Protections solaires: une contribution à votre confort et à l'économie d'énergie

VEROZO

Table des matières

[3] **Préface**

[4] **0. Comment accroître votre confort et économiser de l'énergie?**

[6] **1. Protection solaire et confort thermique**

[7] Bilan énergétique d'un espace donné
[8] Conditionnement d'air dans les habitations
[8] Conditionnement d'air dans les immeubles de bureaux
[8] Critères de conception d'un confort estival
[9] L'énergie du soleil et l'effet de serre
[10] L'effet de serre et le trou dans la couche d'ozone
[11] Pour rappel: quelques éléments de physique du bâtiment
[12] La valeur U
[12] La valeur g
[13] La transmission lumineuse (TL ou τ_v)

[14] **2. Protection solaire et confort visuel**

[15] Combien de lumière nous faut-il?
[16] Lumière du jour et lumière artificielle
[16] Eclairage et confort d'été
[18] Simulation de lumière du jour

[20] **3. Typologie et caractéristiques des systèmes de protection solaire**

[21] Typologie des systèmes de protection solaire
[21] Caractérisation: données relatives au produit et données relatives au système
[22] Données relatives aux produits pour les vitrages
[22] Données relatives aux produits pour les toiles de protection solaire

[24] **4. Mesures et résultats**

[25] L'installation de laboratoire
[26] L'habitation inoccupée
[27] Mesures avec et sans protection solaire.
[28] Conclusions
[28] L'immeuble de bureaux CSTC-B
[28] L'installation de protections solaires extérieures
[29] Résultats des mesures
[30] L'effet selon le type de protection solaire
[31] L'effet d'ombrage
[31] Protections solaires et lumière naturelle
[32] Les autres mesures
[32] Effet des protections solaires sur la consommation énergétique du bâtiment

[33] **5. Conclusions**

[34] Glossaire de termes, unités et autres mots difficiles
[35] Notes

Réf. VF01a-0202-e | Editeur responsable: D. Dolmans, Dijkstraat 26, 9160 Lokeren
© Tous droits réservés – Reproduction autorisée moyennant indication de la source

Préface

L'attention particulière pour la réduction de la consommation d'énergie des bâtiments est un phénomène relativement récent, mais qui est maintenant d'actualité depuis un peu plus de vingt-cinq ans. C'est lors de la première crise pétrolière, en 1973, qu'on a commencé à se rendre compte de la nécessité de faire des économies d'énergie. Pendant les premières années, on s'est surtout penché sur l'isolation thermique et sur les chaudières. Ensuite, dans les années '80, une attention croissante a été portée à l'énergie solaire passive, le but étant de capter et d'utiliser un maximum de gains solaires – gratuits – pendant la saison de chauffe. La législation en vigueur en Wallonie en est un exemple.

Depuis une décennie environ, on a dû constater qu'il n'était pas suffisant de bien isoler et de faire rentrer les apports solaires pour réduire la consommation d'énergie. En effet, le confort thermique en été, le confort visuel (particulièrement par l'utilisation de plus en plus répandue d'écrans d'ordinateurs), une bonne qualité d'air et un degré de confort acoustique demandent autant d'attention, particulièrement si l'on souhaite allier ceci à une consommation d'énergie réduite pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage. La Réglementation Thermique (EPR ou Energie Prestatie Regelgeving), qui est en préparation dans la Région flamande et qui est déjà en application en France et en Hollande, s'attache à cette problématique.

Par conséquent, un des grands défis aujourd'hui est la maîtrise des apports d'énergie et de lumière solaires. Pour réaliser cet objectif dans la pratique journalière nous avons besoin, d'une part, d'acquérir une bonne compréhension de ce problème complexe et, d'autre part, de techniques du bâtiment de grande performance. Les systèmes pour la maîtrise de la chaleur et de la lumière du soleil en font certainement partie.

Plusieurs projets de recherche, dont le projet 'VLIET Surchauffe', ont eu pour but de mieux saisir les différents aspects liés au confort thermique et visuel et à la consommation d'énergie des bâtiments en conditions d'été. Ces études montrent très clairement que la maîtrise et l'utilisation optimale des apports d'énergie et de lumière solaire constituent un grand défi:

- pour les concepteurs, car cela implique qu'il faut tenir compte à la fois des aspects de physique du bâtiment et de confort, aussi bien que des aspects habituels d'architecture, de fonctionnalité et de coût
- pour les différents secteurs industriels, car cela implique qu'il leur faut élargir leur domaine de connaissance et d'intérêt, pour ne plus se positionner uniquement comme fournisseurs de matériel et de systèmes, mais aussi comme des conseillers en concepts
- pour la normalisation et la législation, car il faut développer des méthodes d'évaluation plus avancées.

Depuis quelques années déjà, VEROZO s'attache à approfondir de façon structurée la connaissance et la qualité du secteur de la protection solaire. Nous pensons qu'une telle approche est très utile et peut servir d'exemple pour plusieurs autres secteurs industriels qui se voient confrontés à des défis similaires.

Dr Ir. Peter Wouters
CSTC - chef de Département 'Physique du Bâtiment, Climat Intérieur et Equipements'
janvier 2002

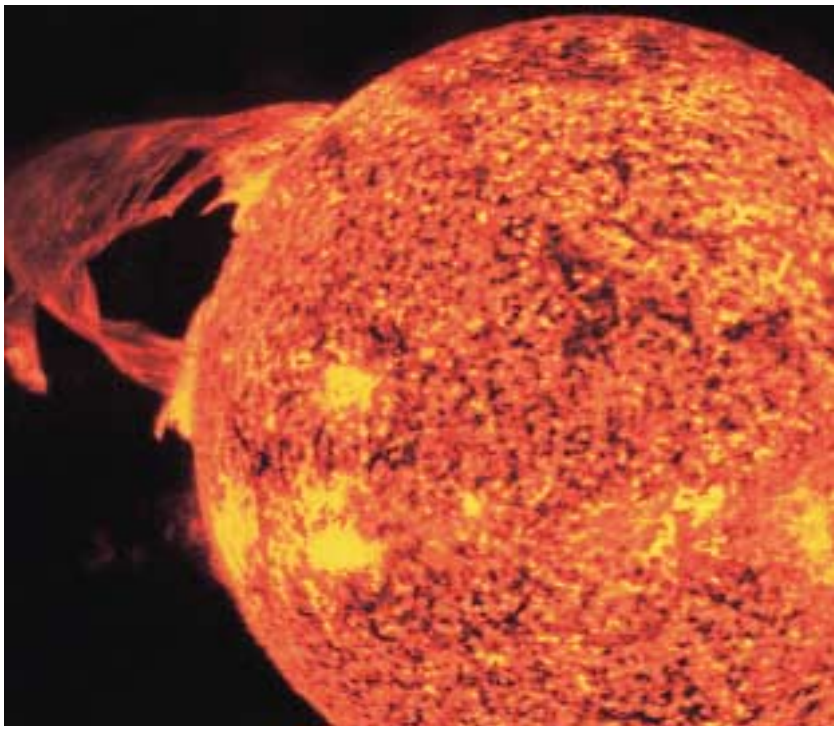
9 Comment accroître votre confort et économiser de l'énergie?

