

# Le chauffage infrarouge à gaz naturel

Présenté par :  
Kevin Guay, ing.

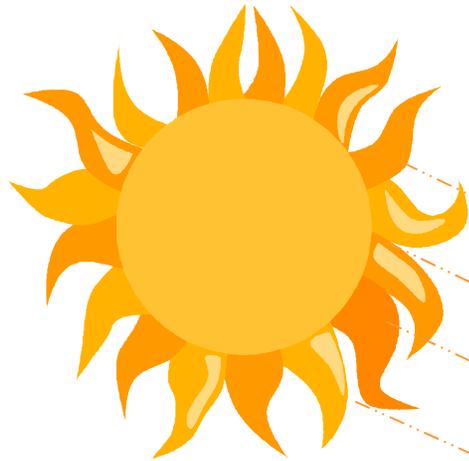
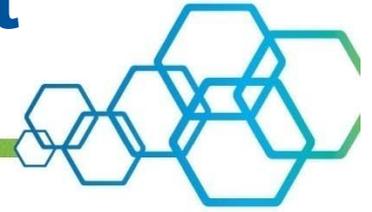
---

3 décembre 2012



# Le principe du chauffage radiant

existe depuis la nuit des temps!



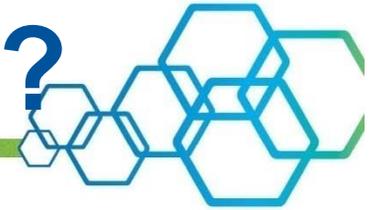
Le soleil est un émetteur de rayonnement infrarouge ...



... qui réchauffe la surface de la terre sans chauffer l'atmosphère

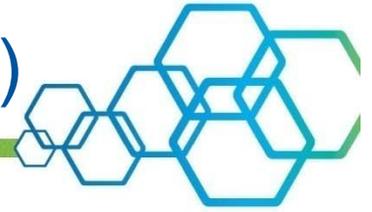


# Qu'est-ce que l'infrarouge?



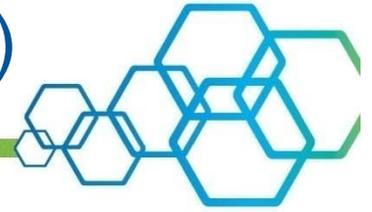
- Dérivé du latin **infra** qui veut dire **en dessous** et **rouge**
- Étant en **dessous du rouge**, il est invisible à l'œil humain
- Tout objet **non transparent** absorbe l'infrarouge à divers degrés selon sa couleur, sa composition, la texture de sa surface et la longueur de l'onde émise
- La **longueur de l'onde infrarouge** est fonction de la température de la source émettrice
- Les objets **transparents laissent passer l'infrarouge** sans l'absorber

# Qu'est-ce que l'infrarouge? (suite)



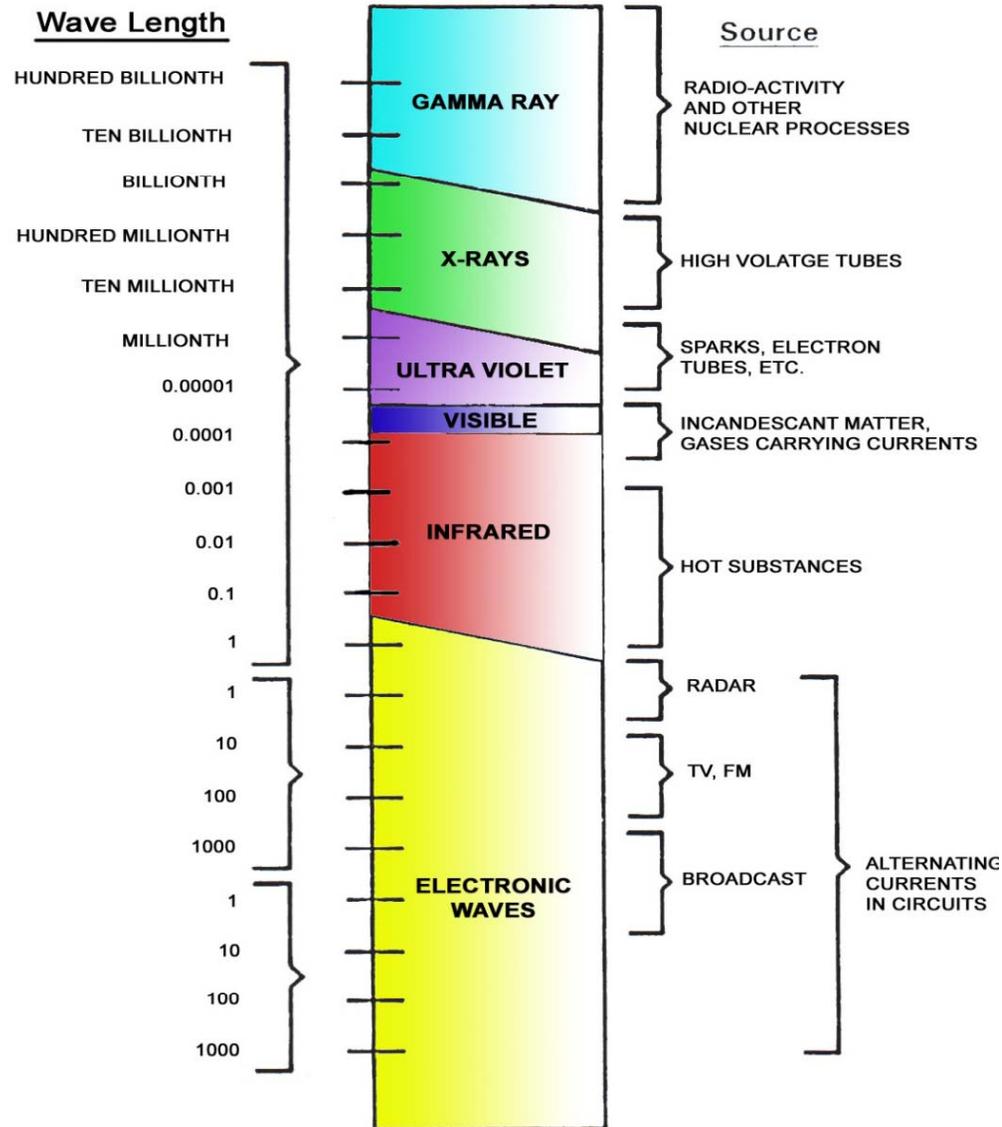
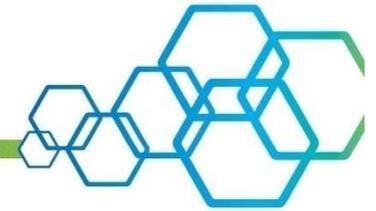
- Un objet à **1 700 °F** génère des ondes infrarouges se situant entre 0,75 et 20  $\mu$  (pointe à 2,4  $\mu$ )
- Un objet à une température supérieure à 1 700 °F génère de l'infrarouge en plus grande quantité, mais également de la lumière, une forme d'énergie peu utile en chauffage

# Qu'est-ce que l'infrarouge? (suite)

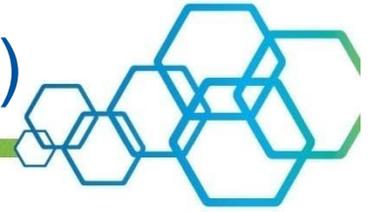


- L'infrarouge est une onde électromagnétique qui se comporte comme la lumière
- Elle se déplace d'un objet à un autre par mouvement ondulatoire – ondes
- Contrairement à la lumière, l'infrarouge basse intensité (basse température) n'est pas visible à l'œil humain
- L'infrarouge suit les mêmes principes électromagnétiques que la lumière
- L'infrarouge se situe entre la lumière visible et les ondes radar dans le spectre électromagnétique

# Spectre électromagnétique



# Qu'est-ce que l'infrarouge? (suite)



L'infrarouge se comporte comme la lumière et suit les mêmes lois optiques :

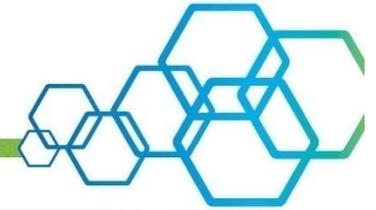
- Irradie dans toutes les directions à partir de la source
- Voyage à la vitesse de la lumière (186 000 milles/sec.)
- Tout comme la lumière, il peut être :

