

L'INERTIE THERMIQUE DES BÂTIMENTS

par Mark Gorgolewski

Mythes et réalités

Le désir de mieux comprendre l'interaction entre l'homme et son environnement influence grandement la construction et l'exploitation des bâtiments. Le système d'évaluation des bâtiments écologiques LEED et le plan de changement climatique canadien, visant à améliorer la consommation énergétique des bâtiments commerciaux, ont tous deux contribué à un regain d'intérêt dans la performance énergétique des bâtiments. On reconnaît de plus en plus qu'un emploi avisé de l'inertie thermique des immeubles de bureaux augmente la performance énergétique et le confort thermique. De tels bénéfices ont soulevé l'intérêt des architectes et des ingénieurs qui conçoivent des bâtiments durables à faible consommation d'énergie.

Toutefois, compte tenu des connaissances limitées sur les mécanismes de l'inertie thermique et sur son utilisation appropriée dans les bâtiments, les concepteurs ont tendance à associer la masse physique avec une bonne performance thermique passive. Souvent, les concepteurs estiment que seuls les bâtiments massifs fournissent une inertie thermique suffisante. Or, en réalité, on doit considérer plusieurs autres facteurs et réaliser que l'augmentation de la masse physique au-dessus d'un certain seuil n'améliore pas nécessairement la performance thermique. Plusieurs bâtiments commerciaux sont massifs du point de vue structural mais légers du point de vue thermique, en raison de la présence de finitions telles que les faux plafonds, les faux planchers, les revêtements de plaques de plâtre, les tapis et autres finitions qui isolent la charpente de l'environnement intérieur. En général, il est plus avantageux d'optimiser l'inertie thermique disponible que d'ajouter une masse supplémentaire. On doit également considérer l'augmentation de la charge de chauffage en hiver due à l'inertie thermique additionnelle.



Figure 1. Le siège social de Wessex Water a obtenu une des meilleures évaluations environnementales pour un immeuble dans le Royaume-Uni. Sa charpente d'acier intègre des planchers en béton préfabriqué.

Utilisation de l'inertie thermique

L'inertie thermique (ou la masse thermique) est la capacité d'absorption, d'emmagasinage ou de dégagement de chaleur que possède un matériau. On la mesure en Joules d'énergie thermique emmagasinée par unité de masse ($J/Kg \cdot K$), ou par mètre cube de matériau ($J/m^3 \cdot K$). Les matériaux lourds tels que le béton et la maçonnerie peuvent emmagasiner plus de chaleur par unité de volume que les matériaux légers tels que le bois ou l'isolant (Tableau 1). Une ancienne stratégie utilisée pour les constructions dans les pays chauds tels qu'en Méditerranée consiste à utiliser des éléments de charpente lourds comme les murs de maçonnerie pour absorber la chaleur durant les périodes d'occupation journalières. Dans de tels bâtiments, la masse élevée, les taux de renouvellement d'air variables, les grandes surfaces, les ombrages et les faibles charges de chauffage intérieur contrôlent le surchauffage. Il existe toutefois certains désavantages associés à la réduction du confort et à l'augmentation du chauffage en hiver.

Tableau 1. Propriétés de matériaux de construction courants

Matériau	Densité du matériau (kg/m^3)	Capacité thermique spécifique ($J/kg \cdot K$)	Capacité thermique volumétrique ($kJ/m^3 \cdot K$)	Conductivité thermique (W/mK)
Acier	7800	480	3744	55
Béton (normal)	2400	910	2184	1,83
Béton (léger)	1850	850	1573	1,0
Pierre calcaire	2350	810	1904	2,0
Brique commune	1920	835	1603	0,72
Bois tendre	610	1420	866	0,13