Une chose est évidente: bon nombre de bâtiments ne sont pas confortables en été. Dans les immeubles de bureaux, il en résulte notamment une diminution des prestations ou une consommation accrue d'énergie due au fonctionnement du conditionnement d'air. Et c'est là souvent un facteur de coût supplémentaire inutile. Un environnement approprié au niveau de l'habitat et du milieu de travail signifie disposer d'un bon confort thermique (suffisamment chaud l'hiver, pas trop chaud l'été), un bon confort visuel (pas trop de lumière, pas de réverbération, vue sur l'extérieur), assez d'air frais et sain, sans trop de bruit. Et tout cela sans consommer trop d'énergie. C'est là une mission difficile qui pose beaucoup d'exigence au projet architectural.

Une étude scientifique démontre clairement que les protections solaires sont efficaces et indispensables

La problématique du confort thermique a fait l'objet d'un projet 'VLIET'[1], qui a été réalisé de 1995 à 1997 et qui était intitulé 'Surchauffe des immeubles dans les conditions d'été'. Cette étude a été réalisée par le Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) département Physique du bâtiment et Climat intérieur, en collaboration avec l'Université Catholique de Louvain (UCL), l'Université de Liège (ULg) et la Hogeschool Wetenschap en Kunst (WenK St Lucas à Gand). Elle a bénéficié du soutien du ministre de l'Économie de la Région flamande. VEROZO, l'Union professionnelle belge des producteurs de volets et protections solaires, a été un des partenaires actifs de ce projet.

Les conclusions de cette étude détaillée sont tout aussi claires que fortes: pour éviter l'excès de chaleur pendant les mois d'été, utilisez judicieusement des protections solaires, réduisez les apports thermiques internes, faites usage de la masse thermique et assurez-vous d'une ventilation nocturne. Les causes du problème sont tout aussi évidentes: une très large utilisation de grandes surfaces de vitrage, trop d'apports thermiques internes, peu ou pas de ventilation et l'absence de protections solaires. Cette étude confirme l'expérience de l'industrie de la protection solaire qui voit souvent appliquer ses produits et solutions comme un emplâtre sur une jambe de bois, au lieu de les considérer comme un élément structurel d'un bâtiment et faisant partie des techniques spéciales. Une protection solaire bien installée contribue notablement à améliorer le climat à l'intérieur des bâtiments, d'une part en limitant la température intérieure et d'autre part en accroissant le confort visuel. En réduisant de manière importante la consommation d'énergie engendrée par les installations de climatisation, les protections solaires contribuent en outre à une utilisation plus rationnelle de l'énergie. D'un point de vue économique, il faut souligner, outre la réduction de la consommation d'énergie, les conditions de travail améliorées avec comme conséquence une productivité accrue.



Un projet d'étude similaire qui a été effectuée il y a quelques années par la Belgique dans le cadre de l'IEA (Agence Internationale de l'Énergie, voir www.iea.org) est arrivé à cette même conclusion évidente: si l'on utilise des protections solaires, on peut dans une maison individuelle obtenir un bon confort thermique sans surchauffe due à l'ensoleillement[2].

La présente brochure comporte notamment un résumé des éléments les plus essentiels des 400 pages de l'étude VLIET. Dans un premier chapitre, nous verrons comment le problème de la surchauffe est approché physiquement sur base du bilan énergétique de l'espace considéré. Nous indiquerons aussi comment analyser objectivement les plaintes et comment certains problèmes peuvent être évités dès le stade du projet d'un immeuble. Dans un deuxième chapitre, nous esquisserons l'interaction entre protections solaires et pénétration de la lumière du jour. Dans un troisième chapitre, nous examinerons la typologie et les caractéristiques des systèmes de protection solaire pour finalement, dans un quatrième chapitre, donner un aperçu des résultats des mesures effectuées dans le cadre du projet VLIET.

Notre objectif est de fournir des informations aux architectes, aux bureaux d'ingénieurs et autres professionnels de la construction et d'ainsi contribuer à une amélioration du climat intérieur par une utilisation judicieuse et dès le départ de protections solaires.

1 Protection solaire et confort thermique

La notion de confort des bâtiments comporte, d'après le CSTC, quatre aspects au minimum: le confort thermique (suffisamment chaud l'hiver, pas trop chaud l'été), le confort visuel (lumière suffisante, adaptée à l'activité), la ventilation (suffisamment d'air frais et sain) et l'acoustique (pas de nuisances sonores). Le projet VLIET s'est essentiellement concentré sur le confort thermique et visuel, et plus particulièrement sur le problème de la surchauffe des locaux due à l'ensoleillement en été.

Le problème de la surchauffe dans les habitations et les bureaux existe probablement depuis toujours. Toutefois, en raison de l'utilisation croissante de plus grandes surfaces vitrées, d'une isolation dont la qualité va en s'améliorant dans nos bâtiments actuels et de critères de confort plus élevés, le problème est devenu beaucoup plus perceptible et beaucoup plus sensible que précédemment. Au cours des années 1970, sous l'influence de la crise énergétique, on s'est soudainement mis à attacher beaucoup d'attention à l'isolation des bâtiments. Mais en améliorant l'isolation des bâtiments sans attention suffisante à une ventilation correcte et aux ponts thermiques, on a vu apparaître quantités de problèmes de condensation et de moisissures. L'étanchéité à l'air était souvent améliorée dans le but d'économiser de l'énergie, mais l'on oubliait souvent de porter une attention suffisante à la qualité de l'air. Le confort s'en trouvait donc compromis et le "sick building syndrome" devint un thème de débat.

On parle d'une surchauffe dans un bâtiment lorsque ses utilisateurs se plaignent du confort thermique pendant les périodes chaudes de l'été. La cause doit en être recherchée dans un concours d'éléments divergents:

- des apports élevés de chaleur solaire par l'utilisation de plus grandes superficies vitrées sans protection solaire adaptée
- des apports intérieurs de chaleur élevés dus à l'éclairage artificiel, aux appareils électriques et aux utilisateurs de l'immeuble
- une stratégie inadéquate au niveau de la ventilation
- une masse thermique insuffisante, c'est-à-dire des murs, toitures ou sols en matériaux qui ne sont pas assez lourds et pas assez isolants.