Polarisé

Concentré

Réfléchi

# Le chauffage infrarouge

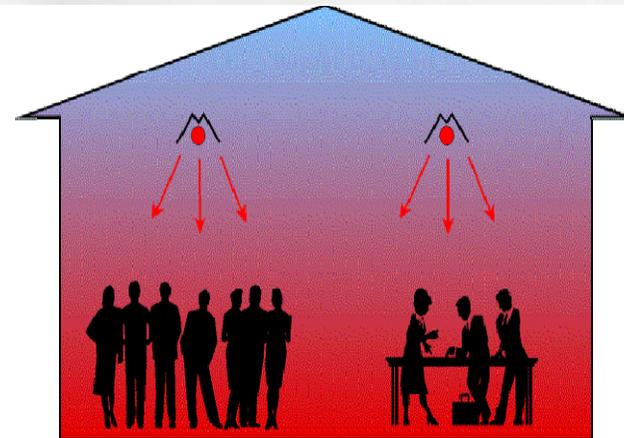
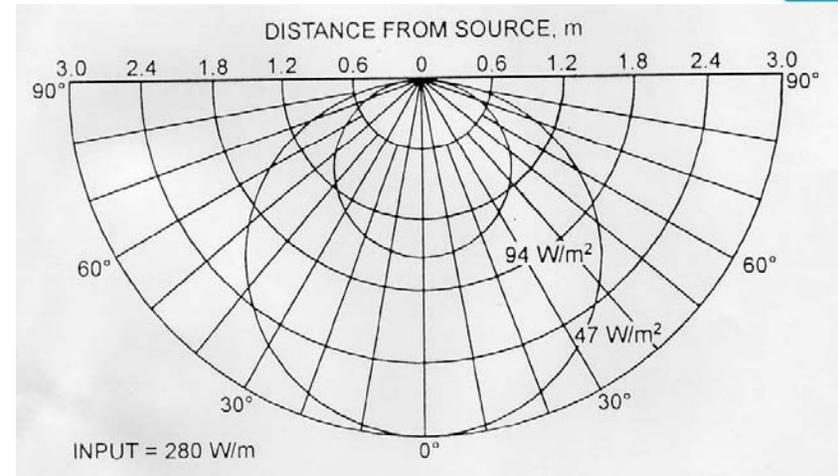


Le chauffage infrarouge doit par conséquent être envisagé tout comme l'éclairage en tenant compte de :

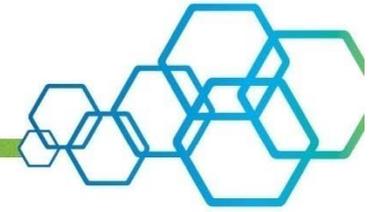
- l'aspect directionnel

Quelles sont les aires de travail?

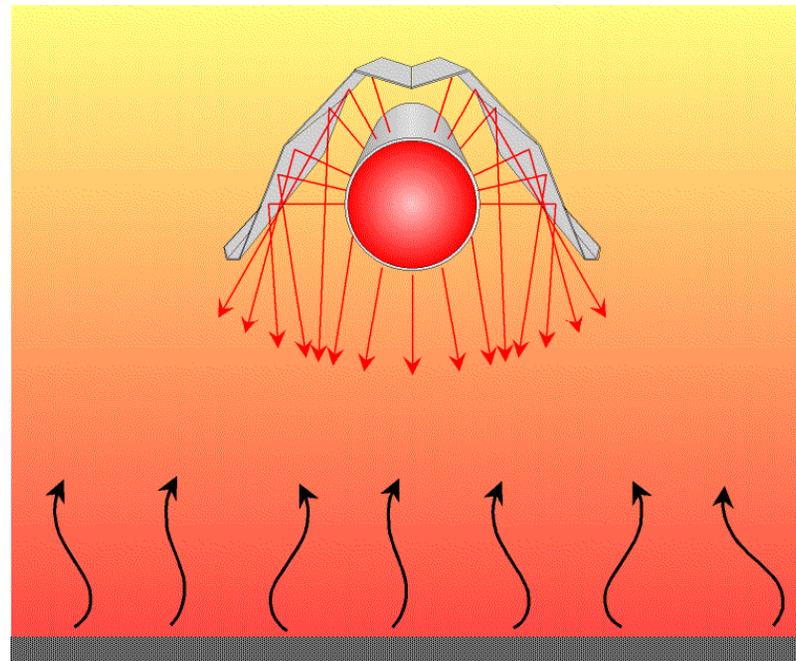
Attention aux obstacles !



# L'aspect réflexion

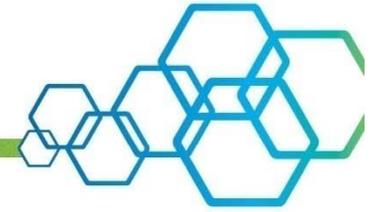


Mieux gérer la distribution ou la concentration des rayons



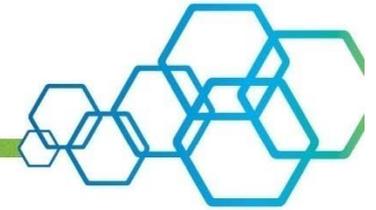
Rayonnement direct (unité) + Rayonnement indirect (récepteur)

# Autres faits sur l'infrarouge



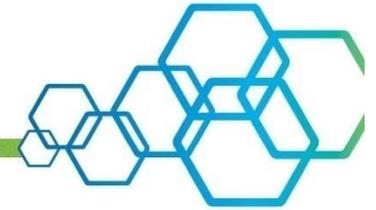
- Tout objet à une **température supérieure au zéro absolu** (-460 °F) émet de l'énergie infrarouge
  
- La quantité d'énergie transmise est fonction :
  - Du  **$\Delta T^4$**  entre l'émetteur et le récepteur
  - La **superficie** de l'émetteur
  - Le **taux d'émission** de l'émetteur
  
- Le rayonnement infrarouge **réchauffe directement** les occupants, planchers et objets **sans chauffer l'air** qui les séparent de la source émettrice
  
- En touchant le plancher et autres objets, l'énergie **infrarouge se transforme en chaleur**

# Autres faits sur l'infrarouge (suite)



- Une fois réchauffée, la dalle de béton devient un émetteur infrarouge de grande surface, mais à plus faible intensité, étant à une température inférieure
- Tout ce qui se trouve près du plancher est réchauffé par la radiation directe et également par conduction lorsque directement en contact avec le plancher
- La température du plancher est de 5 à 10 °F supérieure à la température de l'air ambiant
- L'air près du plancher (espace occupé) est chauffé par convection et conduction avec la chaleur emmagasinée dans la dalle et les objets environnants

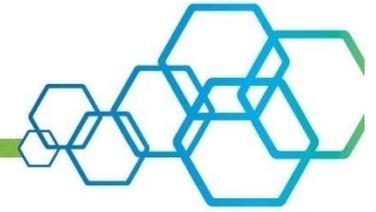
# Question de confort



- Quelle est la **meilleure façon de générer une sensation de confort** pour le corps humain qui se trouve dans une masse d'air à 70 °F, alors que sa température de surface est de  $\pm 92$  °F?
- La **sensation d'inconfort** ressentie par le corps humain est causée par les **pertes de chaleur** ( $\pm 400$  BTU/heure):
- **Convection** (en fonction du  $\Delta T$  avec l'air ambiant)
  - **Radiation** de chaleur vers les surfaces avoisinantes (en fonction du  $\Delta T^4$ )
  - **Évaporation** par la peau et les poumons
  - **Conduction** par contact direct avec le plancher et autres objets plus froids