Les immeubles de bureaux modernes présentent des conditions et demandent des stratégies de services très différentes de celles des bâtiments méditerranéens. Un immeuble typique comporte un plan profond, des gains de chaleur intérieure élevés, un vitrage étendu offrant des gains de chaleur solaire élevés, une façade scellée, une haute densité d'occupation et des finitions intérieures qui isolent la masse de l'espace intérieur. De tels bâtiments exigent une

stratégie très différente pour le contrôle environnemental et l'utilisation de l'inertie thermique. En général, les dalles de plancher et de plafond des immeubles multi-étagés constituent les régions principales d'inertie thermique. Les murs extérieurs et les cloisons intérieures sont des éléments légers offrant peu d'inertie thermique utile. L'exposition des dalles de plancher permet l'interaction thermique avec l'environnement intérieur, ce qui accroît l'inertie thermique des espaces occupés. Ces éléments agissent comme des dissipateurs de chaleur le jour en absorbant l'excès de chaleur, et empêchent ou réduisent le surchauffage. La nuit, l'air ambiant plus frais circule dans les espaces intérieurs et refroidit les dalles, ce qui enlève la chaleur emmagasinée la veille et prépare les dalles à absorber l'énergie thermique du lendemain. Ceci peut réduire ou éliminer la charge de refroidissement mécanique de plusieurs bâtiments pendant l'été, et favorise les bureaux qui ont tendance à accumuler beaucoup de chaleur en raison des occupants, des ordinateurs, de l'équipement, de l'éclairage et des façades vitrées.

Avantages de l'inertie thermique

L'utilisation appropriée de l'inertie thermique améliore l'efficacité énergétique et le confort des bâtiments, et offre les avantages suivants:

- Moins de dépendance sur les services mécaniques pour assurer le confort.
- Des températures journalières plus stables pendant l'été et l'hiver, améliorant le confort des occupants.
- Charge de pointe inférieure pour le chauffage, la ventilation et la climatisation, à la fois pour les systèmes de chauffage et de refroidissement.
- Potentiel accru de refroidissement passif en été.
- Charges de refroidissement réduites dans les bâtiments à air climatisé.
- Frais d'exploitation potentiellement réduits dus à une consommation énergétique inférieure.
- Coûts initiaux potentiellement réduits dus à l'appareil de refroidissement de capacité réduite.
- Réduction possible du volume intérieur occupé par les services du bâtiment.

Mais une question s'impose : quel degré d'inertie convient à un immeuble de bureaux, et comment assurer son intégration?

Mécanismes de transfert thermique

La capacité d'absorption et d'emmagasinage de chaleur d'un élément dépend de deux facteurs importants:

- Les caractéristiques thermiques de l'élément lui-même, particulièrement sa capacité de conduction et d'emmagasinage de l'énergie thermique (conductivité thermique mesurée en $W/m.K$ et capacité thermique mesurée en $J/m^3.K$).
- Le taux de transfert de chaleur entre l'élément et l'air ou l'espace auquel il est exposé (le transfert de chaleur à la surface en $W/m^2.K$), également défini comme l'admittance (c.-à-d. le taux auquel un mètre carré de surface absorbe la chaleur de l'air à une différence de température de $1^{\circ}C$).

Des modèles thermiques informatisés ont servi à analyser la performance de divers types de construction. Ces modèles suggèrent que dans la plupart des cas, ce sont les

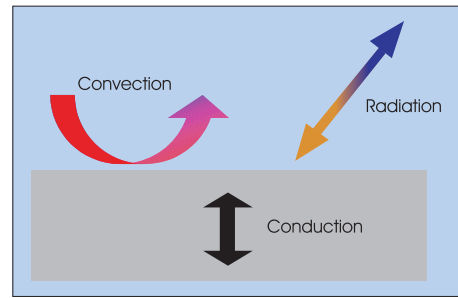


Figure 2. Les mécanismes de transfert de chaleur relativement à l'inertie thermique