Bilan énergétique d'un espace donné La température dans un espace donné est généralement déterminée par le concours de différents flux énergétiques. Dans une situation estivale, les apports du soleil et les gains de chaleur intérieure dus à l'éclairage, à l'utilisation d'appareillages électriques et à la présence de personnes sont sources d'un apport énergétique. Parallèlement, l'énergie est évacuée par la ventilation spontanée naturelle par portes et fenêtres et par les déperditions de chaleur via les parois (ce que l'on appelle "l'enveloppe du bâtiment"). Si l'immeuble ne dispose pas d'un système de refroidissement mécanique, la température intérieure devient le point d'équilibre entre les apports de chaleur et les pertes de chaleur. Si l'immeuble est équipé d'un système de refroidissement mécanique, celui-ci fournit l'énergie requise pour atteindre une température intérieure donnée.

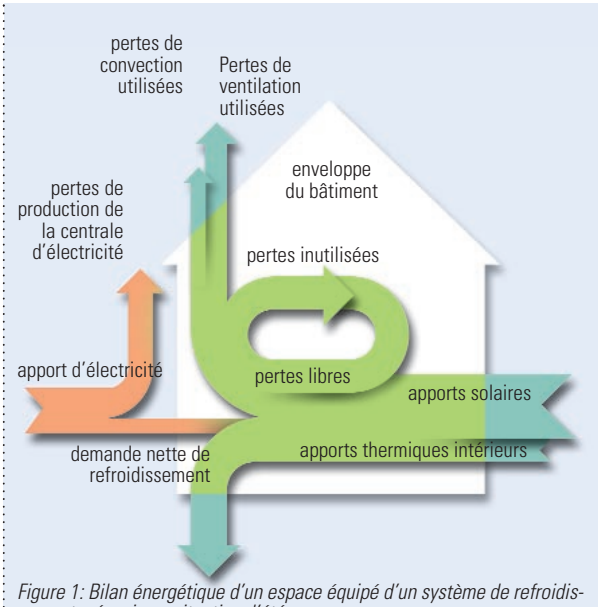


Figure 1: Bilan énergétique d'un espace équipé d'un système de refroidissement mécanique; situation d'été.

Sous nos climats, on peut éviter les systèmes de refroidissement mécaniques – communément appelés 'air conditionné' - à la condition que d'une part les apports de chaleur solaire et les gains intérieurs de chaleur soient limités et d'autre part que l'évacuation de la chaleur excédentaire par la ventilation soit optimale et soit utilisée de la manière la plus utile possible. Pour atteindre un confort d'été optimal, il convient dès lors de prêter attention à un certain nombre de mesures dès le stade du projet. Il s'agit en fait de quelques règles d'or qui reviennent à se servir de son bon sens.

- Limitation des apports de chaleur solaire par l'installation d'une **protection solaire** au niveau des fenêtres, par une orientation et une pente efficaces des vitrages et éventuellement par des sources extérieures d'ombrage telles que les arbres et par des éléments structurels du bâtiment
- Utilisation d'un éclairage et d'appareillages électriques à **faible consommation d'énergie**.
- Utilisation de la **masse thermique** du bâtiment pour obtenir un effet tampon efficace. À cet égard, l'on songe à des matériaux de pierre pour les sols et la plupart des parois. En cas d'utilisation de systèmes de constructions légères, par exemple la construction d'un bâtiment à structure en bois, la masse thermique des parois extérieures est généralement très faible. Si les systèmes de constructions légères sont combinés à des sols massifs et à des parois extérieures massives, on obtient une masse thermique globale plus élevée.

– Utilisation d'une **ventilation nocturne**. Par suite de la ventilation nocturne, la masse de l'immeuble est refroidie et, de ce fait, indirectement la température de l'air. Dans un bâtiment sans masse, l'air est en effet rapidement refroidi et ensuite à nouveau rapidement réchauffé. La ventilation nocturne permet d'évacuer la nuit la chaleur accumulée le jour.

Conditionnement d'air dans les habitations Jusqu'au début des années '90, on installait assez peu de systèmes de conditionnement d'air dans les habitations. Au cours de ces dernières années, cette situation a changé. On a vu apparaître sur le marché des groupes refroidisseurs mobiles bon marché destinés aux habitations, à un prix d'environ 1000 euro. En raison de problèmes croissants de surchauffe des locaux et d'exigences plus élevées au niveau du climat intérieur, il est probable que dans un proche avenir pareilles installations mobiles rencontreront un certain succès commercial. Des campagnes de promotion sont d'ailleurs régulièrement organisées par des entreprises individuelles ou par le secteur du conditionnement d'air qui n'hésitent pas à faire paraître dans la presse de grandes publicités.

Mais il ne faut pas prendre tout cela pour argent comptant. D'une part, il y a le coût d'utilisation d'un système de refroidissement et il est élevé: un petit appareil de 2 kW seulement, qui ne permet de refroidir qu'une partie de l'habitation et qui serait utilisé 60 jours par an pendant 12 heures par jour, entraîne un supplément de consommation de 1.440 kWh/an. Ceci représente, aux tarifs actuels, un supplément de coût d'environ 200 euro par an. Mais au niveau de l'approvisionnement en électricité, l'impact de ces appareils n'est pas non plus négligeable. Si dans un futur proche 10% seulement des ménages belges disposaient d'une telle installation mobile, cela représenterait une d'environ 800 MW. Et c'est là la capacité d'une centrale nucléaire.

C'est pourquoi il est important d'améliorer en premier lieu la qualité des habitations, ce qui permet d'éviter la surchauffe des locaux en été. En outre, il est utile d'informer ceux qui veulent construire ou rénover une maison, de même que les occupants d'une habitation. Il est évident qu'un système de refroidissement mécanique peut être justifié dans certaines situations spécifiques mais cela ne peut être considéré comme un équipement qui va de soi.