# Équation du niveau de confort

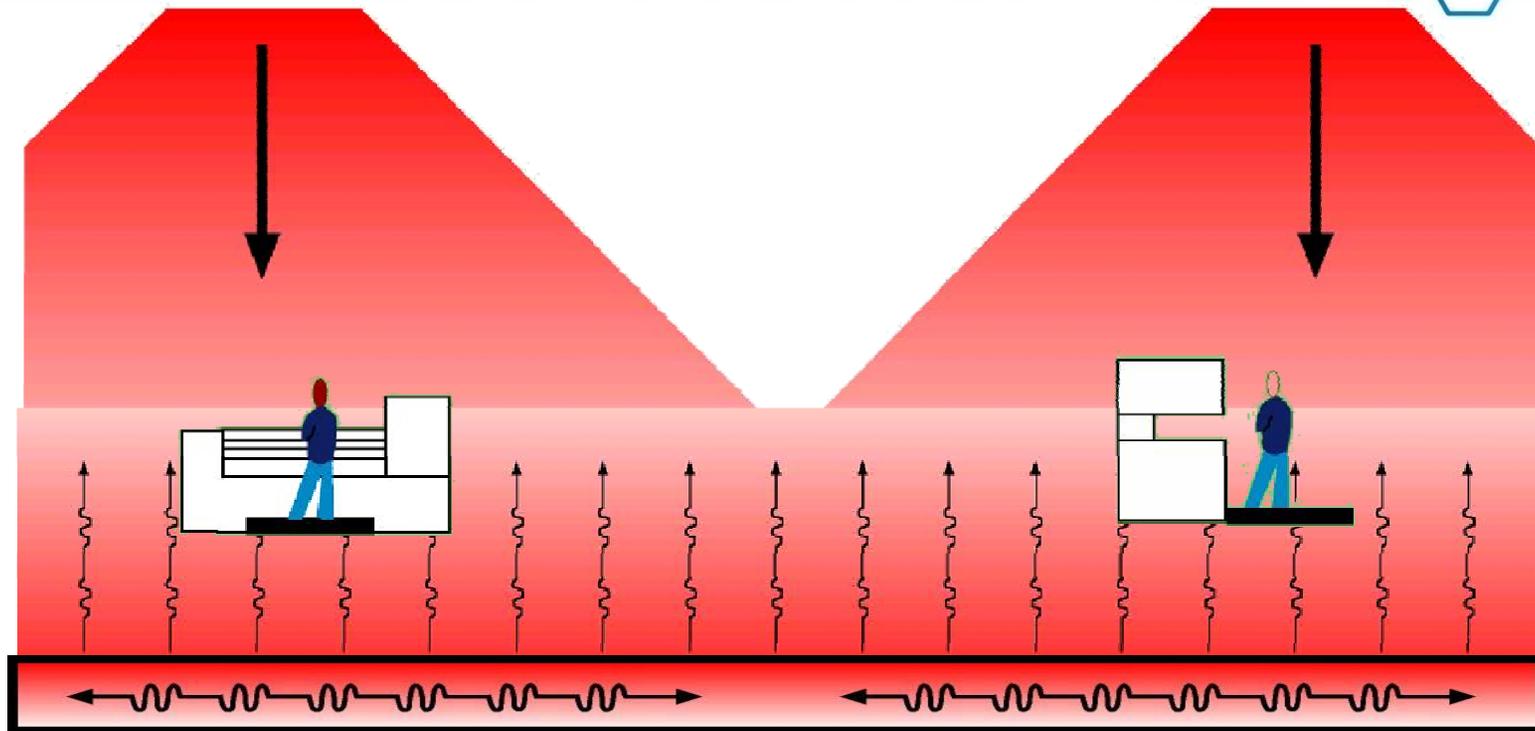
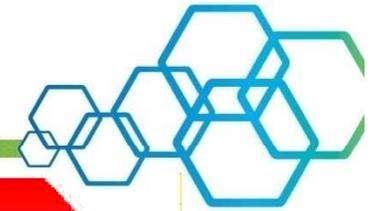
## « Raber-Hutchinson »



$$T_a + T_{mrt} = 140 \text{ °F}$$

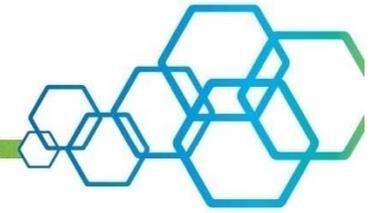
- La **sensation de confort est optimale** lorsque la valeur empirique obtenue avec cette formule est de **140**
- $T_a$  = Température de l'air ambiant (°F)
- $T_{mrt}$  = Température moyenne des surfaces radiantes  
« **mean radiant temperature** » (°F)
- Avec le chauffage radiant, la dalle est à 75 °F
- Donc, d'après la formule, la température optimale de l'air ambiant serait de  $140 \text{ °F} - 75 \text{ °F} = 65 \text{ °F}$
- **Le chauffage radiant procure une sensation de confort optimale à une température d'air inférieure** se traduisant par des économies d'énergie

# Mode de transmission de la chaleur

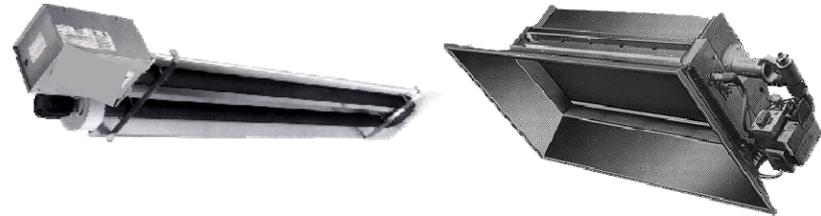


1. **Rayonnement** direct provenant du tube radiant
2. **Diffusion** de la chaleur dans la dalle par **conduction**
3. **Rayonnement** secondaire et **convection** de la chaleur accumulée dans la dalle de béton

# Types d'appareils de chauffage radiant



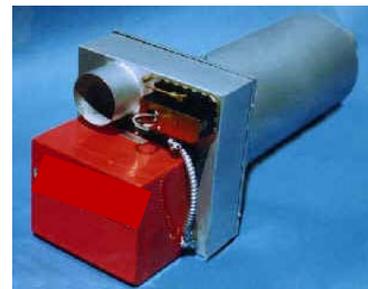
Infrarouge à gaz



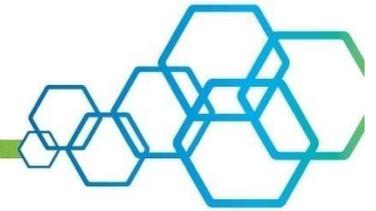
Infrarouge électrique



Infrarouge à l'huile



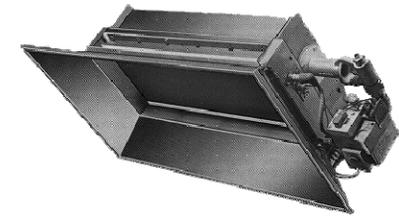
# Types d'appareils de chauffage radiant au gaz



