'humidité relative acceptable dans l'espace situé en-dessous.

Par suite des changements diurnes et saisonniers dans la température de l'air, du chauffage par le soleil et du refroidissement par rayonnement, il se produit des variations de température qui induisent des changements de dimension dans les matériaux de construction. Les différentes couches existant dans un toit subissent des cycles de températures différents; il peut, dans ces conditions, se produire des déplacements asymétriques. S'il est fait obstacle à ces déplacements, il se produit des tensions et parfois des gondlements dans le matériau assujéti; des fissures, des rides, et finalement la destruction peuvent en résulter. Les exemples qui précèdent ne constituent qu'une petite partie des réactions possibles des matériaux de toiture et des constructions aux variations de température.

### **Détermination des températures**

La répartition des températures dans une toiture peut être déterminée par le procédé simplifié décrit dans **CBD 36F**. Comme il est signalé dans cette publication, deux des principales hypothèses admises en vue de simplifier les calculs peuvent conduire à des inexactitudes concernant les températures atteintes par les constructions exposées au rayonnement solaire. La première hypothèse consiste à admettre que le transfert de chaleur (en un point d'une surface) par convection et rayonnement peut être calculé globalement et exprimé en fonction de la résistance thermique. Comme les valeurs ordinairement utilisées pour cette dernière ne tiennent pas correctement compte du chauffage par le soleil ni du refroidissement par rayonnement, il peut se produire des erreurs importantes sur les valeurs extrêmes obtenues.

La seconde hypothèse, celle d'un régime permanent du débit de chaleur, est rarement réalisée dans les constructions massives; ce fait résulte de l'emmagasinage de la chaleur, des rapides fluctuations de la température de l'air, du chauffage solaire, et du refroidissement par rayonnement. Dans les constructions légères, cependant, il peut régner des conditions voisines de celles d'un régime permanent. Les erreurs résultant de cette hypothèse se trouvent généralement du côté de la sécurité; à condition qu'on ait tenu compte des effets du rayonnement, elles conduisent, en effet, à une gamme de températures un peu plus étendue que dans la réalité. La méthode simplifiée du **CBD 36F** donne des valeurs acceptables de température lorsqu'on se base sur la température extérieure superficielle véritable au lieu d'utiliser la température de l'air extérieur et la résistance du film externe d'air.

Les valeurs de températures superficielles à utiliser pour calculer les températures des toits à construire au Canada (en prenant en considération le chauffage solaire, l'emmagasinage de chaleur, et le refroidissement par rayonnement) peuvent être calculées approximativement par

les formules simples suivantes. Dans le cas d'un matériau à faible capacité calorifique (isolant), posé immédiatement en dessous de la surface du toit, la température maximale est  $t_A + 100a$  et la température la plus basse, par ciel nocturne clair et en toutes saisons, est  $t_A - 20^\circ\text{F}$ ; dans ces formules,  $t_A$  représente la température de l'air en degrés Fahrenheit;  $a$  est le coefficient d'absorption du rayonnement solaire.