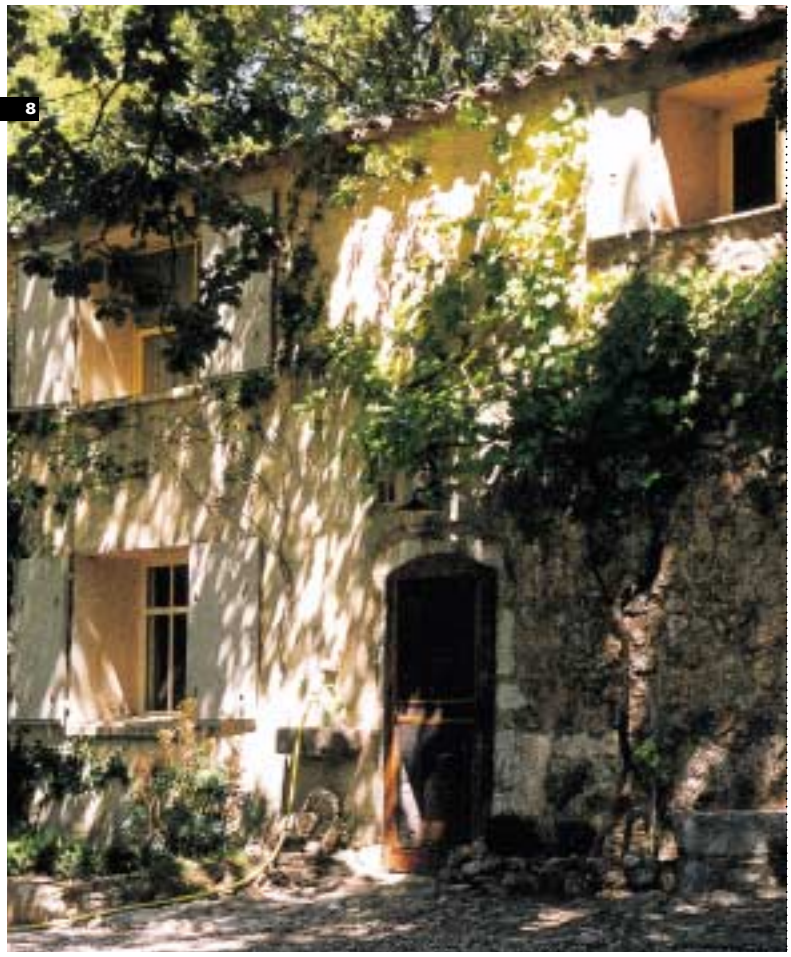


Figure 2: Le bon sens dans la construction

Conditionnement d'air dans les immeubles de bureaux En Belgique, un certain nombre de petits immeubles de bureaux doivent faire face à de sérieux problèmes de surchauffe des locaux. Il y a beaucoup de chances que, tôt au tard, on décidera d'y installer un système de refroidissement mécanique. L'impact de cette installation sur la consommation d'énergie ne doit pas être sous-estimé. Il est donc plus qu'important pour les immeubles de bureaux que l'on attache une attention particulière à cette problématique dès le stade du projet de construction. Heureusement, les bureaux d'ingénieurs et d'architectes tiennent, de nos jours, de plus en plus compte de cet élément qu'est la surchauffe en été. Les maîtres d'ouvrage doivent être informés de manière efficace et recevoir des avis précis à propos des problèmes que peut poser la surchauffe et comment il est possible d'y remédier. C'est pourquoi les bureaux d'architectes et d'ingénieurs modernes, bien équipés, se servent dès la phase de l'avant-projet de calculs de simulation innovants.

Critères de conception d'un confort estival La notion de "confort" est naturellement relative et liée à l'individu. En hiver, on considère qu'une température intérieure de 25°C est trop élevée tandis que pendant les mois d'été, des températures bien supérieures sont encore acceptables. On se sent relativement bien entre 23°C et 26°C.

Afin de pouvoir évaluer l'influence des différentes mesures au niveau du projet pour un bâtiment spécifique, et ce à l'aide de calculs de simulation, il faut que l'on dispose de critères relatifs au confort estival. Ces critères constituent une manière objective de chiffrer le confort thermique estival qui est généralement subjectif. Un critère qui commence à s'imposer est fondé sur la détermination du nombre **pondéré d'heures de dépassement de la température (PHD)**. Cette notion, utilisée initialement par le Nederlandse Rijksgebouwendienst, a des partisans de plus en plus nombreux. Des enquêtes menées dans des immeubles de bureaux ont montré qu'un dépassement de la température de 25°C pendant 100 heures de bureau par an, ainsi qu'un dépassement de 28°C n'excédant pas 20 heures par année, ne donnent pas, en général, lieu à des réclamations au niveau du confort. C'est pourquoi ces deux valeurs ont été utilisées pour limiter la notion de "confort" vers le haut. On calcule le nombre de PHD, pour lequel a été prévu un maximum de 150 heures PHD au-delà de 25°C. Naturellement, il y a des conditions climatiques extrêmes dans lesquelles un refroidissement actif est plus que souhaitable, mais on peut constater en général qu'une période limitée de désagrément est considérée comme admissible par un groupe important d'utilisateurs.[3]

Eclipse solaire et pertes d'énergie

Le soleil est une étoile qui est relativement proche de la terre, "à peine" à 150 millions de km. C'est une gigantesque boule de gaz d'une température de 6.000°C en surface et de 15.000.000°C dans son noyau. Le soleil compte peut-être 5 milliards d'années, a un diamètre de plus de 100 fois celui de la terre et une masse de 330.000 fois celle de la terre.

Vous souvenez-vous de l'éclipse du 11 août 1999? Elle avait soulevé un grand intérêt dans nos régions, où elle a duré au total 2h 41 minutes, dont à peine 2 minutes d'éclipse totale.

Si vous étiez à l'extérieur pour l'observer, vous devez vous rappeler que non seulement il faisait sombre, mais qu'une fraîcheur soudaine se faisait sentir durant les quelques minutes de l'éclipse totale. On a pu se rendre compte avec quelle nonchalance nous considérons évidente l'énergie et la chaleur qui nous viennent du soleil.

Un bureau d'ingénieurs attaché à l'IMEC de Leuven a calculé que cette éclipse, sur le territoire belge, a provoqué une perte d'énergie correspondant à 2 millions de tonnes de pétrole, soit plus de 4% de la consommation annuelle de la Belgique! C'est dire la quantité colossale d'énergie que le soleil met à notre disposition. La quantité totale d'énergie solaire qui pénètre dans notre pays est égale à 26 fois notre consommation d'énergie, qui provient pour 99% de combustibles d'origine fossile, dont les réserves sont, évidemment, épuisables. On peut faire autrement: au Brésil, 80% de l'énergie électrique est produite par la houille blanche (hydroélectricité), tandis qu'en Islande plus de 90% de l'énergie proviennent des sources d'eau chaude.

En juin '99, le Gouvernement flamand s'est fixé comme objectif de promouvoir la production d'énergie renouvelable et de la porter à 3% du total de notre consommation – cela représente un peu moins que ce que l'éclipse du 11 août 1999 nous aura « coûté » en énergie solaire.

Source : De Standaard/Het Nieuwsblad 06.08.1999, BusinessWeek 07.05.2001.
Pour en savoir plus à propos du soleil : www.eosweb.com et www.nationalgeographic.com

L'énergie du soleil et l'effet de serre

En dehors de l'atmosphère[4], la densité du rayonnement solaire sur une superficie perpendiculaire est une constante appelée la 'constante solaire', égale à 1353 W/m². Dans l'atmosphère, une partie en est absorbée, une autre partie est réfléchie par toutes sortes de molécules (vapeur de gaz carbonique, oxygène…) pour devenir un rayonnement diffus. Par conséquent, sur la surface du globe, le rayonnement solaire est inférieur à la constante solaire mais il peut malgré tout atteindre des valeurs jusqu'à 1000 W/m², par exemple un jour d'été au sud de l'Espagne et sur une surface horizontale. Comme l'indique le graphique n° 3, dans nos régions, on peut également s'attendre, sur la partie verticale d'une façade orientée au sud, à des valeurs allant jusqu'à 700 W/m². Ce graphique est basé sur les données climatologiques. On constate, naturellement, que la quantité d'énergie varie de 200 à 700 W selon l'ensoleillement. Ce type de données est connu, pratiquement pour chaque implantation sur le globe terrestre et pour chaque orientation, de sorte que l'on peut savoir avec assez de précision de quelle quantité d'énergie solaire il faut tenir compte lorsque l'on conçoit un immeuble.