Tubulaire **basse intensité** 300 à 1 200 °F



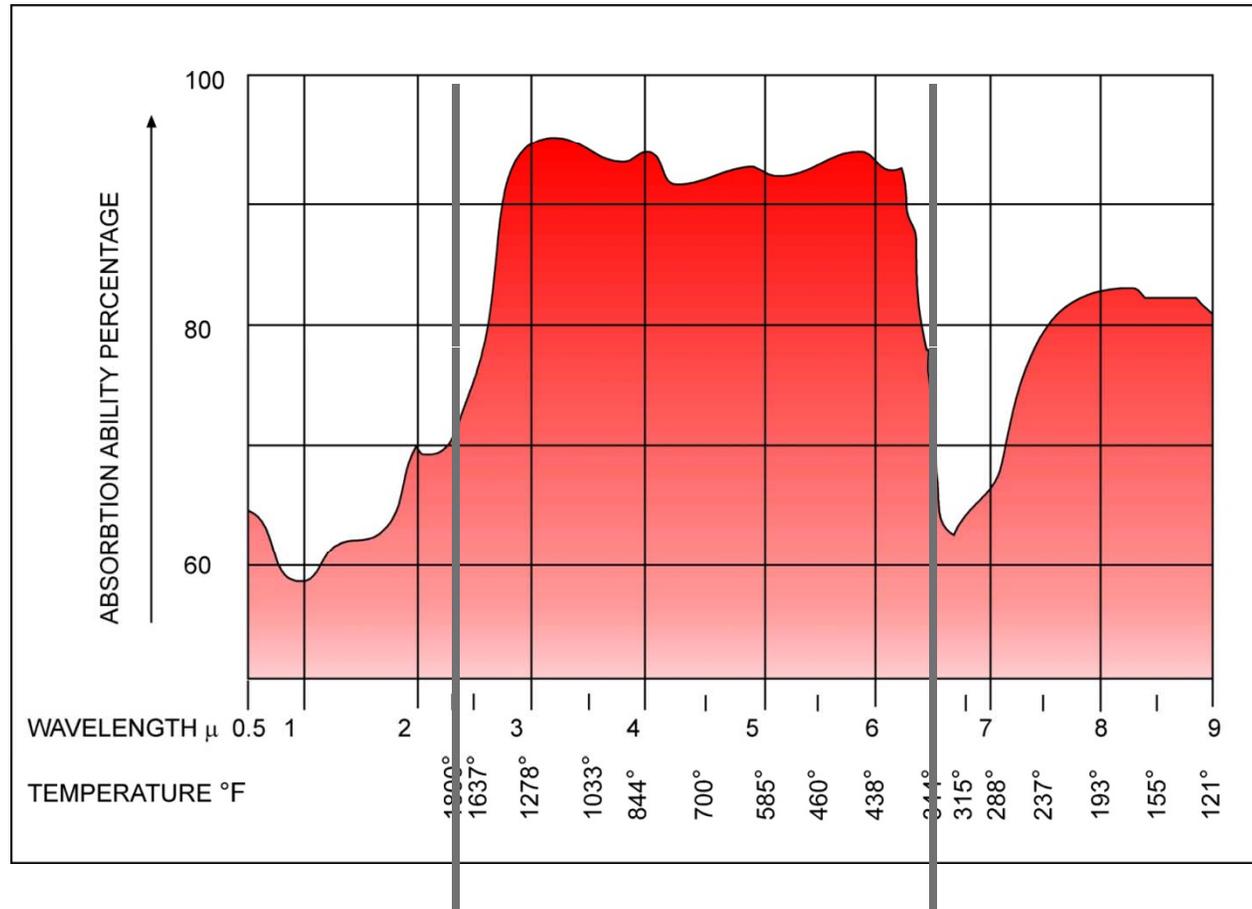
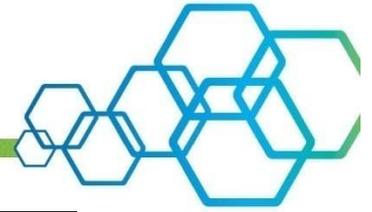
Céramique **haute intensité** 1 800 à 5 000 °F ( Radiant électrique 4 050 °F)



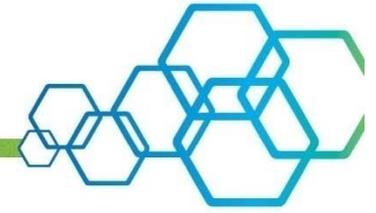
Modèle de plancher **moyenne intensité**  
Émetteurs en métal perforé 1 200 à 1 800 °F



# Absorption du béton



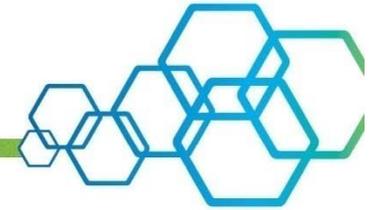
Les planchers de **béton absorbent bien l'infrarouge** avec des longueurs d'onde entre **2,4 et 20 microns (μ)**



→ DESIGN

# Design

---



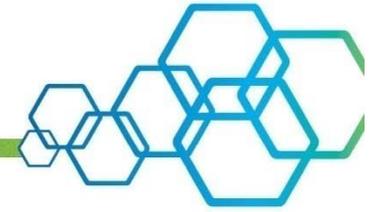
## → Qu'est-ce que le client attend du **radiant**?

- Économies d'énergie (30 % à 50 %)
- Facilité à chauffer des bâtiments grandes surfaces et de grandes hauteurs
- Confort des employés
- Pouvoir faire du chauffage localisé (spot)
- Peu bruyant

## → Est-ce que le plafond est suffisamment haut?

- Idéal pour les bâtiments à plafond très haut (hangars)
- Non recommandé pour les bâtiments suivants :
  - Hauteur des plafonds inférieure à 8 pieds
  - Édifices à étages multiples
  - Chambre à peinture
  - Environnements hasardeux

# Design – Questions?



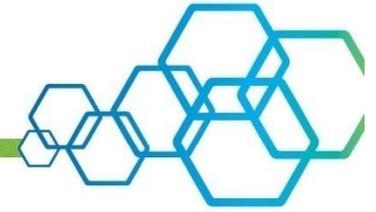
## → Où doit-on positionner les appareils radiants?

- Le plus haut possible (selon recommandations)
- Montage vertical préférable au montage en angle
- Au dessus des ponts roulants (Attention!)
- Le long des murs

## → Peut-on évacuer les produits de combustion dans le bâtiment?

- Oui, à la condition qu'une alimentation en air frais soit prévue (*min. 300 CFM/100MBH*)
- Non recommandé pour les bâtiments mal isolés car il y a risque de condensation sur les surfaces froides

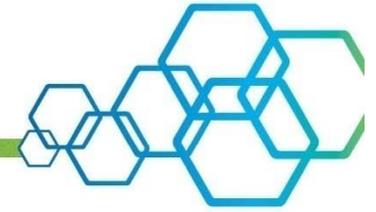
# Design – Questions? (suite)



## → Est-ce qu'il y a suffisamment d'espace libre?

- Le rayonnement doit pouvoir atteindre le plancher directement
- Dans les entrepôts haute densité, les appareils radiants doivent être localisés au périmètre du bâtiment et au dessus des allées principales

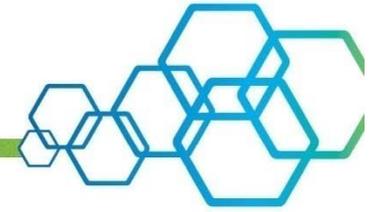
# Critères à considérer pour le choix d'appareils de chauffage radiant



→ Rechercher des appareils dont le **rayonnement est maximale**, la **convection est minimale** et qui optimisent les 3 facteurs suivants :

- Température du tube émetteur
- Taux d'émission de radiation
- Aire du tube émetteur

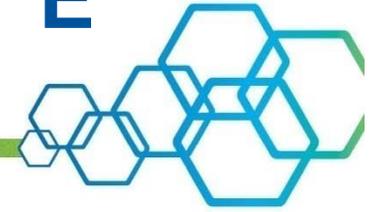
# Quantité de chaleur radiante émise



$$R = SEA (T^4 - T_a^4)$$

- $R$  = Capacité de chauffage « RADIANT »
- $S$  = Constante Stephan-Boltzman
- $E$  = Taux d'émission de l'émetteur (matériel)
- $A$  = Surface radiante de l'émetteur
- $T$  = Température de la surface émettrice (°R)
- $T_a$  = Température ambiante (°R)

# Taux d'émissivité des tubes radiant "E" selon les matériaux



→ Les tubes radiants **basse intensité** sont offerts en plusieurs matériaux dont les **taux d'émissivité** varient grandement

## Matériaux usuels

## "E"

→ Acier aluminé calorisé	0,80 à 0,86
→ Acier alumi-therm calorisé	0,80 à 0,86
→ Acier aluminé	0,25 à 0,30
→ Acier roulé à chaud	0,66
→ Acier inoxydable	0,20 à 0,25

# Tableau de comparaison des matériaux

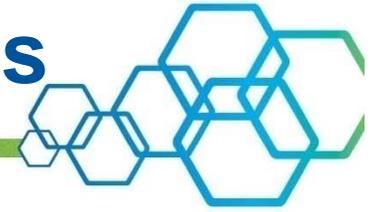


*Matériaux de tubes couramment utilisés par les manufacturiers d'appareils infrarouge*

Matériaux	Taux d'émissivité	Taux d'absorption	Résistance à la corrosion		Temp. max. °F	Efficacité radiante
			Externe	Interne		
Acier aluminé	0,25 à ,030	Très mauvais	Bonne	Bonne	1 100	Mauvaise
Acier aluminé calorisé	0,8 à ,086	Très bon	Très bonne	Très bonne	1 250	Excellente
Acier alumi-therm calorisé	0,8 à ,087	Très bon	Très bonne	Très bonne	1 400	Excellente
Acier roulé à chaud	0,66	Bon	Moyen	Moyen	900	Bonne
Acier roulé à chaud + peinture*	0,66 à ,075	Bon	Très bonne	Moyen	900	Bonne
Acier aluminé + peinture*	0,8	Très mauvais	Très bonne	Très bonne	1 100	Assez bon
Acier inoxydable	0,2 à 0,25	Très mauvais	Très bonne	Très bonne	1 170	Mauvaise