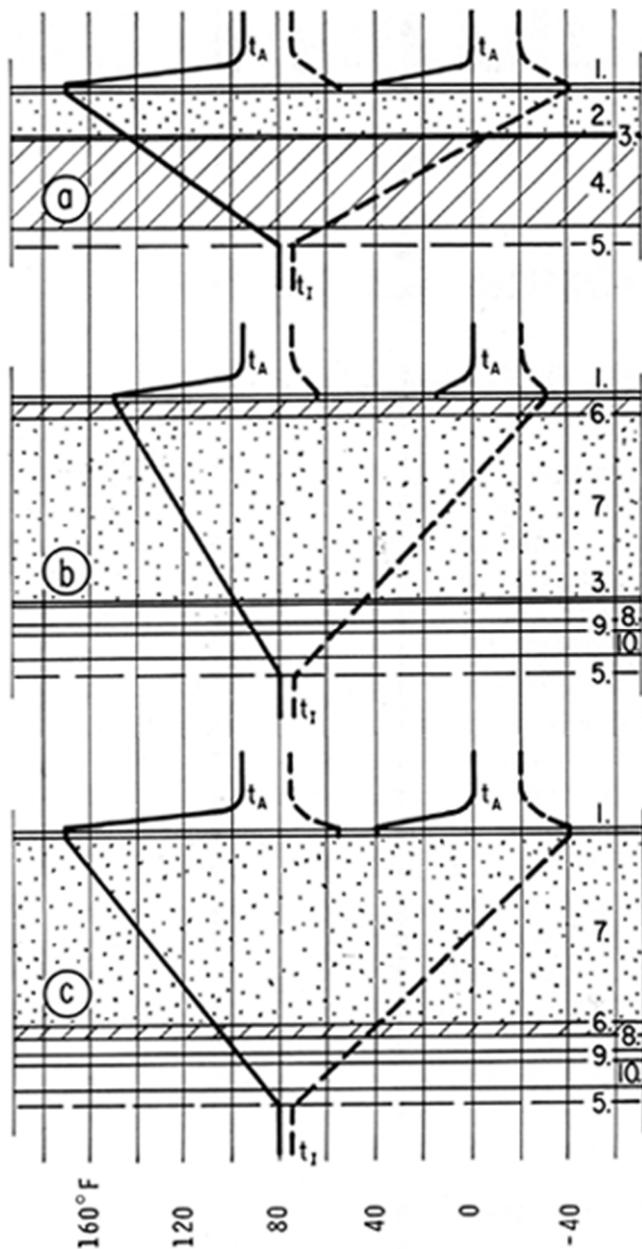
Sur un substratum à capacité calorifique élevée (béton) les températures hautes et basses d'une face externe de toit sont  $t_A + 75a$  et  $t_A - 10^\circ\text{F}$ . Le tableau I donne, pour des couleurs-types et pour quelques métaux soumis aux intempéries, des valeurs conduisant à des résultats satisfaisants pour la préparation des plans. La valeur de  $a$  est cependant modifiée lorsque le ton de la couleur change par suite de l'accumulation de salissures. Il faut également noter que, lorsqu'un mur de couleur claire réfléchit sur un toit les radiations solaires, le rayonnement atteignant le toit est augmenté. Pour tenir compte de ce fait, on doit, pour le calcul des hautes températures d'été, augmenter d'environ 30 pour cent les constantes figurant dans les formules ci-dessus. Ces formules deviennent ainsi  $t_A + 130a$  et  $t_A + 100a$ .

**Tableau I. Valeurs recommandées pour le coefficient d'absorption solaire  $a$**

<i>Couleur de la Surface</i>	<i>a</i>
noire	0.95
gris foncé	0.80
gris clair	0.65
blanche	0.45
<i>Métaux oxydés en surface</i>	
cuivre terni	0.80
cuivre vert-de-grisé	0.65
aluminium	0.60
fer galvanisé	0.90

La détermination graphique de la distribution des températures (**CBD 36F**) est représentée sur la figure 1, où on a donné à l'épaisseur de chaque matériau une représentation proportionnelle à sa résistance thermique. La ligne droite joignant la température superficielle extérieure et la température de l'air intérieur donne la distribution des températures. L'échelle des températures abscisse permet de lire la température de n'importe quel plan de la construction; elle est indiquée au point où la courbe du gradient de température intersecte ce plan dans le diagramme.

ETE	HIVER
95°F Température diurne de l'air ( $t_A$ )	0°F
75 Température nocturne de l'air	-20
80 Température de l'air intérieur ( $t_I$ )	75



LEGENDE CONCERNANT LES MATERIAUX

	Résistance
1. Revêtement d'étanchéité a = .75	.3
2. Isolement de 1 po. en fibres	1.8
3. Vaporifuge	0
4. Tablier de 3 po. en thuya	3.8
5. Feuil superficiel intérieur	.6
6. Dalle de 4 po. en béton	.4
7. Isolement de 2 po.	8.0

8. Espace rempli d'air non ventilé	.8
9. Placoplâtre	.3
10. Carreau acoustique	1.2

*Figure 1. Gradients de température au travers de trois toitures.*

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que les températures superficielles utilisées à la figure 1 ne représentent pas des conditions extrêmes. Elles sont au contraire basées sur les valeurs correspondant à un toit avec vue dégagée vers le ciel, et de couleur gris moyen ayant un coefficient d'absorption solaire  $a = 0.75$ .

