

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Les Toitures et la conservation de l'énergie
Elmahdy, A. H.; Paroli, R. M.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

[Actes de] Regard sur la science du bâtiment 2009/10 : Efficacité énergétique dans les bâtiments, 2009-01-01

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

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=c2c849c6-50f5-43af-8105-234424e01c78>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=c2c849c6-50f5-43af-8105-234424e01c78>

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.

CNRC-NRC

*Institut de
recherche en
construction*

Les toitures et la conservation de l'énergie

Ralph M. Paroli et Hakim Elmahdy



Conseil national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

Canada 

Aperçu

- Introduction
- Principes des toitures durables
- Exemples de toits :
 - Toitures-jardins
 - Toits réfléchissants
 - Toits photovoltaïques
- Résumé

Vers des toitures durables

- Comité du CIB W083 / RILEM 166-MRS sur les matériaux et les systèmes de toitures
- Publication du CIB, n° 271, 2001



New Publication

CIB W083 / RILEM 166-MRS Joint Committee on Roofing Materials and Systems

Towards Sustainable Roofing

CIB Publication 271

Qu'est-ce qu'une toiture durable ?

«... une toiture conçue, construite, entretenue, réhabilitée et détruite dans le plus grand respect de l'utilisation des ressources naturelles et de la préservation de l'environnement, durant toute sa vie utile »



*Atelier sur la durabilité des toitures à faible pente,
Oak Ridge National Laboratory, 1996*

Toitures, énergie, durabilité

- Les immeubles consomment 30 % d'énergie et sont responsables de 27 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) au Canada
- Les immeubles déplacent les espaces verts naturels
- Dans une grande ville typique, on a :
 - 20 % de couvert forestier ou naturel
 - 30 à 35 % de toits



→ *L'industrie de la couverture peut contribuer de façon considérable au développement durable*

Les îlots de chaleur urbains

- La ville reste plus chaude (environ 2 ou 3 °C) que ses abords
- Manque de végétation et d'humidité du sol (refroidissement par évaporation, ou évapotranspiration)
- Lumière du soleil absorbée par les routes et les aires de stationnement
- Les effets du stockage de chaleur ont tendance à tenir la température de l'air un peu plus élevée sur les régions suburbaines



Les principes d'une couverture durable

Principaux domaines d'amélioration

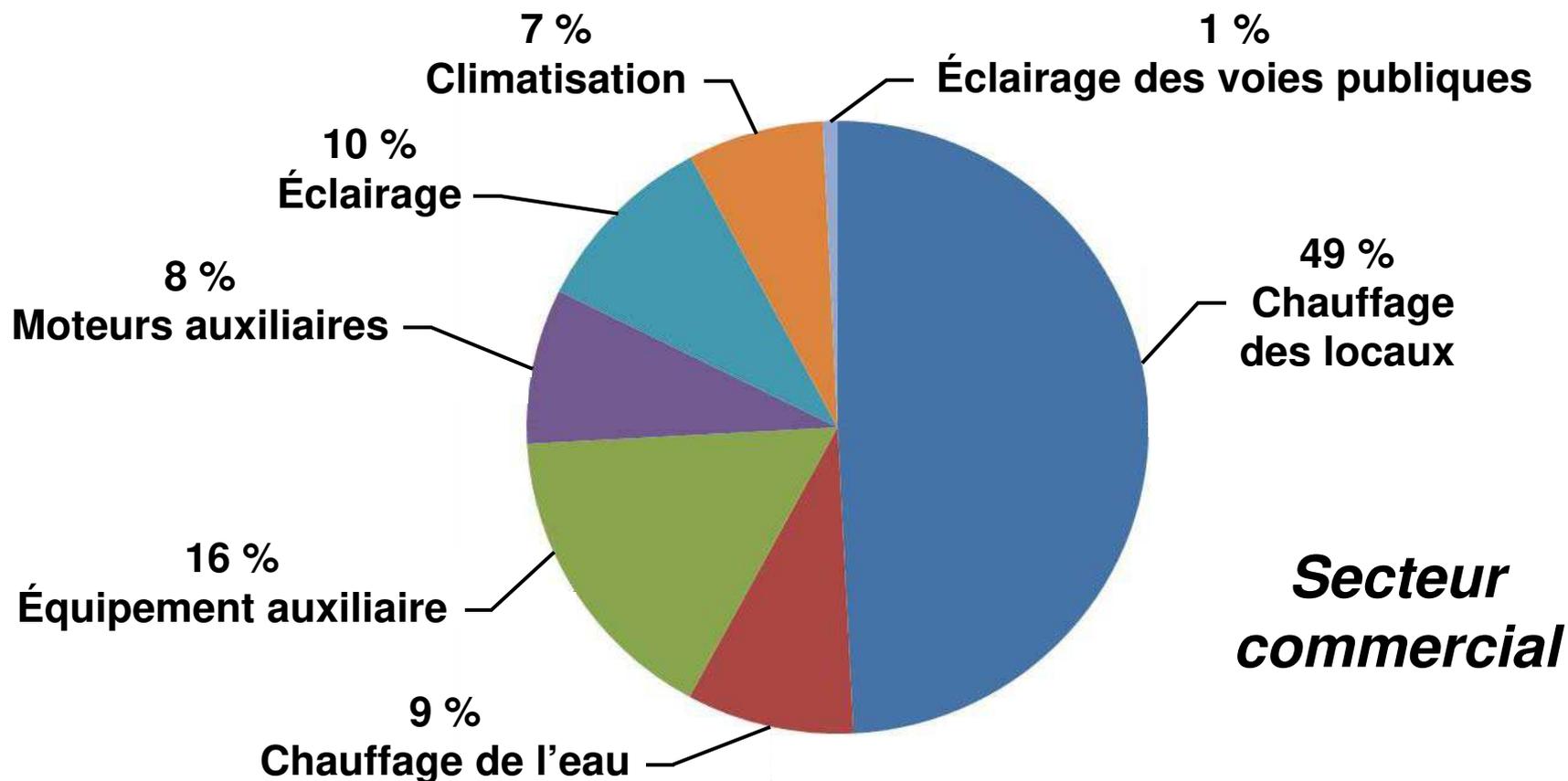
1. Tenir au minimum la charge sur l'environnement
- 2. Conserver l'énergie**
3. Prolonger la vie du toit



Principe essentiel 8

Optimiser la performance thermique réelle, compte tenu du fait que l'isolation thermique peut réduire considérablement les coûts de chauffage ou de rafraîchissement pendant la vie utile d'un bâtiment