\* Peinture à haute émissivité sur la surface externe

# Réflecteurs – Brûleurs – Accessoires

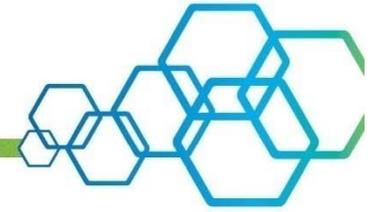


Matériaux et agencements recherchés:

→ Réflecteurs :

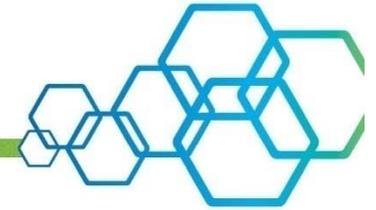
- Aluminium très réfléchissant
- Englobent entièrement les tubes incluant les coudes
- Dirigent 97,5 % de la radiation émise vers la zone chauffée

# Critères qui influencent le choix des appareils



- Utilisation du local
- Température de design (*plus basse avec le radiant*)
- Type de matériaux entreposés
- Contaminant de l'air
- Pression de gaz, tension électrique
- Dimensions du bâtiment
- Pression dans le bâtiment (neutre, négative ...)
- Codes locaux
- Charges de chauffage dues à l'introduction de masses froides

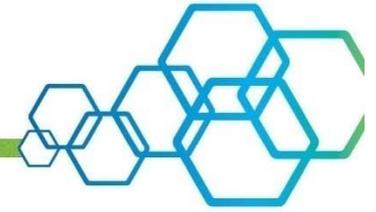
# Choix & localisation des appareils



- Calcul des charges de chauffage selon la méthode usuelle (ASHRAE ou autre)
- Appliquer le **facteur de compensation** approprié en fonction de la hauteur d'installation
- Définir le nombre et modèle des appareils
- Localiser les appareils en tenant compte :
  - De la hauteur de montage
  - Du type et de la capacité des appareils
  - De la géométrie du bâtiment
- 70 à 80 % des pertes de chaleur sont en périphérie d'un bâtiment, là où les appareils de chauffage radiant devraient être localisés. Attention de les orienter de façon à ne pas irradier directement sur les murs extérieurs

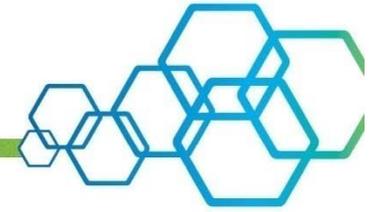
# Choix et localisation des appareils

---



- Pour les bâtiments avec beaucoup d'infiltration, peu ou pas isolés, l'espacement entre les appareils ne devrait pas excéder 3 fois la hauteur de montage
- Dans les entrepôts, chauffer les allées
- Pour les bâtiments étanches et bien isolés, espacer les appareils jusqu'à 4 fois la hauteur de montage

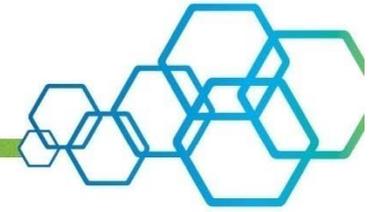
# Chauffage localisé « SPOT »



- Les appareils de chauffage radiant sont idéaux pour faire du chauffage localisé
- Référez-vous aux méthodes de sélection suggérées dans la documentation des manufacturiers
- Les appareils de chauffage à tubes basse intensité procurent un confort supérieur aux appareils haute intensité
- Les modèles en « U » procurent une chaleur plus uniforme

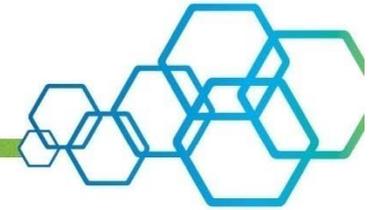
# Appareils non ventilés vers l'extérieur

---



- Le code exige qu'il y ait un apport d'air frais de 300 CFM/100 MBH installés.
- Cette ventilation peut être mécanisée ou à gravité.
- Il faut tenir compte de cette charge supplémentaire de chauffage dans le calcul de la capacité des appareils.
- Attention aux bâtiments peu ou mal isolés – risques de condensation d'humidité sur les surfaces froides en hiver.

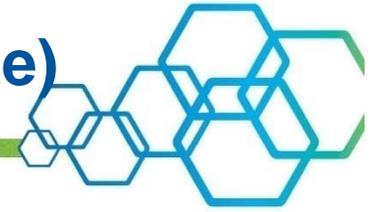
# Couverture de l'aire du plancher



*Considérations importantes lors de la conception d'un système de chauffage radiant infrarouge :*

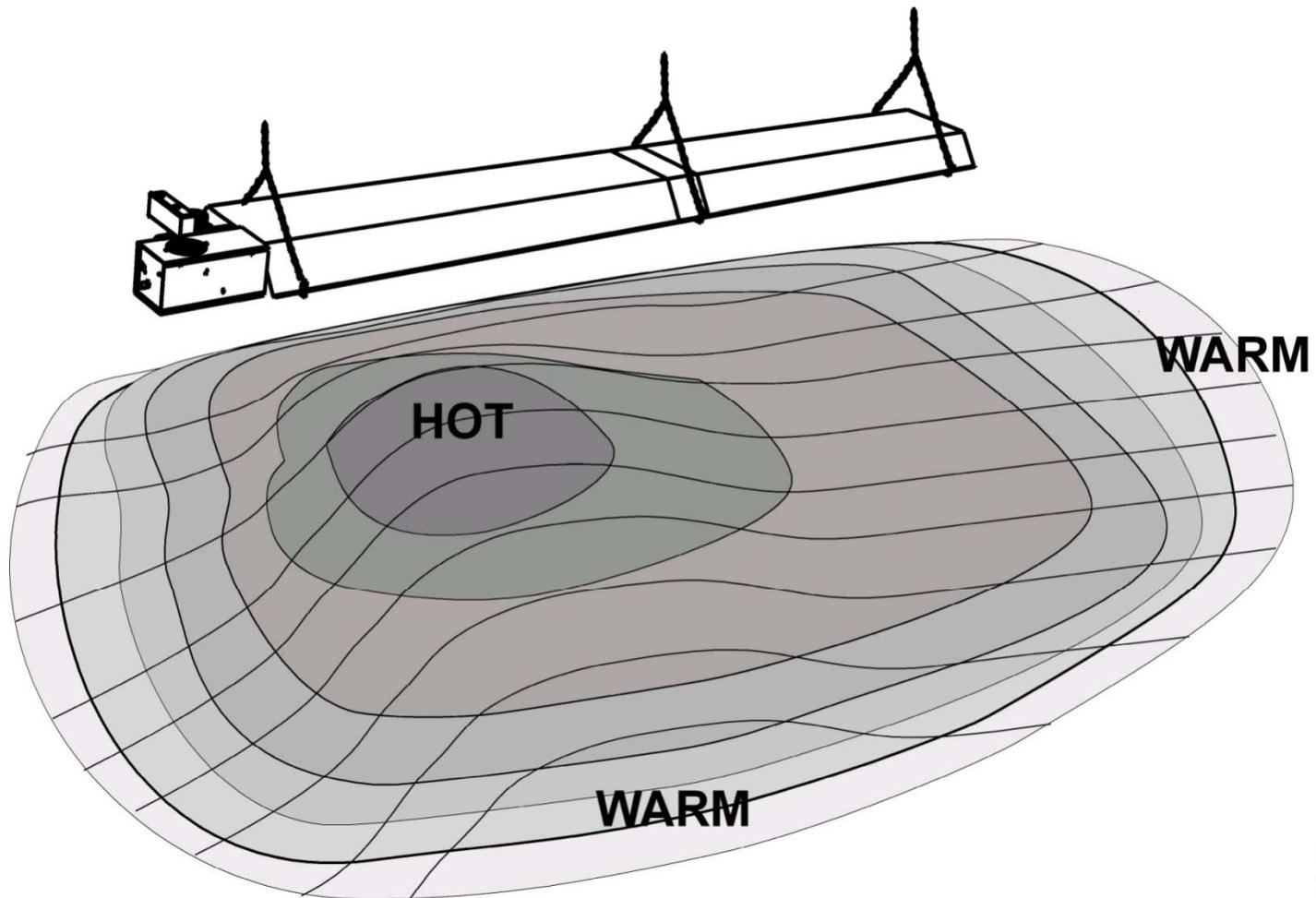
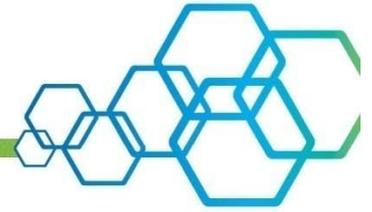
- La capacité installée doit être suffisante et appropriée pour maintenir la température ambiante désirée – éviter le surdimensionnement pour éviter de surchauffer
- Pour localiser les appareils, servez-vous des chartes de localisation des manufacturiers
- Dans le cas d'un bâtiment bien isolé, seulement 50 % du plancher a besoin d'une couverture directe