Que devient l'énergie solaire lorsqu'elle atteint une fenêtre? Il faut savoir que tout corps ou objet émet de la chaleur dont la longueur d'onde dépendra de sa température. Le rayonnement du soleil provient d'un corps céleste dont la température de surface s'élève à 6.000 °C et il a, dans l'ensemble, une longueur d'onde courte. Un corps ou un objet sur terre, d'une température avoisinant les 20°C, dégage une énergie d'une plus grande longueur d'onde. Or, le verre a une transparence sélective en fonction de la longueur d'onde du rayonnement. Un rayonnement de courte longueur d'onde, tel que celui du soleil, passe très facilement, tandis qu'un rayonnement d'une plus grande longueur d'onde est retenu. Aussi, le rayonnement solaire peut-il passer au travers des vitrages pour être ensuite absorbé par les parois intérieures, le sol et toutes sortes d'objets. Cette chaleur ne peut plus s'évacuer vers l'extérieur, elle s'accumule et entraîne une plus forte augmentation de la température à l'intérieur qu'à l'extérieur. C'est, à petite échelle, ce que l'on appelle 'l'effet de serre', en anglais 'greenhouse effect'.

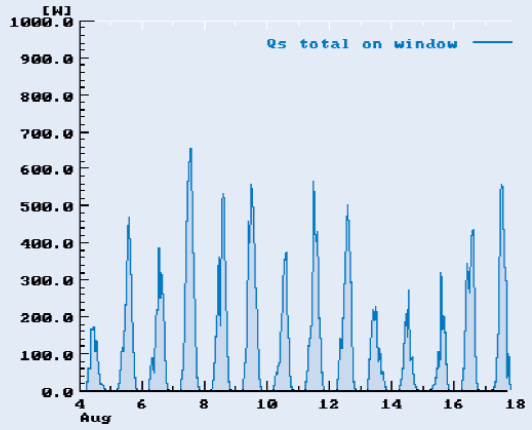


Figure 3: Quantité d'énergie solaire sur une fenêtre verticale en W/m², climat Uccle, orientation sud, début août.

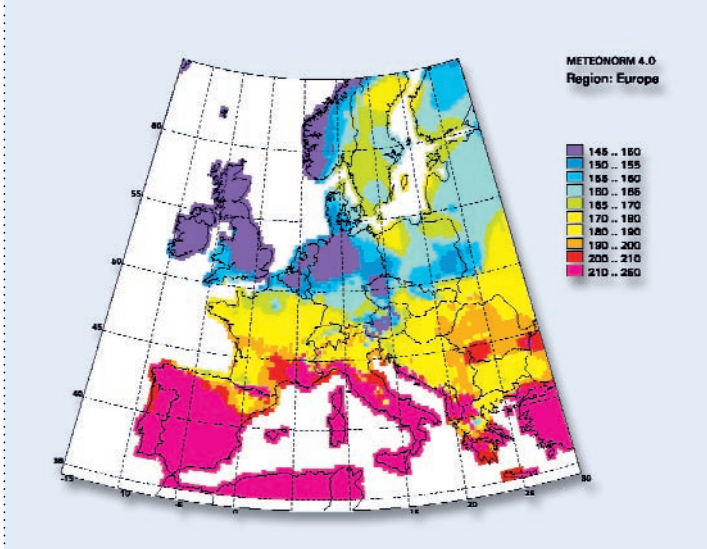


Figure 5:
Quantité d'énergie globale[5] due au rayonnement du soleil en juillet, en kWh/m²

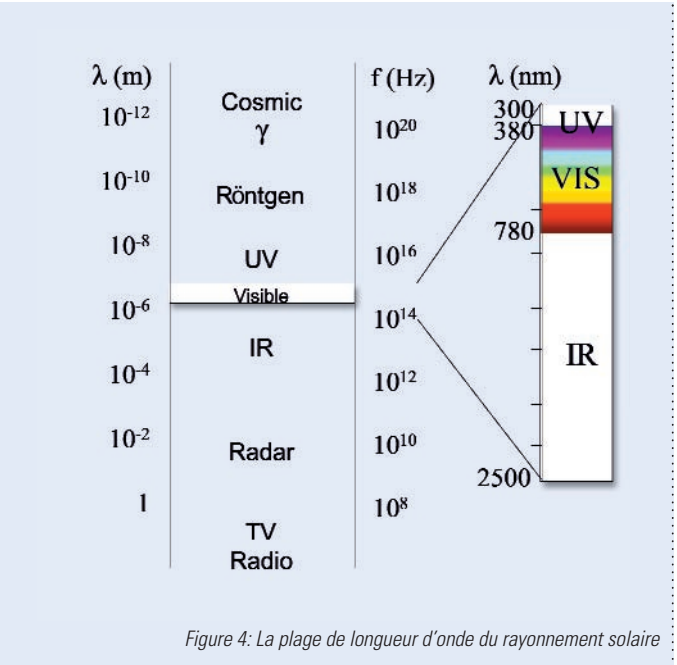


Figure 4: La plage de longueur d'onde du rayonnement solaire

Reprenons le graphique n° 3 qui montre la quantité d'énergie que nous donne le soleil, sur base des données d'Uccle et pour un exemple arbitraire. La quantité d'énergie y est exprimée en W/m², sur une superficie verticale orientée au sud (par exemple une fenêtre) entre les 4 et 18 août. On voit clairement la différence entre le jour et la nuit, ainsi qu'entre les jours ensoleillés et les jours nuageux, pour constater que la quantité d'énergie varie de 200 à 700 W/m² au milieu de la journée.

Le graphique n° 4 montre la longueur d'onde du rayonnement solaire. Le rayonnement solaire se compose de la lumière visible (55% du total, d'une longueur d'onde de 380 à 780 nm), du rayonnement infrarouge (42%, d'une longueur d'onde de 780-2500 nm) et du rayonnement UV (3%, d'une longueur d'onde inférieure à 380 nm).

Le tableau n° 5 donne une idée de la quantité d'énergie totale émise par le soleil au cours d'un mois d'été en Europe.

L'effet de serre et le trou dans la couche d'ozone

Ces deux thèmes qui concernent l'environnement et la santé de l'atmosphère ont souvent fait la une des journaux depuis plusieurs années. Mais ce sont deux sujets différents et il n'est peut-être pas inutile de préciser la différence.