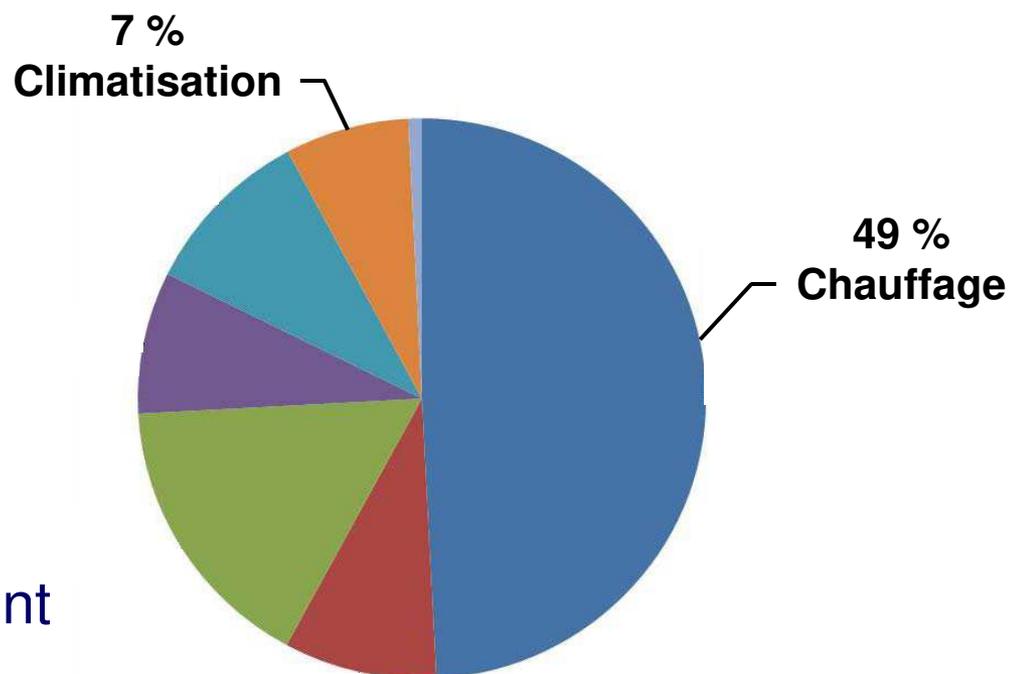
Consommation d'énergie secondaire par utilisation finale – Canada 2006



Principe essentiel 8

Optimiser la performance thermique réelle, compte tenu du fait que l'isolation thermique peut réduire considérablement les coûts de chauffage ou de rafraîchissement pendant la vie utile d'un bâtiment.

- Durant la vie d'un bâtiment, de grandes quantités de combustible sont consacrées au chauffage et à la climatisation
- Une grande partie s'échappe par le toit, et en toute logique il importe de diminuer ces pertes autant que possible
- Le potentiel d'économie d'énergie dans les bâtiments, grâce à l'amélioration du rendement du toit, est considérable



Isolant thermique

- L'isolant thermique diminue les frais de chauffage et de climatisation
 - Spécifier le type et la quantité qui conviennent
 - Tenir les ponts thermiques au minimum
 - Diminuer les fuites d'air
- Protéger l'isolant thermique
 - Le tenir au sec en toutes circonstances
 - Utiliser des panneaux de recouvrement

Protéger l'isolant contre les dommages durant la livraison



Couvrir l'isolant à la fin de la journée de travail pour qu'il reste sec

Principe essentiel 6

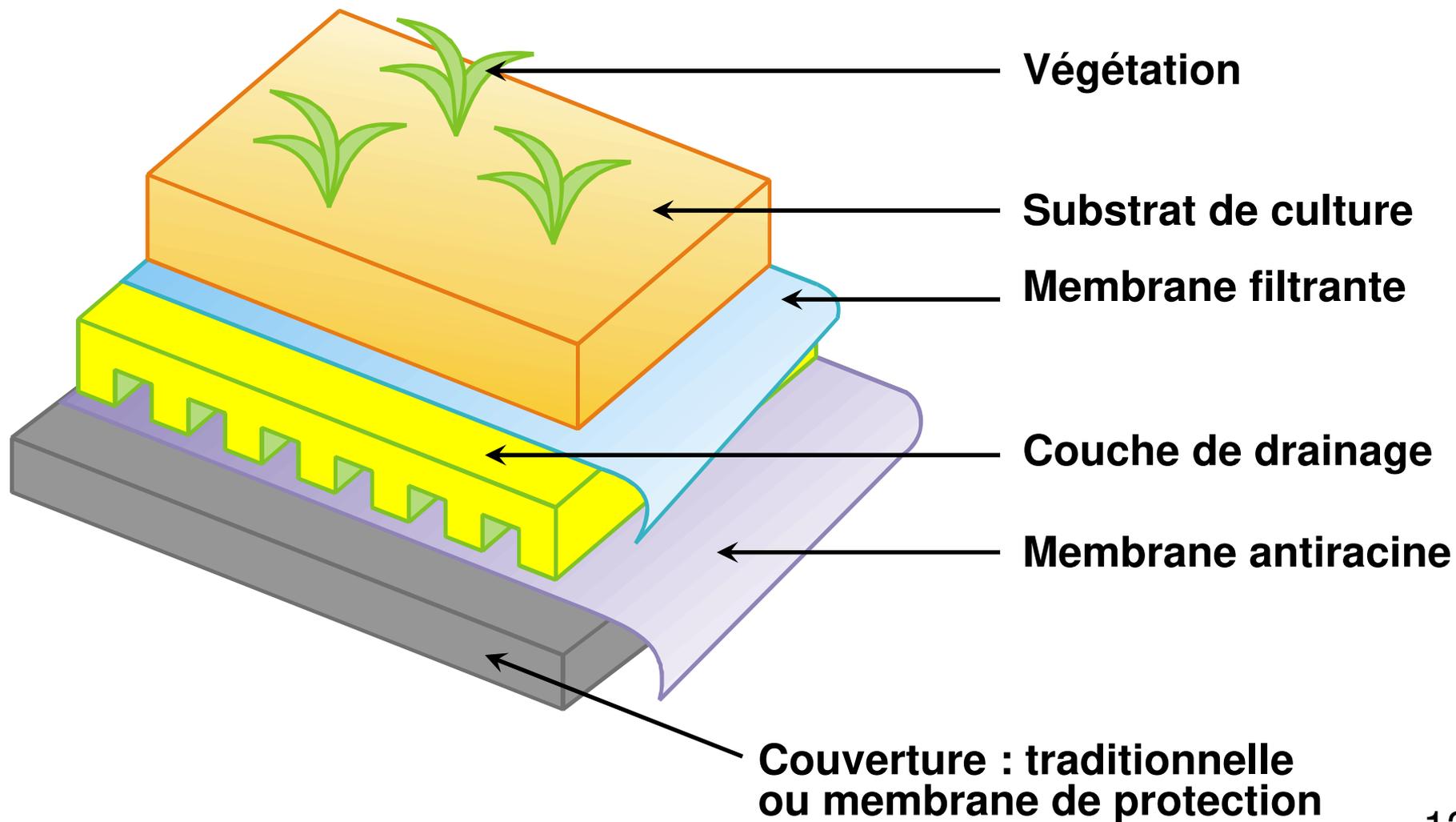
Promouvoir la mise en oeuvre de « toits verts » végétalisés, en particulier dans les centres-villes.