caractéristiques de transfert de chaleur à la surface qui déterminent ou limitent l'emmagasinage thermique d'une dalle de plancher en béton typique, et non la profondeur ou le volume de la dalle. On a trouvé qu'il y a peu d'avantage à dépasser une épaisseur de 100 mm environ, car le taux d'absorption de la chaleur dans le matériau est le facteur qui limite la quantité d'énergie thermique qui peut être emmagasinée. Pour les planchers en béton typiques que l'on retrouve dans les immeubles de bureaux à charpente d'acier ou de béton, la capacité de la dalle à emmagasiner l'énergie thermique est supérieure au taux de transfert de chaleur à la surface au cours d'un cycle de 24 heures. On peut améliorer le transfert de chaleur à la surface en augmentant la surface à l'aide de caissons ou de cavités, ou en utilisant un profil de surface comme dans le cas des dalles de plancher composites. En général, cette stratégie peut presque doubler la surface exposée et le transfert de chaleur, et produit un effet plus important que l'augmentation de la masse. Parmi les projets de recherche récents, notons le contrôle du débit d'air au travers des ouvertures dans la dalle, et l'insertion de tubes remplis d'eau.

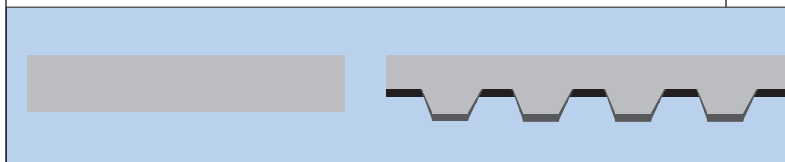


Figure 3. Surface accrue d'une dalle composite comparée à une dalle plate

Les occupants se sentent confortables à des températures intérieures plus élevées lorsqu'il y a des surfaces fraîches dans le milieu. La température confortable dépend de la température de l'air et de la température de rayonnement de toutes les surfaces à l'intérieur d'un espace. Les éléments thermiquement massifs ont tendance à avoir des surfaces plus fraîches, ce qui offre un effet de refroidissement l'été grâce au refroidissement par radiation transmis aux personnes dans le milieu (soit le contraire du chauffage par radiateur l'hiver), ce qui réduit davantage la charge de refroidissement mais peut augmenter la charge de chauffage l'hiver.

Finitions

L'utilisation répandue de faux plafonds, de tapis, de cavités de plancher et de revêtements de plaques de plâtre, lesquels isolent efficacement l'inertie thermique de l'environnement intérieur, réduit considérablement l'effet de l'inertie thermique dans un bâtiment. Ces facteurs sont plus importants que les éléments de charpente du bâtiment, et

les concepteurs doivent étudier les options telles que les carrelages céramiques et les plafonds de béton exposé pour assurer le lien entre l'inertie thermique et l'espace intérieur. Les faux plafonds continus limitent le transfert de chaleur en isolant la dalle de l'espace situé en-dessous. Toutefois, un plafond construit à l'aide de matériau conducteur plutôt qu'isolant permet un transfert de chaleur appréciable. De plus, on peut exposer partiellement la surface de la dalle en utilisant des carreaux de plafond perforés ou à cellules ouvertes, ou en couvrant seulement une partie de la dalle avec le faux plafond. Ceci permet la circulation d'air entre la cavité du plafond et l'espace situé en-dessous et produit un transfert de chaleur par convection. Des travaux de recherche effectués au Royaume-Uni démontrent qu'une ouverture de 15% permet une circulation d'air et un transfert de chaleur importants³.

Autres considérations

Il importe de noter plusieurs désavantages reliés à l'exposition de l'inertie thermique dans les immeubles de bureaux. Les modèles thermiques sur ordinateur suggèrent que l'énergie de chauffage peut augmenter de 10 à 20% au cours des mois d'hiver en raison de la chaleur supplémentaire requise pour chauffer l'inertie thermique. Un bâtiment thermiquement massif prendra plus de temps à refroidir après l'arrêt du chauffage les soirs d'hiver, mais prendra plus de temps à réchauffer les matins. Les températures plus élevées la nuit à l'intérieur du bâtiment augmentent le taux de perte thermique. Un bâtiment mal isolé aggrave ce problème et augmente les coûts de chauffage. Par contre, lors du printemps et de l'automne, les bâtiments légers peuvent exiger à la fois un chauffage et un refroidissement pendant un cycle de 24 heures, tandis que les bâtiments thermiquement massifs maintiennent des conditions intérieures confortables sans chauffage ou refroidissement supplémentaire. La diminution du refroidissement et l'augmentation du chauffage constituent un équilibre complexe qui varie selon les bâtiments, le type d'enveloppe, la période d'occupation et le système de chauffage.