L'effet de serre[6] est le phénomène de l'augmentation progressive de la température moyenne sur terre par suite de l'accumulation dans l'atmosphère de gaz dits 'à effet de serre'. Par gaz à effet de serre, on entend un groupe de gaz qui ont la capacité d'absorber la chaleur émise par la terre, et dont le gaz carbonique (CO_2) est le plus important, mais il est loin d'être le seul. Le méthane en fait également partie et le cheptel bovin est responsable d'une grande quantité de gaz de ce genre. Entendons-nous: la couche de gaz à effet de serre dans l'atmosphère a une importance vitale pour la vie sur terre. Sans cette couverture chauffante dans l'atmosphère, la température sur terre serait inférieure de 10 à 20°C et aucune vie ne serait possible. Le problème, c'est que la quantité de gaz de combustion, surtout du CO_2, qui aboutit dans l'atmosphère à la suite de la combustion de combustibles fossiles, est en très forte augmentation, suite à l'activité économique, au niveau de vie et au prix relativement peu élevé du pétrole – et l'abandon de l'énergie nucléaire n'arrange rien. Le développement économique se traduit, entre autres, par une forte augmentation de la consommation d'électricité et par l'accroissement du nombre d'automobiles et de camions. Un exemple: le conditionnement d'air dans les véhicules est aujourd'hui presque un équipement standard. Les USA représentent 4% de la population mondiale mais 25% de l'émission de gaz à effet de serre. En 1990, à eux seuls ils en produisaient 1.400 millions de tonnes, pour passer à 1.535 millions de tonnes en 2000, alors que l'on prévoit pour 2010 plus de 1.800 millions de tonnes. On estime qu'ExxonMobil, la plus grande

multinationale pétrolière au monde, intervient pour environ 170 millions de tonnes de CO_2 par an. Aussi, la couche de gaz à effet de serre protectrice devient-elle bien trop épaisse et trop de chaleur finit par s'accumuler dans l'atmosphère. De ce fait, la chaleur émise par la terre ne peut plus s'échapper aussi facilement et la température augmente lentement. Les conférences successives sur l'environnement traitent toujours par priorité de ce sujet et le Protocole de Kyoto a bénéficié d'une importante publicité depuis que le Président Bush a déclaré que les États-Unis n'y souscriront pas. Mais il n'est pas inutile de rappeler que la Belgique, qui a courageusement soutenu le protocole de Kyoto par la parole, n'a encore pris aucune mesure pour atteindre l'objectif ambitieux qui a été fixé à Kyoto, puis révisé en baisse à Marrakech.

Alors que les gaz à effet de serre constituent ainsi une sorte de filtre pour la chaleur générée par la terre, la couche d'ozone est, elle, un autre filtre. L'ozone est un gaz instable composé de 3 atomes d'oxygène (O_3). Ce gaz a le pouvoir d'absorber les rayonnements ultraviolets nocifs venus du soleil. Les chlorofluorocarbones, communément appelés CFC, attaquent la couche d'ozone par le biais d'une réaction qui transforme l'ozone en oxygène (O_2) avec formation de monoxyde de chlore. L'oxygène, lui, ne peut arrêter les rayons UV, qui, par conséquent, passent et arrivent sur terre. On sait que notamment les mélanomes sont provoqués par une exposition trop importante aux rayons UV-B. Ce n'est pas non plus sans conséquences graves pour les plantes et les récoltes. C'est pourquoi le Protocole de Montréal, par lequel un grand nombre de gouvernements se sont engagés à réduire de 50% la production de CFC pour l'an 1999, a été conclu en 1987. Mais trois ans plus tard, en 1990, sous la pression de nouvelles informations alarmantes, il a été décidé de supprimer totalement les CFC pour l'an 2000. Dans l'intervalle, les CFC ont totalement disparu des systèmes de réfrigération des frigos et de conditionnement d'air, ainsi que des aérosols et de nombreuses applications chimiques.

Pour rappel: quelques éléments de physique du bâtiment[7] Depuis le 15e siècle, l'homme utilise le verre comme séparation transparente entre l'extérieur et l'intérieur. Le verre est un excellent matériau qui permet à la lumière du jour de pénétrer dans les locaux et d'offrir en même temps une protection contre la pluie et le vent. Mais l'on exige des fenêtres quantité d'autres fonctions qui ne sont pas évidentes et qui sont parfois même contradictoires: transparence, étanchéité à l'air et à l'eau, isolation thermique et acoustique, sécurité, pas de condensation, etc…

Le maintien du contact visuel avec l'extérieur et l'isolation thermique sont en soi déjà contradictoires: plus grande est la superficie vitrée, plus grande sera la déperdition thermique la nuit.

Les principales caractéristiques des vitrages dans le cadre de cette brochure sont le coefficient de transmission thermique, c'est-à-dire la valeur U (ancien-

Matériau	valeur U (W/m²K)	g ou FS	τ_v ou TL
Simple verre clair 4 mm 6 mm	5.8 5.7	0.85 0.83	0.90 0.88
Double vitrage clair séparé par une lame d'air 4-12-4mm	2.9	0.76	0.81
Double vitrage clair faible e-coating et lame d'air 6-12-6	1.8	0.60	0.74
Double vitrage clair avec faible e-coating et remplissage d'argon 6-15-6	1.3	0.61	0.74
Triple vitrage clair avec lame d'air 4-6-4-6-4mm	2.3	0.67	0.73

Tableau 1: Valeurs U moyennes de quelques types de vitrages. Source: Vensters, Bouwfysisch bekeken (1), CSTC, hiver 1995.

Partie du bâtiment	Valeur U maximale (W/m² K)
Murs extérieurs	0,6
Toiture	0,4
Fenêtres	2,5
Sols sur pleine terre	1,0
Sols sur vide sanitaire	0,4

Tableau 2: Exigences de la Réglementation Thermique EPR en matière de valeurs U pour les bâtiments en Belgique.