- Encourager les toitures-jardins dans les villes (lorsque la situation s'y prête)
 - Diminuent la demande d'énergie
 - Atténuent l'effet des îlots de chaleur urbains
 - Diminuent l'écoulement des eaux pluviales
 - Améliorent la qualité de l'air
 - Remplacent les espaces verts déplacés
 - Renforcent la biodiversité
 - Créent des espaces récréatifs

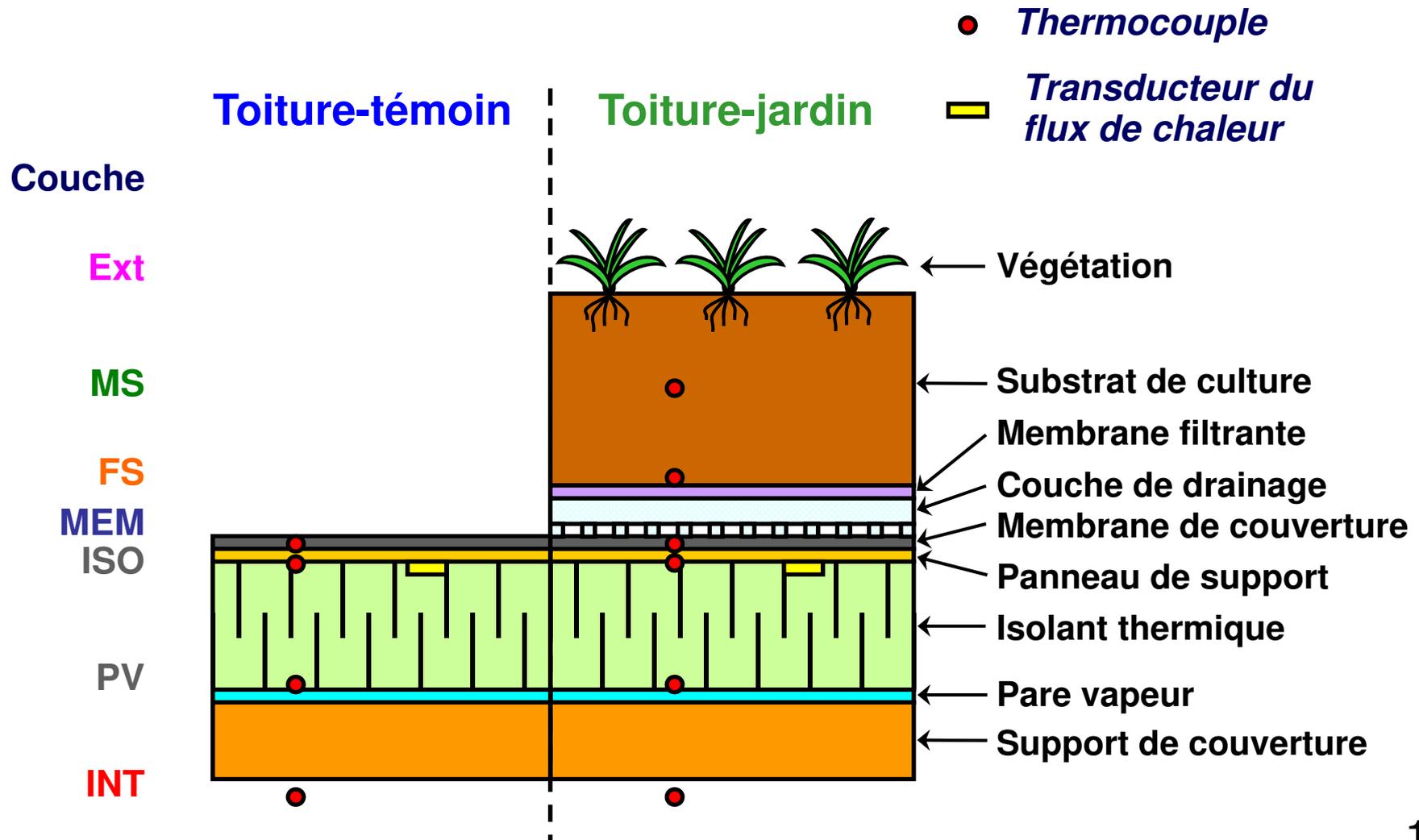


TJ sur la mairie de Toronto

Principaux éléments (TJ)



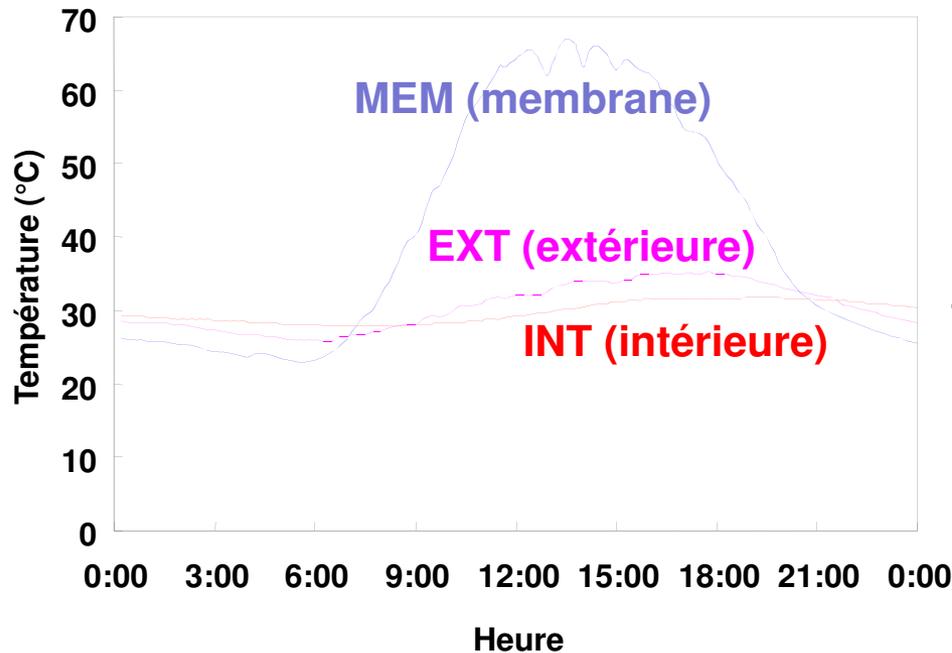
Principaux éléments et emplacement des capteurs (TJ)