# Couverture de l'aire du plancher (suite)

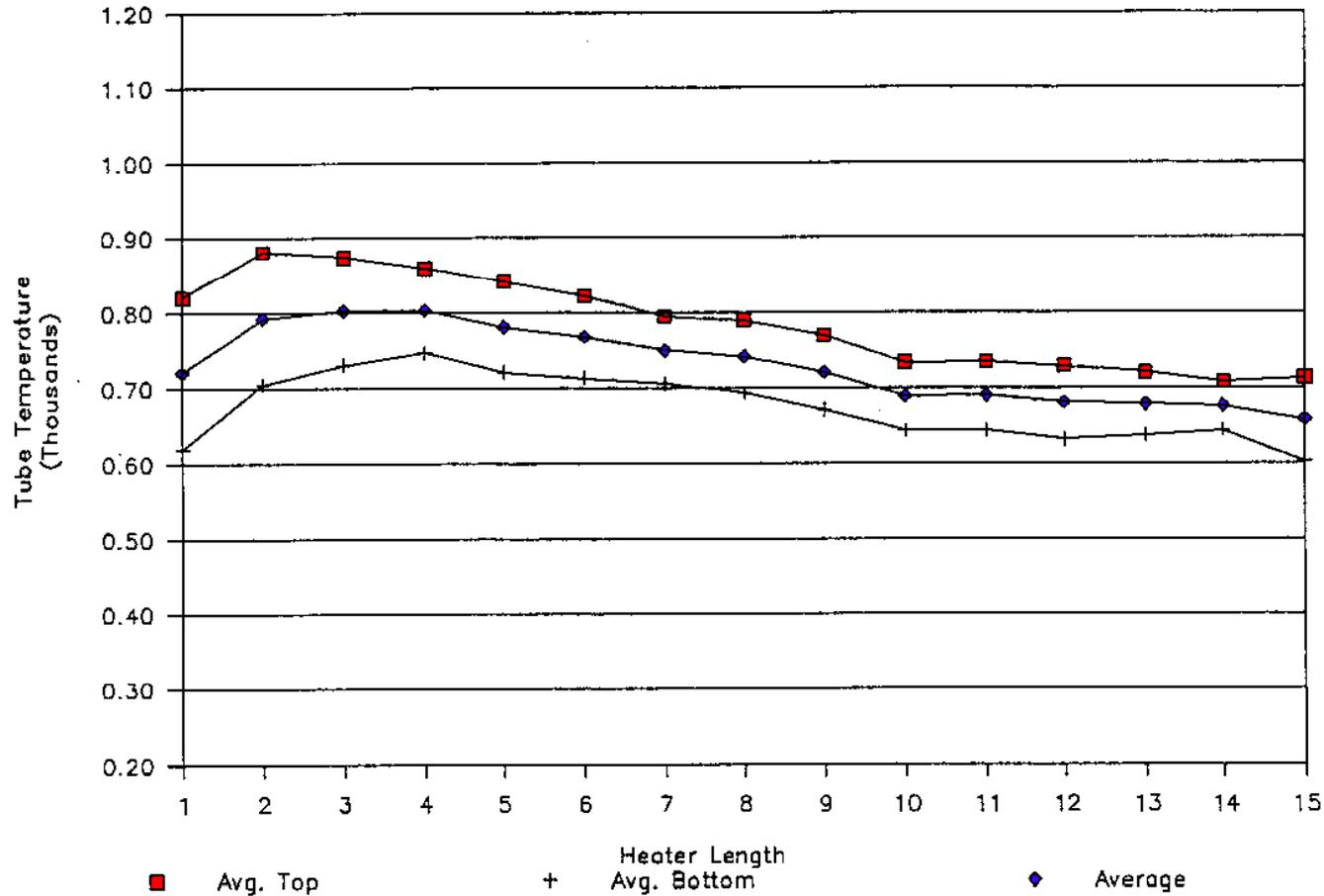
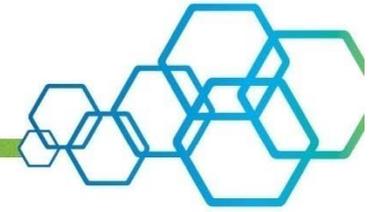


- Le reste du plancher sera chauffé par conduction
- Le temps requis pour atteindre l'équilibre thermique de la dalle de béton dépend de l'espacement entre les appareils
- 70 à 80 % des pertes de chaleur se retrouvent en périphérie
- Localiser les appareils près des murs extérieurs
- Montage à angle au lieu de vertical (Attention! Moins de rayonnement et plus de convection)
- Prenez garde de ne pas irradier directement sur les murs extérieurs

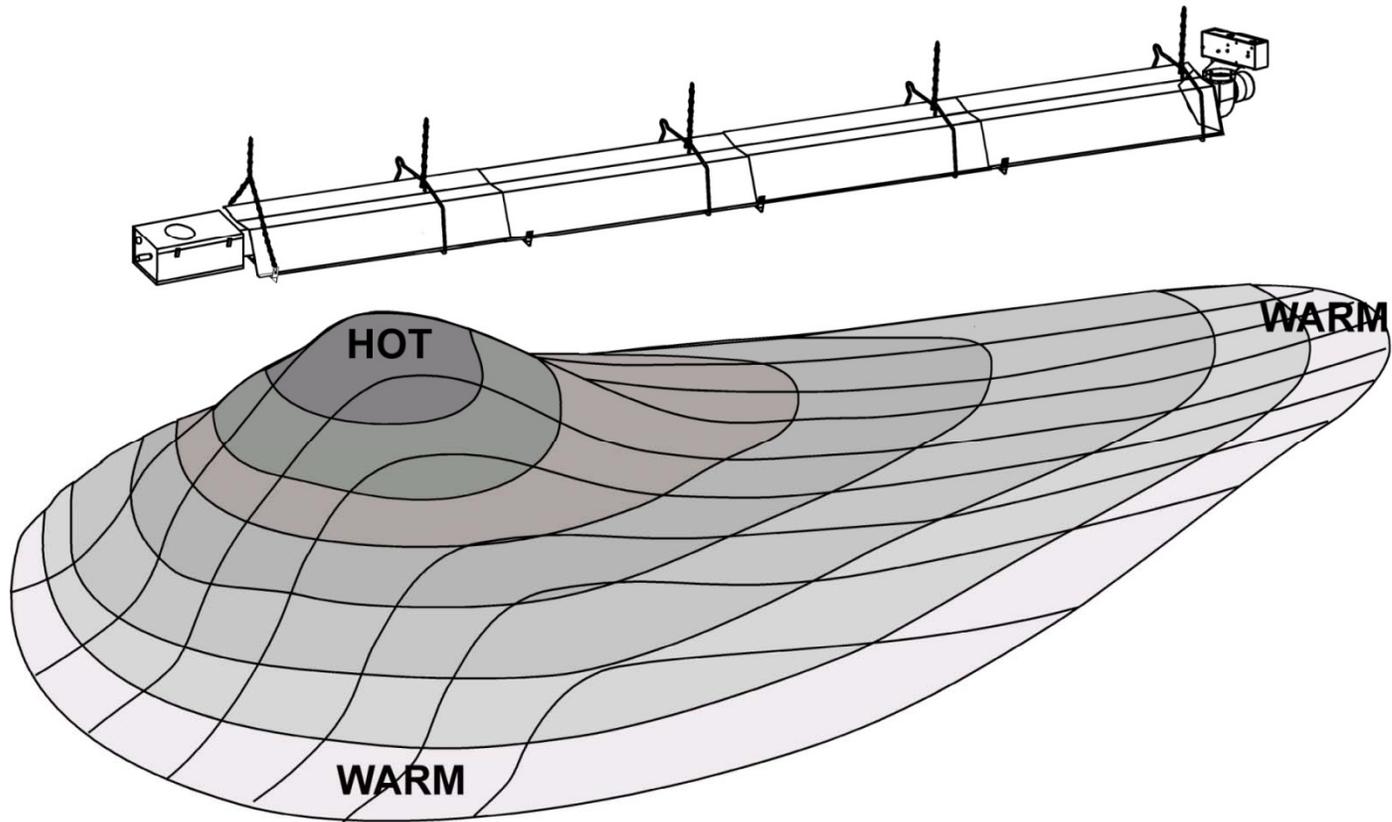
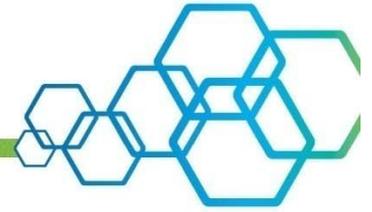
# Tube en U