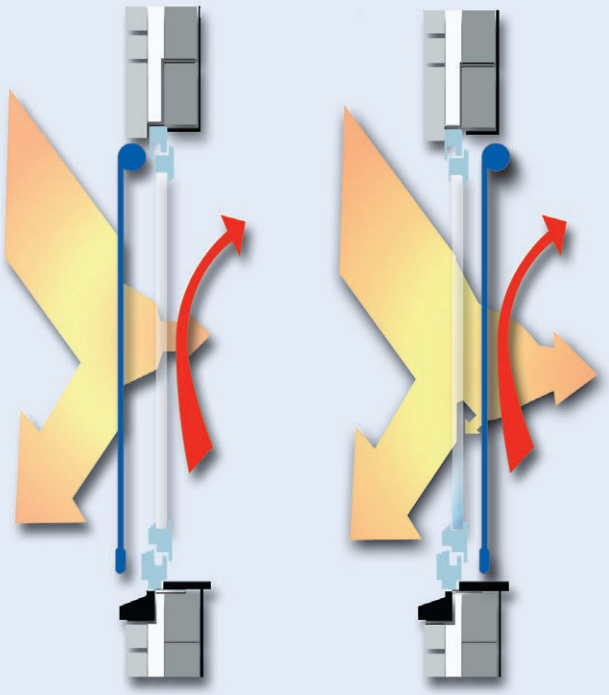


Fig. 6: Présentation schématique d'une protection solaire à l'extérieur et à l'intérieur. Source: Choisir une Protection Solaire, *réalisation Architecture et Climat, UCL, édité par le Ministère de la Région wallonne, 1997.*

nement appelée valeur k), le facteur solaire c'est-à-dire la valeur g (anciennement FS ou ZTA), et le coefficient de transmission lumineuse τ_v, anciennement TL ou LTA. Pour une bonne compréhension du rôle des protections solaires, précisons ces notions.

■ La valeur U

La valeur U ou k est le coefficient de transmission thermique d'un matériau, exprimé en W/m²K. Au niveau européen il a été décidé récemment d'adopter le symbole U et d'abandonner la valeur k. Comme il ressort du tableau 1, différents types de vitrages présentent des valeurs U fortement divergentes. Dans la construction résidentielle, le matériau standard est toujours le double vitrage ordinaire (U= 2.9 W/m²K), mais il n'est pas inutile de rappeler que jusqu'il y a trente ans, le vitrage simple était très courant. Ce sont les crises pétrolières des années '70 qui ont provoqué une forte progression de l'utilisation du double vitrage dans nos régions. Il y a toutefois encore des pays (Japon, Etats-Unis) où, en ce début du 21e siècle, l'utilisation de simples vitrages d'une valeur U de 5 ou 6 est tout à fait normale.

Le tableau 1 montre, pour quelques types de vitrages, outre les valeurs U, aussi les valeurs g et les τ_v, notions dont il sera question plus loin.

À titre de comparaison, nous donnons en tableau 2 quelques valeurs U qui serviront de base pour la future Réglementation Thermique flamande (EPR), qui ne manquera pas d'être adoptée par les autres régions. En effet, le législateur flamand vient d' élaborer une réglementation relative aux prestations énergétiques globales des bâtiments, qui obligera le secteur à prévoir dans ses projets des matériaux et techniques permettant de réduire la consommation d'énergie. Il s'est avéré que la législation en vigueur en matière d'isolation n'est pas suffisamment respectée. Ces nouvelles règles porteront tant sur l'isolation que sur toutes les autres techniques qui, dans un immeuble à usage habitation ou de bureau, ont une influence sur la consommation d'énergie, tels le confort d'été, et par conséquent les protections solaires, de même que les systèmes de refroidissement, le chauffage, la ventilation, l'éclairage et l'eau chaude sanitaire

■ La valeur g, paramètre définissant l'efficacité énergétique d'une protection solaire

Lorsque le rayonnement solaire est intercepté par une fenêtre, une partie de l'énergie incidente sera directement réfléchie, une autre partie sera transmise vers l'intérieur, alors qu'une troisième partie sera absorbée par le verre. Cette dernière fraction est convertie en chaleur, pour ensuite être émise, une partie vers l'intérieur, une autre partie vers l'extérieur. Le pourcentage total d'énergie qui arrive à pénétrer par la fenêtre est appelé le facteur solaire absolu ou la valeur g (en néerlandais ZTA)[8]. C'est la valeur qui sert à définir la capacité d'arrêter le soleil.

Lorsque le vitrage est protégé par une protection solaire, la partie du rayonnement solaire, que le vitrage et la protection solaire laissent passer, diminuera nettement, alors que la partie réfléchie par les deux sera, elle, en augmentation. Une partie du rayonnement solaire est absorbée par le matériau de la protection solaire, pour être ensuite émise en partie vers l'extérieur, et partiellement vers la couche d'air entre la protection solaire et le vitrage.

Le facteur solaire FS ou valeur g, est donc mesuré pour l'ensemble verre plus protection solaire. Les fabricants de systèmes de protection solaire font dès lors souvent état des prestations de leurs produits en combinaison avec plusieurs types de vitrages: simple, double, clair et absorbant.

Récemment, le FS a été remplacé au niveau des normes européennes par la valeur g (selon DIN 67507 et EN 410). On parle aussi du facteur d'ombrage ou de captation solaire, ZTR en néerlandais[9]: c'est le rapport entre l'apport d'énergie au travers de la fenêtre protégée et l'apport d'énergie au travers d'un vitrage clair simple. Ce dernier a une valeur standard de 0.85. Cette unité risque de tomber en désuétude étant donné qu'elle n'a qu'une valeur relative. La valeur g d'un matériau est déterminée par une formule qui part des mesures de la transmission énergétique (τ) et de la réflexion énergétique (ρ) dans un spectrophotomètre. L'absorption (α) est déterminée par le solde car, par définition, $\tau + \rho + \alpha = 100$.

La transmission lumineuse (TL ou τ_v)

Nos considérations, jusqu'à présent, ont essentiellement porté sur les apports thermiques du soleil. Toutefois le soleil ne se limite pas à nous envoyer de la chaleur, il est source de lumière. En Europe, l'éclairement extérieur peut varier de 10.000 à 100.000 lux en fonction de la clarté du ciel, de la saison et des conditions climatiques. Or, à l'intérieur d'un immeuble de bureaux, il est souhaitable d'avoir un éclairement lumineux d'environ 500 lux. Il existe d'ailleurs, dans la plupart des pays, des lois ou règlements qui fixent une valeur minimale, dans l'intérêt de la sécurité et de la santé au travail. Il est donc important de prendre des mesures, non seulement relatives aux aspects de chaleur, donc le confort thermique, mais également à l'élément luminosité et donc au confort visuel. C'est un domaine de grande complexité: le travail sur écran est soumis à une directive européenne (n° 90/270 du 29 mai 1990) qui fixe les règles destinées à éviter l'éblouissement et les reflets nuisibles lors de l'utilisation d'écrans.

Une première notion est la TL ou facteur absolu de transmission lumineuse (τ_v). C'est le pendant du facteur solaire (valeur g). Le TL ou τ_v est la fraction du rayonnement lumineux, dans la partie visible du spectre solaire, entre 380 et 780nm, qui pénètre par le vitrage. Par conséquent, le vitrage qui nous sépare du monde extérieur aura au moins un double rôle: il est important, pour assurer un bon confort thermique, que le verre ne laisse pas passer trop de chaleur, donc que le vitrage a une faible valeur g. Simultanément, il faut un bon contact visuel avec le monde extérieur, ce pourquoi il faut laisser pénétrer la lumière du jour en suffisance: dès lors un τ_v élevé est souhaitable. La solution à cette contradiction réside souvent dans l'installation d'une protection solaire mobile qui offre la possibilité de répondre simultanément à ces deux exigences souvent opposées. C'est pourquoi il est intéressant de s'arrêter brièvement à l'influence du soleil au niveau de la pénétration de la lumière du jour.