### **Régulation des températures**

Dans un toit, la température de chaque matériau subit la double influence de la température à la surface du toit et de sa position par rapport à la résistance thermique maximale. L'isolation des toits a pour effet de rendre les matériaux situés sur la face chaude du toit plus chauds, et ceux du côté froid plus froids, qu'ils ne le seraient si on n'utilisait aucun isolant. On peut voir à la figure 1b que la dalle et le revêtement d'étanchéité du toit avec l'isolant sous-jacent subissent une variation étendue de température, tandis que la température du plafond s'écarte moins d'une valeur constante. Lorsque l'isolant se trouve à la face extérieure de la dalle du toit, comme à la figure 1c, la variation de température est faible pour tous les matériaux à l'exception du revêtement. Comme cela ressort des formules de température superficielle, la position de l'isolant a aussi un effet appréciable sur les valeurs extrêmes de la température superficielle extérieure.

Comme il est indiqué à la figure 1a, la présence dans un toit de deux couches séparées de matériau isolant peut donner naissance à des conditions physiques indésirables, telles qu'une basse température en hiver à hauteur du vaporifuge. A cause de leur résistance thermique, les matériaux utilisés pour leurs propriétés acoustiques donnent souvent naissance à cette situation.

Il existe d'autres moyens de régler les températures. La température maximale de la face extérieure d'un toit dépend du chauffage solaire. Aussi peut-elle être réduite par une sélection judicieuse de la couleur de la surface, par la pose d'autres matériaux placés de manière à fournir de l'ombre, ou par ventilation en dessous de la surface. On peut aussi utiliser un substratum à haute capacité calorifique, à condition de prendre garde aux nombreuses difficultés qu'engendreront probablement des déplacements asymétriques. La température minimale de la face extérieure peut être légèrement augmentée par l'emploi d'un substratum à haute capacité calorifique ou par ventilation en dessous de la surface.

La température quotidienne maximale pour l'hiver ne peut pas être déterminée par les formules indiquées pour les maxima d'été; le rayonnement solaire incident est alors, en effet, considérablement plus faible. Cette température a cependant été indiquée aux figures 1 et 2 pour aider l'architecte à comprendre l'effet de la chaleur solaire sur les dilatations et contractions de courte durée prenant naissance dans le revêtement du toit.

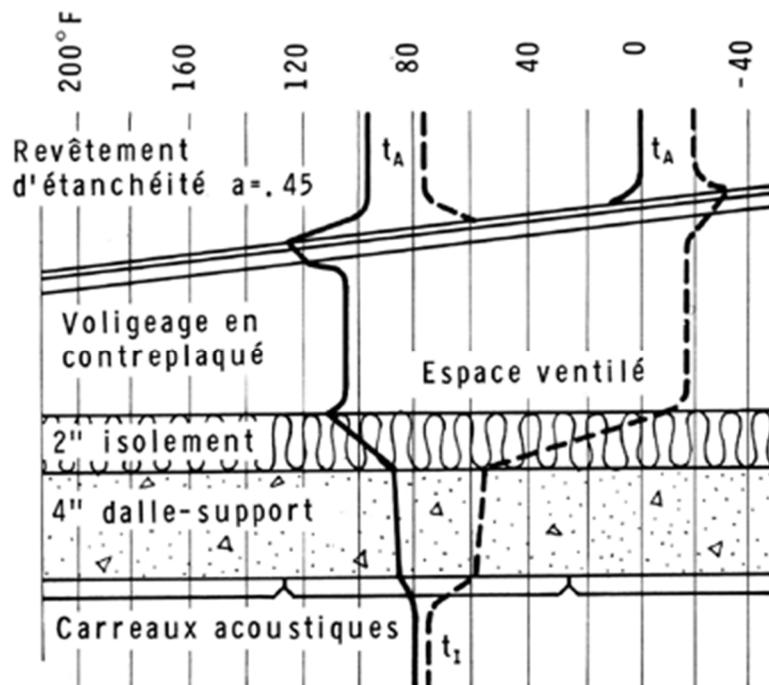


Figure 2. Gradients de température pour une toiture à espace ventilé et surface blanche.