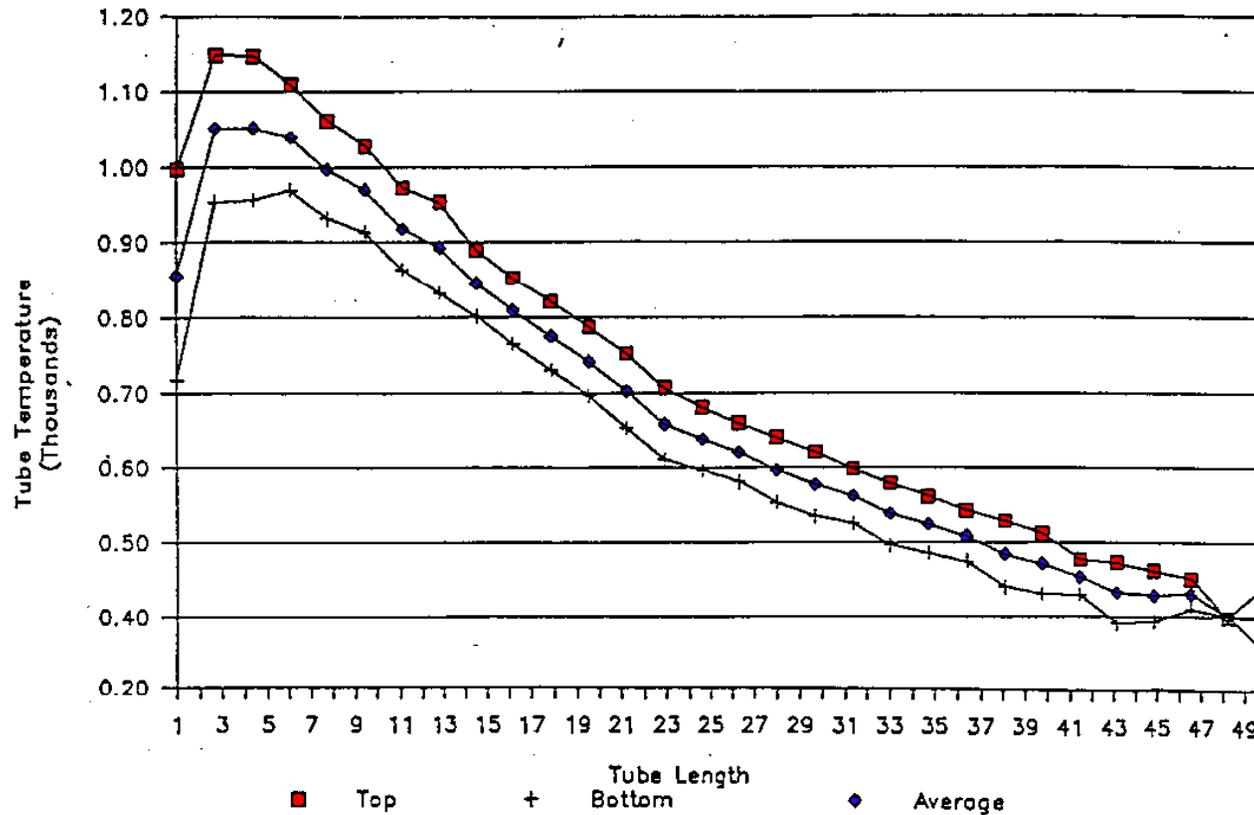
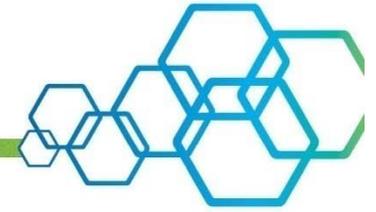
# U-Tube Temperature Profile



# Tube droit

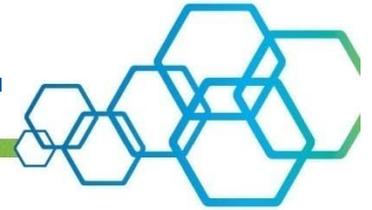


# Straight Tube Temperature Profile



Emitter temperatures below 400°F provide a small percentage of the radiant output that is beneficial to space heating.

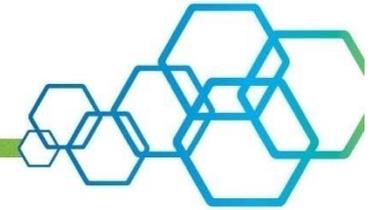
# Différences entre le radiant et ...



Les différences entre le chauffage **radiant infrarouge** et le chauffage à **air forcé** sont dans la **méthode** et la **rapidité** de générer le niveau de confort des occupants

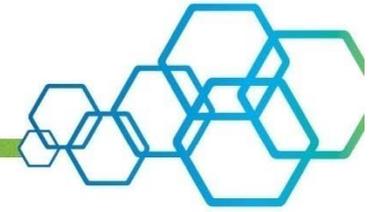
- Les appareils radiants réchauffent le plancher et les objets **en premier** avant de chauffer l'air
- Un système radiant chauffe l'espace **du bas vers le haut**
- Le **niveau de confort** de la **zone occupée** est plus rapidement atteint
- Le **plancher** est à une **température confortable** de  $\pm 75$  °F et les occupants ont les  **pieds bien au chaud**
- L'air de l'espace supérieur inoccupé n'est **pas chauffé inutilement**; les appareils fonctionnent moins longtemps
- La **consommation d'électricité est minimale** (nul besoin de ventilateur pour brasser l'air)

# ... le chauffage à air forcé



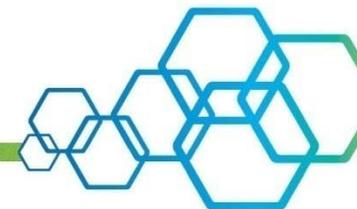
- Dans le cas d'un système à air forcé, l'air chaud monte vers le toit, se stratifie et **la chaleur migre lentement vers le bas** jusqu'au thermostat
- Dans les hauts bâtiments, il est fréquent de mesurer un **gradient de température** de plus de 30 °F entre le toit et le plancher
- **Pertes de chaleur accrues** dans la partie haute de l'édifice
- Le **plancher demeure froid** donc inconfortable pour les occupants qui ont les pieds froids
- L'**air chaud est constamment brassé** et réchauffé pour obtenir un niveau de confort relatif dans l'espace occupé
- Des **quantités appréciables d'électricité** doivent être dépensées pour brasser l'air
- L'**air chaud remonte** et est continuellement remplacé par de l'air plus froid au niveau du plancher
- La **zone occupée est la dernière à être satisfaite**
- Les appareils de chauffage **fonctionnent plus longtemps**

# Facteur de compensation



- L'expérience des manufacturiers ainsi que les publications techniques démontrent la nécessité d'appliquer un facteur d'ajustement aux pertes de chaleur du bâtiment lorsqu'il s'agit de chauffage radiant.
- L'intensité de la radiation étant inversement proportionnelle au carré de la distance, la charge installée augmente avec la hauteur d'installation.
- Ce multiplicateur appelé « **facteur de compensation** » doit être appliqué afin d'éviter une surcapacité, qui serait cause d'inconfort.