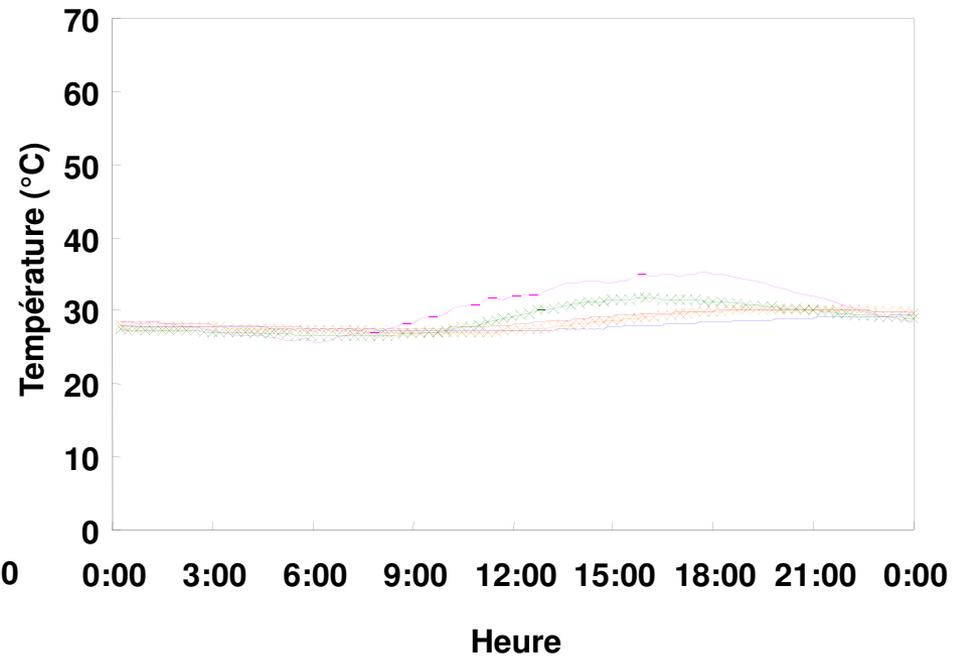
Données de terrain : profil de température d'une TJ

Journée d'été ensoleillée typique

Toiture de référence



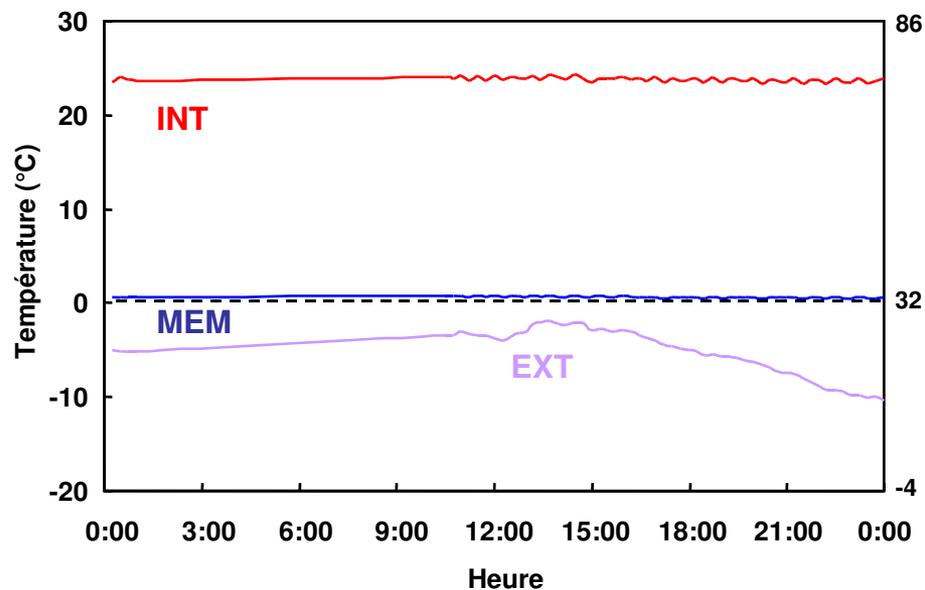
Toiture-jardin



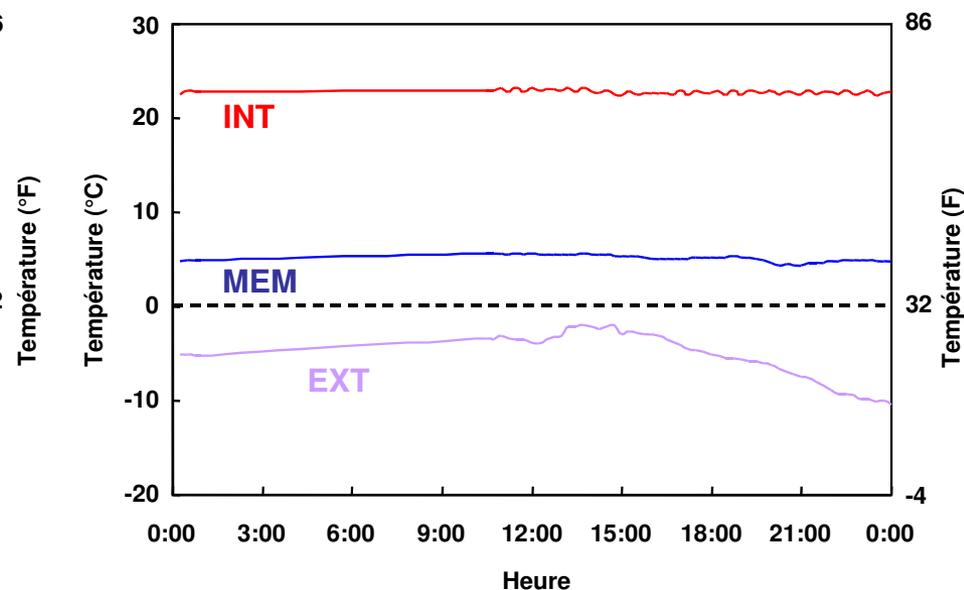
Données de terrain : profil de température