Offrant une moindre résistance thermique que les constructions adjacentes, les ponts thermiques (**CBD 44F**) engendrent des zones froides localisées sur le côté chaud du toit et des zones chaudes sur le côté froid. Une température basse pour la face interne peut donner naissance à des taches de condensation et de saleté, tandis qu'une zone chaude existant dans un revêtement froid peut former des crêtes en dessus des joints d'isolation. Le meilleur mode de neutralisation des ponts thermiques consiste dans l'emploi d'une couche continue d'isolant. On peut également réduire grandement leurs effets en séparant la couche externes du toit du reste de la construction au moyen d'un espace où l'air est ventilé, et en posant, sur la face inférieure de l'isolant, un matériau à haute conductibilité calorifique.

### Solution des difficultés dues à la chaleur

En vue de minimiser les conséquences des difficultés causées dans les toits par les échanges de chaleur, il est nécessaire de restreindre, en tous les endroits possibles, l'éventail des variations de température et de laisser le champ libre aux déplacements asymétriques qui se produisent inévitablement. Dans le toit de la figure 2 (dessiné à l'échelle des dimensions réelles), on a utilisé un revêtement blanc ( $a = 0.45$ ) sur un voligeage de contreplaqué clair. Si l'espace vide n'était pas ventilé, les températures superficielles extrêmes atteindraient 140 et  $-40^{\circ}\text{F}$ . Si par contre on pratique la ventilation, les températures superficielles approcheront 125 et  $-30^{\circ}\text{F}$ . Cette portion du toit présentant une pente destinée à assurer le drainage, et agissant comme un écran de pluie, la construction sous-jacente est protégée contre les intempéries. On peut alors placer une couche relativement continue d'isolant sur l'extérieur de la dalle-support. L'écran de soleil et de pluie, qui doit supporter une variation de température supérieure à celle qui affecte la construction sous-jacente, doit pouvoir se déplacer librement. Dans ce cas, l'emploi de carreaux acoustiques donne naissance, dans la dalle-support, à une variation de température supérieure de  $12^{\circ}\text{F}$  à celle qu'on observerait si le plafond n'était que plâtré. Il est cependant possible de réduire cette variation en augmentant l'isolement au-dessus de la dalle-support.

Les espaces ventilés existant dans les toits présentent de grands avantages pour la résolution des difficultés dues aussi bien à la chaleur qu'à l'humidité; le refroidissement nocturne du ciel peut cependant engendrer, sur le côté inférieur du voligeage de l'écran de pluie, une température inférieure à celle de l'air; aussi observe-t-on parfois, dans certaines conditions, de

la condensation ou de la rosée. Cette difficulté, de même que d'autres difficultés créées dans les toits par l'humidité, sera étudiée dans un digeste ultérieur. Il est important de noter que tous les exposés de la présente étude ne s'appliquent pas nécessairement au cas de toits recouvrant des espaces réfrigérés. Ce fait provient de conditions spéciales de chaleur et d'humidité existant en pareil cas.

### **Conclusion**

S'il est exact que le dessin des toits oblige inévitablement à de nombreux compromis, la solution la plus avantageuse ne peut cependant être trouvée que si l'architecte a connaissance de tous les facteurs qui influent sur leur efficacité. C'est en effet du comportement thermique que dépend avant tout le succès ou l'échec d'un système de toit, et ce comportement peut, dans une grande mesure, être déterminé par le maître-d'oeuvre lors des études de plans.