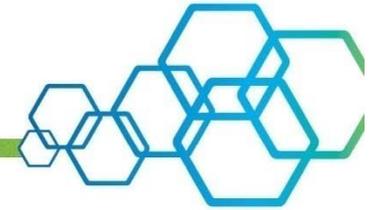
# Facteur de compensation



<i>Hauteur de montage (pi.)</i>	<i>Facteur de compensation</i>	<i>Hauteur de montage (pi.)</i>	<i>Facteur de compensation</i>
16	0,8	42	0,93
18	0,81	44	0,94
20	0,82	46	0,95
22	0,83	48	0,97
24	0,84	50	1
26	0,85	52	1,02
28	0,86	54	1,04
30	0,87	56	1,06
32	0,88	58	1,08
34	0,89	60	1,1
36	0,9	62	1,12
38	0,91	64	1,14
40	0,92	65	1,15

ASHRAE HVAC 2008 «Buckley et Seel»(1988) recommande de réduire les pertes de charge de 15 a 20 % lorsque les unités à infrarouge sont utilisées.

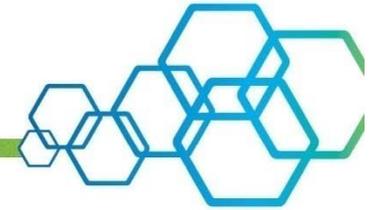
# Réduction de capacité Radiant vs Aérotherme



Pour une nouvelle installation avec une charge de chauffage de 1 000 MBH & hauteur de montage à 26 pieds

Mode de chauffage		
Facteur de compensation	0,85	-
Efficacité thermique	-	84 %
Capacité nominale installée	850 MBH (1000 MBH x 0,85)	1190 MBH (1000 MBH ÷ 0,84)

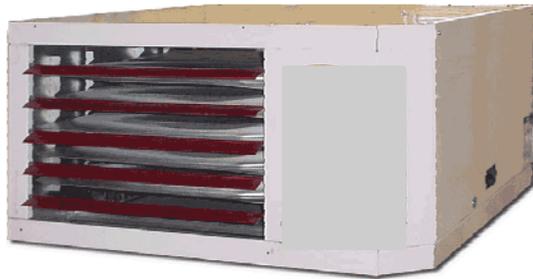
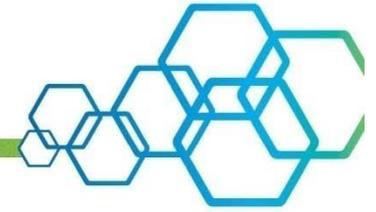
# Remplacement d'aérotherme par du radiant



		
Type d'aérotherme	Efficacité thermique	% de réduction de capacité*
Haute efficacité	84 %	29 %
Conventionnel	62 %	48 %

\* Assumant que les appareils existants étaient de capacité appropriée

# En résumé

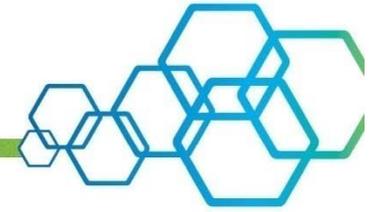


Un système à air forcé chauffe l'espace à partir du haut vers le bas, faisant de la zone occupée le dernier endroit chauffé et le plus difficile à chauffer.

À l'inverse, le chauffage radiant infrarouge chauffe à partir du plancher en montant, ainsi la zone occupée est satisfaite en premier.



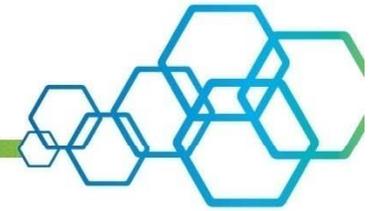
# Applications courantes



- Hangars d'avions
- Entrepôts
- Quais de chargement
- Gymnases
- Ateliers automobiles
- Casernes d'incendies
- Lave-auto
- Manufactures
- Serres

- Tennis intérieurs
- Pratique de golf extérieur
- Piscines
- Ateliers d'usinage
- Garages
- Bâtiments de ferme
- Arénas
- ...etc.

# Applications

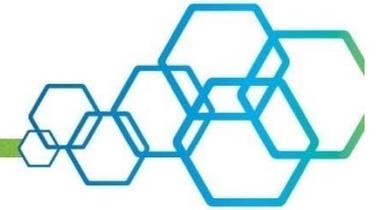


ec

# Suite



# Résumé

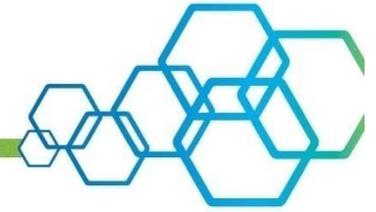


- La chaleur est transmise rapidement au niveau du plancher
- L'air est uniquement chauffé dans la zone occupée
- L'air de l'espace supérieur inoccupé n'est pas surchauffé inutilement et peu ou pas stratifié
- Moins de perte de chaleur par le toit et les murs extérieurs
- Abaissement possible de la température ambiante tout en conservant le niveau de confort désiré
- Zones occupées satisfaites en premier
- Les appareils fonctionnent moins longtemps
- Pas de brassage d'air = économies d'électricité
- Facteur de compensation = capacité installée moindre
- Appareils de moindre capacité et fonctionnant moins de temps

Économies réalisables de  
30 % à 50 % et plus

# Avantages

---



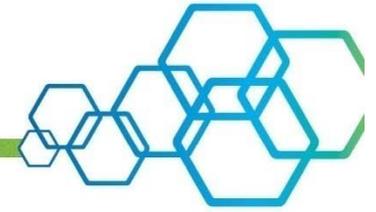
## → Économies d'installation et d'entretien

- Appareils préassemblés en usine (certains modèles)
- Pas de filtres
- Pas de ventilateurs
- Pas de lubrification
- Pour certaines installations, pas de conduit à fumée

## → Efficace, propre et silencieux

- Chauffe immédiatement et sans délai
- Pas de ventilateur bruyant qui brasse air, saletés et poussières

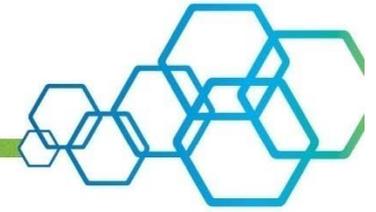
# Économies



## Des cas concrets au Québec:

- Une moyenne de 40 % d'économie d'énergie pour une vingtaine de cas de remplacement d'aérothermes
- Des économies qui dépassent les prédictions

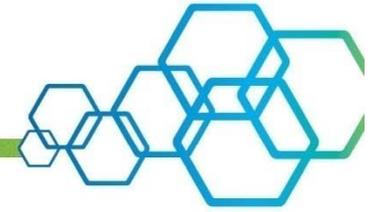
# Économies



## Des cas concrets au Québec:

Type de bâtiment	usine
Année d'installation :	2001
Unités remplacées :	aérothermes gaz
Économies réalisées :	53 %

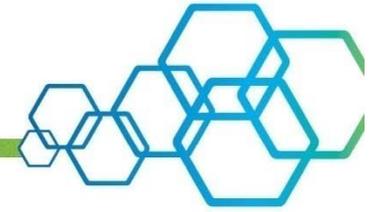
# Économies



## Des cas concrets au Québec :

Type de bâtiment :	2 hangars avions
Années d'installation :	2000-2001
Unités remplacées :	systèmes gaz
Économies réalisées :	30 % et 45 %

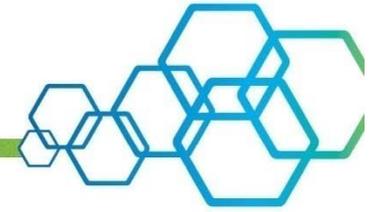
# Économies



## Des cas concrets au Québec :

Type de bâtiment :	manufacture
Années d'installation :	2002-2003
Unités remplacées :	aérothermes vapeur (chaudière gaz)
Économies prédites :	42 %
Économies réalisées :	55 %

# Économies

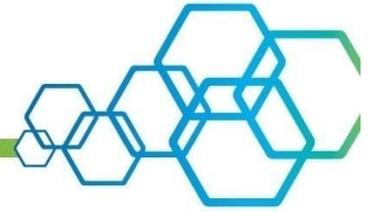


## Des cas concrets au Québec :

Type de bâtiment :	atelier d'usinage
Année d'installation :	2001
Unités remplacées :	aérothermes vapeur (chaudière gaz)
Économies prédites :	28 %
Économies réalisées :	74 %

# « Bon design »

---



**Merci de votre attention !**

**Questions ?**