L'exposition du dessous de la dalle dans le but d'utiliser l'inertie thermique affecte l'acoustique du milieu et l'intégration des services, dont l'éclairage. L'absence de plafond suspendu peut augmenter les temps de réverbération et la réflexion des sons à travers un espace ouvert. On peut remédier à ce problème en utilisant des cloisons à absorption acoustique, quoiqu'elles peuvent nuire à l'éclairage, ou bien en intégrant des panneaux acoustiques dans les appareils d'éclairage suspendus de la dalle. On peut également utiliser des faux plafonds partiels.

Conclusion

L'exploitation de l'inertie thermique ne se limite pas à un système ou un matériau de charpente, et il est possible d'intégrer suffisamment de masse thermique dans une charpente d'acier. Puisque l'exposition de l'inertie est le facteur le plus critique, le concepteur doit assurer que l'isolation des dalles de plancher permet d'utiliser la masse thermique. On peut optimiser la charpente du bâtiment sans avoir à ajouter de la masse uniquement pour des raisons de comportement thermique. Il n'est pas nécessaire d'épaissir les dalles ou d'ajouter du béton. L'exposition de l'inertie

thermique au moyen de l'augmentation des surfaces et le type de finitions utilisées (telles que les tapis, les faux plafonds, etc.) sont les facteurs les plus importants déterminant l'efficacité de l'inertie thermique. On peut utiliser différentes solutions dans les diverses régions du bâtiment. Le surchauffage affecte moins les espaces orientés vers le nord que ceux orientés vers le sud en raison des gains de chaleur inférieurs.

La Fondation pour la formation en charpentes d'acier vient d'accorder des fonds de recherche à un projet du même thème. De plus amples renseignements tenant compte du climat canadien seront disponibles l'an prochain. Toutefois, il est clair que l'amélioration de la performance thermique exige une approche holistique tenant compte de plusieurs facteurs. La stratégie de services, les niveaux d'isolation, l'étanchéité à l'air, le type de revêtement extérieur, le contrôle des gains solaires, les systèmes d'éclairage et les finitions doivent tous être considérés et intégrés afin d'obtenir la solution optimale.

L'auteur tient à remercier Daniel Pearl pour ses remarques constructives.

Références

- 1 Voir Barnard, N. Making the most of thermal mass, Architects Journal, 21 octobre 1999 ou Cousins, F. et Lang, B. Aspects of structural and thermal mass, article de séminaire disponible du Steel Construction Institute, R.-U.
- 2 Barnard, Nick et Ogden, Ray, The thermal capacity of steel frame buildings, article de séminaire, juillet 1996, disponible du Steel Construction Institute, R.-U.
- 3 Voir Barnard, Nick et al, Modelling the performance of thermal mass, article IP6/01 du BRE, Building Research Establishment, R.-U. ou Amato, A. et al, Practical ceiling solutions for thermally efficient steel frame buildings, Congrès national du CIBSE 1998.

Mark Gorgolewski, professionnel certifié LEED™, est professeur associé en architecture à la Faculté de génie et des sciences appliquées de l'Université Ryerson à Toronto. Il a obtenu son doctorat à l'Université Oxford Brookes dont le sujet portait sur l'efficacité énergétique des bâtiments. En tant que chercheur établi et reconnu, il écrit plusieurs publications d'envergure et 14 bulletins techniques sur l'environnement pour la Steel Construction Institute, la International Iron and Steel Institute et le Building Research Establishment au Royaume Uni. Il a présidé au sein du AECB (Association for Environment Conscious Building) en Angleterre avant d'émigrer au Canada.