Journée d'hiver typique, avec couverture de neige

Toiture témoin

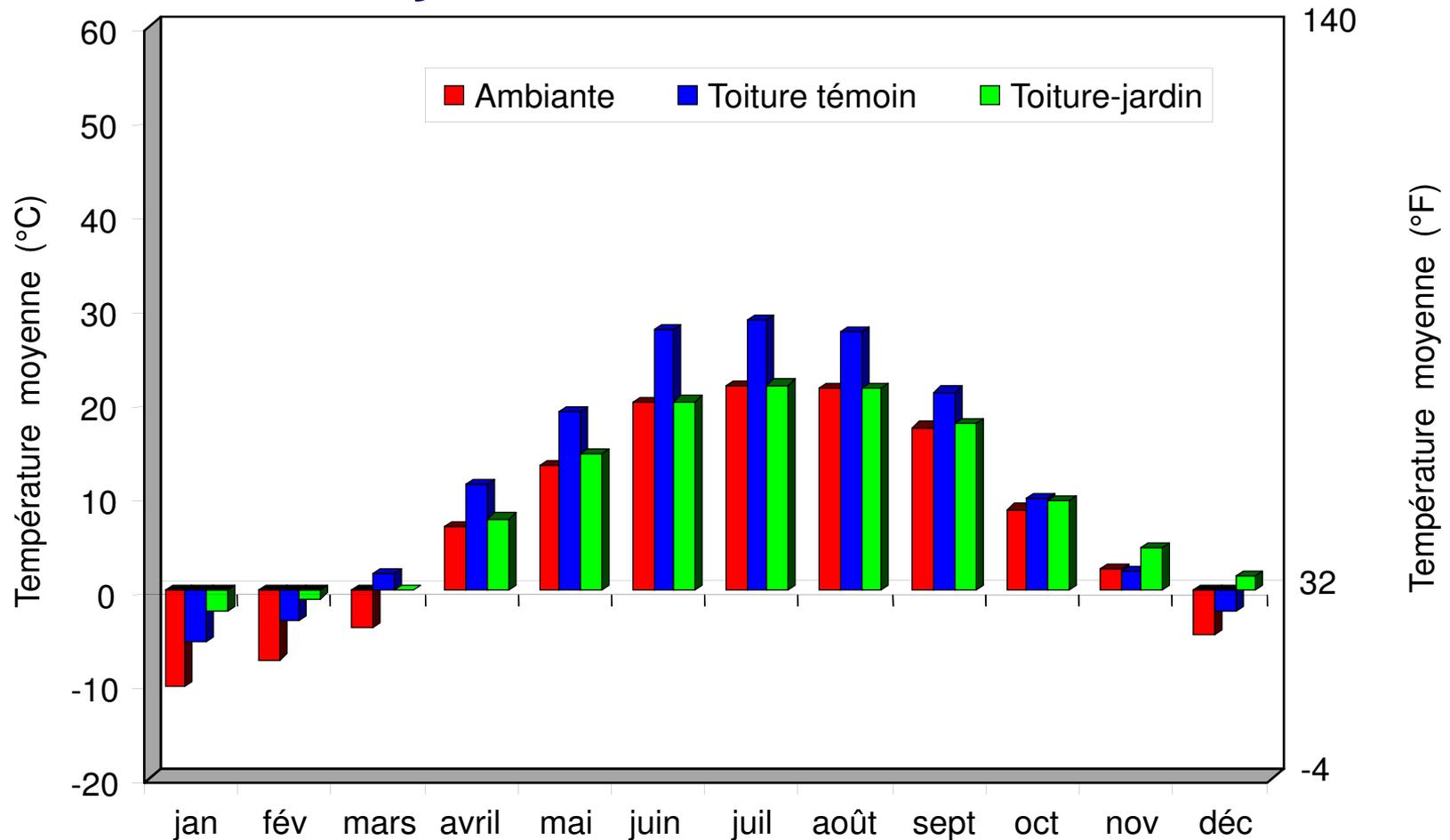


Toiture-jardin



Données de terrain : température moyenne de la membrane

Moyenne de 5 ans de données



Principe essentiel 9

Garder l'isolant au sec afin d'assurer la performance thermique et la durabilité du toit

- Les propriétés thermiques et mécaniques de la plupart des types d'isolant se détériorent lorsqu'ils restent mouillés longtemps
- Tenir l'isolant sec pendant la livraison, le stockage sur le chantier, la pose, et durant toute la vie utile du toit
- Le risque de croissance de moisissures sur l'isolant doit être évité pour de nombreuses raisons

Tobiasson, W., et Ricard, J., .Le gain d'humidité et ses conséquences sur le rendement thermique des isolants de couverture les plus courants, Travaux de la 5^e conférence sur la technologie de la couverture, NRCA, 1979.

Principe essentiel 10

Utiliser de la main-d'œuvre, des matériaux et des services locaux, là où cela est pratique, pour réduire le transport

- Utiliser la main-d'œuvre, des matériaux et les services disponibles sur place si possible pour conserver l'énergie et réduire les coûts
 - de transport
 - d'emballage
- Autres avantages
 - Connaissance de l'environnement local
 - Disponibilité pour l'entretien à long terme de la couverture
 - Soutien de l'économie locale



La main-d'œuvre locale connaît l'environnement et les méthodes de travail de la région

Principe essentiel 11

Savoir que l'énergie grise représente une mesure utile pour la comparaison des diverses formes de construction

- Amélioration du rendement environnemental, par la diminution de l'énergie consommée en production
- Le calcul de l'énergie grise permet de comparer l'intensité énergétique de divers produits et systèmes
- Tient compte des avantages et inconvénients de l'utilisation de sources d'énergie renouvelables ou non renouvelables
- Il faut identifier la période d'analyse, par ex., le cycle entier de vie ou une phase spécifique du cycle
- **Les renseignements exacts et fiables peuvent être difficiles à obtenir dans le cas de certains matériaux**

Mesure de l'éco-efficacité dans l'entreprise, Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie, Canada, 1997.

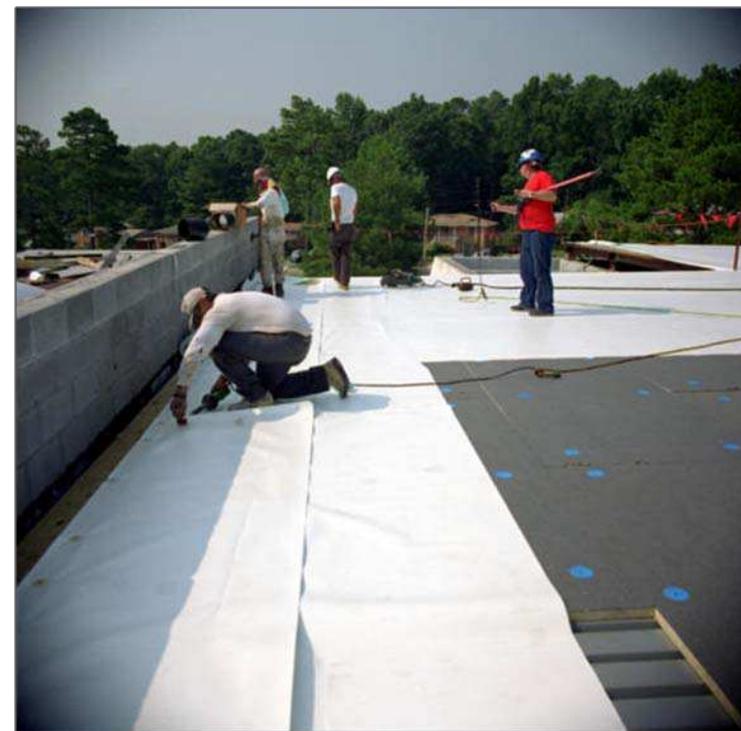
Principe essentiel 12

Considérer la couleur et la texture de la surface du toit en fonction du climat, ainsi que leur effet sur la performance énergétique et sur le toit

- Effet des **gains de chaleur solaire** sur les bâtiments :
 - **Toits c. murs**
- **L'absorption élevée du rayonnement** fait introduire davantage de chaleur dans le bâtiment (**s'il** est mal isolé):
 - **La consommation et les coûts de l'énergie augmentent**
- Les effets de la surface, de la couleur et de la texture de la couverture sur le rendement énergétique dépendent de **la situation et de l'orientation géographique**

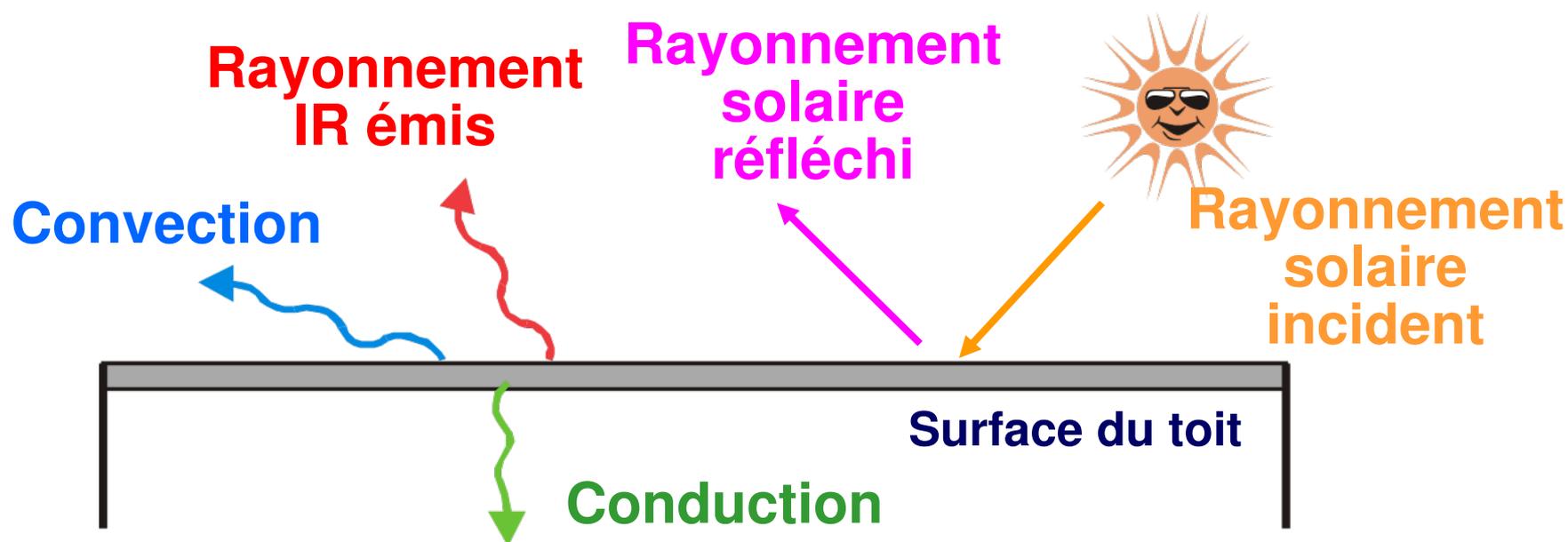
Couleur et texture

- Les surfaces de toit sombres favorisent les **îlots de chaleur urbains**
- Le gain de chaleur solaire par les toits conduit à des **coûts de climatisation élevés**
- La **couleur et la texture** de la surface des toits affectent le rendement énergétique
 - **Réflectance solaire**
 - **Émittance infrarouge**
- Situation et orientation spécifiques



Pose d'une membrane de couverture réfléchissante

Toitures réfléchissantes (froides)

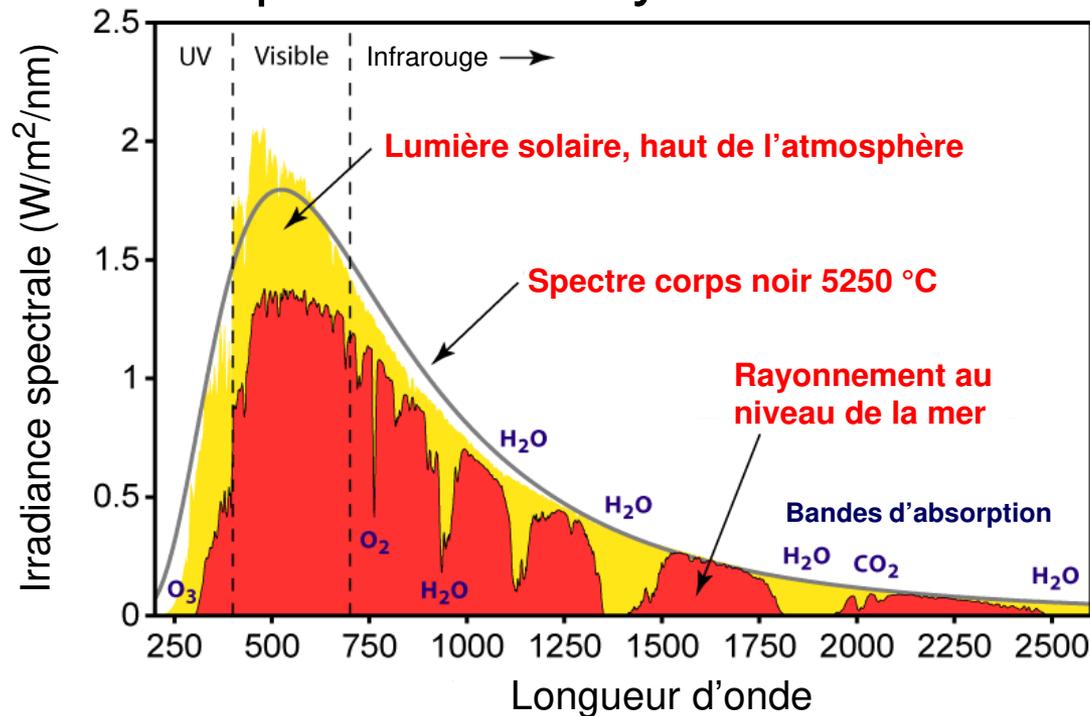


Pour garder une toiture fraîche en été, la surface doit avoir :

- une grande **réflectance solaire** (réflectivité ou albédo)
- une grande **émittance infrarouge** (émissivité)

Réflectance solaire

Spectre des rayons solaires



5 % des ultraviolets (300 – 400 nm) – causent les coups de soleil

43 % sont visibles (400 – 700 nm)

52 % proches des infrarouges (700 – 2500 nm) – sont ressentis comme de la chaleur

95 % de la lumière solaire nous parvient comme visible ou proche des infrarouges

Toitures réfléchissantes



- La **réflectance solaire** n'est pas la seule propriété
- Il faut une **émittance infrarouge élevée** pour permettre au toit de renvoyer la chaleur par rayonnement réémis
- L'aluminium ne réémet pas le rayonnement, de sorte qu'il reste plus chaud la nuit qu'un toit blanc
- L'aluminium, par conséquent n'a pas un aussi bon rendement qu'un matériau blanc ayant **la même réflectance solaire**

Vieillesse des toitures réfléchissantes

- Perte de certaines propriétés (la réflectivité, par ex.)
- Modification de la texture
- Peut affecter le rendement global



Toiture neuve



Toiture vieillie

Essai de réflectivité d'une zone nettoyée



Seattle, essai de réflectivité



Seattle, essai de réflectivité



Zone lavée sous pression



Exemple d'essai de réflectivité

| Toit non nettoyé | Toit nettoyé (sous pression) | Toit nettoyé (balai-brosse et détergent) |
|------------------|------------------------------|--|
| 0,701 | 0,765 | 0,802 |

- Conditions au moment du relevé de la mesure
 - Lieu: Las Vegas, NV
 - Type de couverture: oléfine thermoplastique blanche
 - Âge du toit : 48 mois
 - Température: 53 °C
 - Humidité : 3 %

Enduits réfléchissants dans les climats froids?

Dans les climats froids, la saison de chauffage domine:

- Risque de pénalité économique durant la saison de chauffage
- Mais la **pénalité subie en hiver** peut être faible, parce que :
 - En hiver, l'inclinaison du soleil est faible, par conséquent la réflectivité et l'absorption n'ont pas autant d'importance
 - Les journées sont courtes, moins d'énergie frappe donc le toit
 - La neige recouvre le toit
 - Dans le nord, un toit reçoit 3 à 5 fois plus de soleil par jour en été qu'en hiver

Résultats annuels moyens calculés pour certains états des États-Unis (LBNL)

| État | Économie sur l'énergie de climatisation kWh/m ² CRA | Pénalité sur l'énergie de chauffage kWh/m ² /yr CRA Therm/m ² /yr CRA | Économie sur les coûts de l'énergie \$/m ² /yr CRA |
|------|---|---|--|
| NV | 6,86 | 2,16 0,0737 | 0,570 |
| MN | 4,17 | 4,02 0,1370 | 0,136 |
| IL | 4,22 | 2,93 0,0994 | 0,217 |
| NH | 5,35 | 3,55 0,1210 | 0,482 |

Réductions moyennes calculées des émissions pour certains états des États-Unis (LBNL)

| État | Réductions de CO ₂ kg/m ² STC | Réductions de NO _x g/m ² STC | Réductions de SO ₂ g/m ² STC | Réductions de Hg μg/m ² STC |
|------|--|---|---|---|
| NV | 3,64 | 6,37 | 4,74 | 71,80 |
| MN | 3,09 | 7,45 | 12,40 | 89,50 |
| IL | 2,97 | 5,48 | 19,60 | 89,90 |
| NH | 1,82 | 2,14 | 6,36 | 21,60 |

Résumé – toits réfléchissants

Avantages

- Conservent l'énergie
 - Réduisent la demande en énergie frigorifique
 - Atténuent les îlots de chaleur urbains
- Prolongent la vie utile
 - Réduisent les contraintes thermiques
 - Protègent contre les dommages dus aux ultraviolets

Inconvénients

- Perte de réflectivité
 - Toits neufs c. toits vieillis
- Questions relevant du climat
 - Besoins en chauffage c. besoins en climatisation
- Problèmes d'éblouissement et problèmes visuels
 - Ne conviennent pas sur la trajectoire des avions
 - Considération pour les voisins
 - Protection supplémentaire contre les ultraviolets pour les couvreurs

Les photovoltaïques et les toits



- **1876** W.G. Adams et R.E. Day découvrent qu'un matériau solide – le sélénium – produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière
- **1953** Gerald Pearson (Bell Lab) produit par hasard une photopile avec du silicium
- **Années 1980** 50 % des maisons, à Tahiti, utilisent l'énergie solaire
Des panneaux solaires recouvrent le toit d'un ensemble allemand d'habitations collectives
- **Années 1990** des cellules plus efficaces, moins coûteuses, sont mises au point

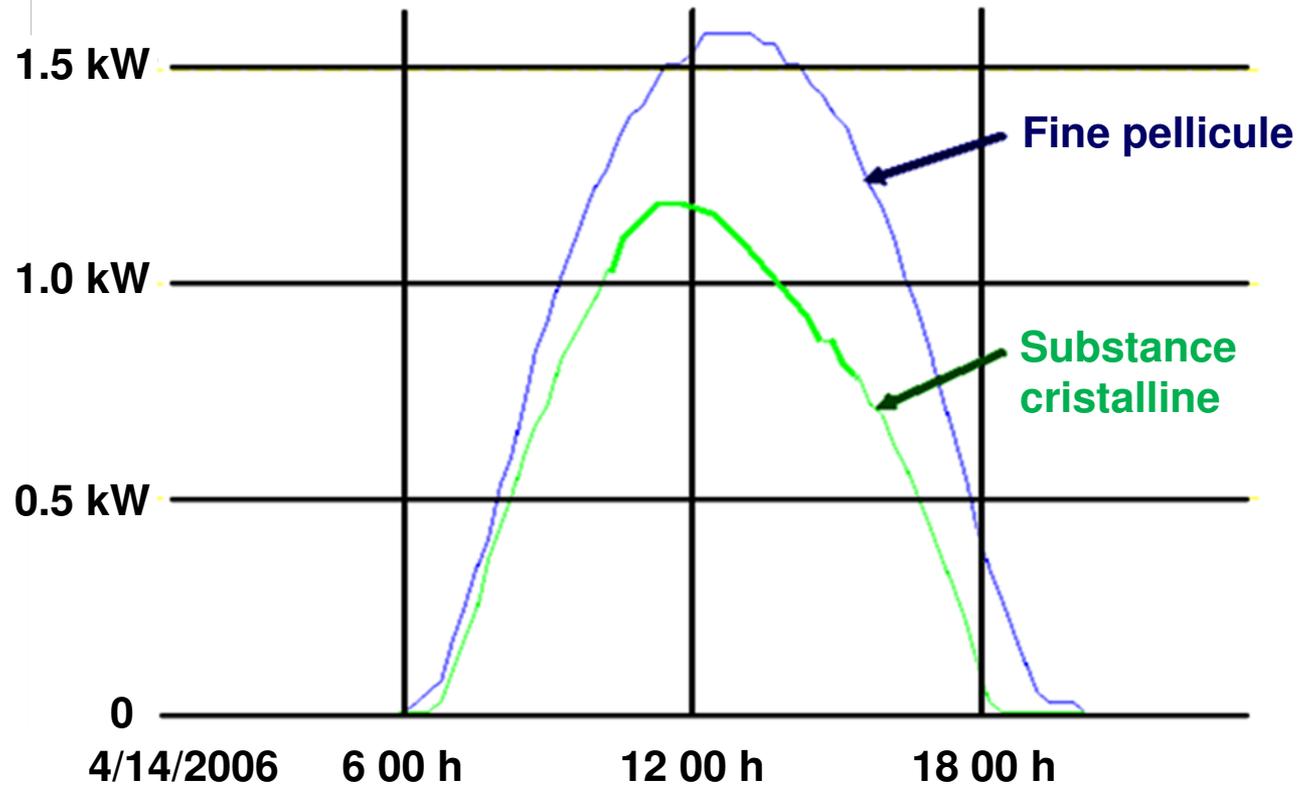
PV – intégration de l'énergie solaire et des couvertures ?

- Les toits plats représentent des milliards de pieds carrés d'immobilier non exploité
- Les toits sont considérés comme une **charge financière sans retour sur l'investissement**
- Les piles photovoltaïques intégrées au bâtiment (PVIB) peuvent transformer le toit en **élément d'actif produisant de l'énergie**
- Produire de l'énergie propre et sûre utilisée directement pour l'exploitation du bâtiment, moyennant un rendement de l'investissement intéressant

Comparaison du rendement énergétique des PVIB/surface

- L'industrie a commencé par la technologie des substances cristallines
- La technologie des fines pellicules amorphes se développe rapidement aussi

Graphique du rendement des fines pellicules et des substances cristallines d'égale valeur nominale dans des installations de PVIB sur le même toit chaud



Facturation nette de l'énergie solaire produite sur le toit

- Optimiser le rendement énergétique en suivant le soleil au cours de la journée avec des dispositifs de poursuite azimutale uniaxiale du soleil
- Par les journées ensoleillées, le système solaire produit plus d'électricité que nécessaire → le compteur d'électricité tourne en sens inverse, c.-à-d. qu'il prête de l'énergie au réseau public **(ou la stocke dans un ensemble de piles)**
- Lorsque le soleil descend, utiliser cette énergie selon les besoins



*Avec la permission de :
Sika-Sarnafil Inc.*

Les toits solaires – le type de toit est-il important?

- Une photopile peut durer 20 à 30 ans
- Le toit devrait durer aussi longtemps
- Possibilité de pose de solins et d'ouvrages de détails
- Résistance au feu
- Un toit froid réfléchissant est avantageux pour optimiser le rendement solaire. La chaleur diminue le rendement énergétique, surtout avec des panneaux de verre rigides

Réaliser l'efficacité énergétique des toits

- Il faut une bonne :
 - Conception – **ne pas faire de compromis sur l'isolation**
 - Construction
 - Maintenance
 - Réhabilitation
 - Démolition

- ON DOIT
 - Préserver l'environnement
 - Conserver l'énergie
 - Prolonger la vie utile



Remerciements

- Recherche sur la technologie de l'enveloppe du bâtiment (BETR)
- Association canadienne des entrepreneurs en couverture (ACEC)
- Carlisle SynTec
- Firestone Building Products
- Sika-Sarnafil
- SunPower Corp.
- Western States Roofing Contractors Association
- Nicole Normandin
- Don Hobbs
- Ana Delgado
- Bas Baskaran
- Karen Liu

CNRC-NRC

*Institut de
recherche en
construction*

Pour un
—environnement—
bâti de qualité

www.irc.cnrc-nrc.gc.ca



Conseil national
de recherches Canada

National Research
Council Canada

Canada