2 Protection solaire et confort visuel

La lumière naturelle a une importance cruciale pour le bien-être de l'homme. L'intensité de la lumière du jour, qui est déterminée par les saisons et les conditions climatiques, de même que la couleur de la lumière ont une nette influence sur les motivations et la capacité de travail de l'être humain. Dès lors, se soucier de la lumière naturelle lors de l'élaboration des plans d'un bâtiment est une tâche importante de l'architecte dont les résultats auront une influence positive sur la psychologie des futurs occupants. Mais il y a aussi une influence sur la consommation d'énergie du bâtiment parce qu'une pénétration démesurée de lumière du jour et une utilisation généreuse de surfaces vitrées se traduisent évidemment par des pertes d'énergie l'hiver et par un important apport d'énergie l'été, ce qui nécessite souvent l'installation d'un conditionnement d'air.

Nous vivons en effet à une époque où les méthodes de construction et la qualité des vitrages, d'un point de vue technologique, permettent une utilisation quasi illimitée de larges surfaces vitrées. Mais l'air du temps veut aussi que pratiquement chaque bureau soit équipé d'un ordinateur et que chacun, du directeur au magasinier, passe une partie de son temps devant son écran. Ceci pose souvent des problèmes, car les reflets nuisibles et l'insuffisance de contraste, suite à une trop grande luminosité, provoquent des plaintes, pour enfin influencer négativement la qualité du travail, voire même la santé. Ainsi, en cas d'utilisation abusive de verre, il y a non seulement des problèmes au niveau du confort thermique, mais aussi au niveau du confort visuel et, bien entendu, au niveau de la consommation d'énergie.

On constate que, lors de l'élaboration de projets de construction d'immeubles, on conçoit les façades, les fenêtres, les baies et coupoles d'une part, et l'installation d'éclairage d'autre part, souvent comme autant de systèmes distincts, alors qu'en fait, ils s'influencent fortement les uns les autres. Dans ce chapitre, nous examinerons les effets de l'éclairage sur la surchauffe et sur le confort visuel dans les bâtiments.

Combien de lumière nous faut-il?[10] Qu'il s'agisse du travail d'un comptable ou d'un monteur à la chaîne, une lumière suffisante est essentielle au bon accomplissement de la tâche quotidienne. Suffisante mais pas trop importante – donc ni éblouissement, ni reflets désagréables. La lumière du jour a la préférence et la lumière artificielle n'est qu'un auxiliaire en l'absence de lumière du jour suffisante. Si les bureaux modernes baignent souvent dans des océans de lumière, les usines modernes sont aujourd'hui également pourvues d'immenses baies lumineuses afin de permettre la pénétration de la plus grande quantité possible de lumière naturelle sur les lieux du travail.

Pour mesurer l'intensité lumineuse, il convient de rappeler un certain nombre de grandeurs, à savoir lux, lumen, candela et candela par m^2:

– le **flux lumineux** ou la quantité de lumière qui est émise par une source lumineuse par unité de temps, est exprimé en **lumen** (symbole lm).
– **l'éclairement lumineux** est l'unité de mesure d'éclairement d'une

Fig. 7: Les immeubles modernes à usage de bureaux: inondés de lumière. The Scotsman Building, Edinburgh, Arch: Douglas Flett

Un bureau ideal?

Dans le document "Beschattung von Bildschirmarbeitsplätzen", édité par VIS, Krefeld, on trouve un schéma du "Büro Ideal". Tous les aspects du lieu de travail idéal, souvent couverts par des normes DIN, y sont résumés:

- *La surface de travail doit idéalement être de 1,6 m x 0,80 m, mais d'au moins 1,26 m², sans reflets gênants, conforme à DIN 4554, hauteur 68 à 76 cm, réglable, de préférence en 2 plateaux sous 45°*
- *La température ambiante ne doit pas être supérieure à 21-22° l'hiver, pas plus de 26°C l'été*
- *Il faut prévoir une protection solaire mobile*
- *L'humidité de l'air doit idéalement se trouver entre 50 et 60%*
- *Il faut une 'liberté des jambes': en profondeur 60 à 70 cm, en largeur 60 cm et en hauteur 65 cm*
- *Le siège doit être pourvu de 5 roulettes de sécurité et être réglable pour offrir une 'assise dynamique' conforme à DIN 4551-4556*
- *La distance du bureau par rapport à la fenêtre doit être d'au moins de 50 cm selon DIN 4543*
- *L'écran doit être sous un angle de 90° avec la fenêtre; le haut de l'écran doit se situer sous l'axe de l'œil*
- *L'écran doit être anti-reflets*
- *L'éclairage indirect doit fournir 500 lux conforme à DIN 5035*
- *Le niveau sonore ne peut dépasser 55 dB(A) selon DIN 4109.*

Pas d'autres souhaits?

surface donnée et est exprimée en **lux** (symbole lx où 1 lx= 1 lm/m²).

– **l'intensité lumineuse** est le flux lumineux émis par une source lumineuse dans une direction donnée par unité d'angle solide (sr). Elle est exprimée en **candela** (symbole cd, 1cd = 1 lm/sr ; le symbole sr signifiant stéradian, l'unité de mesure d'angle solide).
– **la luminance**: Grandeur L mesurant la brillance par unité de surface d'une source énergétique ou lumineuse. La luminance est égale au rapport de l'intensité du rayonnement émis par une source dans une direction donnée, à la projection de la surface de cette source sur le plan perpendiculaire à la direction d'observation. La luminance est exprimée en **candela par m²** (cd/m²).
– **la température de couleur** est utilisée pour qualifier la lumière et est exprimée en **Kelvin** (symbole K). Une température de couleur élevée, p. e. 6500 K, caractérise une lumière du jour bleuâtre, d'un blanc net, tandis qu'une ampoule ordinaire, à lumière "chaude", rougeâtre, a une température de couleur de l'ordre de 2800 K. La température de couleur d'un corps est définie à partir du rayonnement thermique qu'il émet, en se référant au spectre du corps noir.

L'éclairement lumineux sur la surface de travail, exprimé en lux, est généralement utilisé pour servir de norme pour le confort visuel. La législation belge (notamment le RGPT) requiert 300 à 500 lx pour le travail de bureau, 750 lx pour les salles de dessin et 1000 lx pour le travail de précision.

L'éclairage général peut être limité à 200 lx, à condition qu'il y ait un éclairage supplémentaire à chaque tâche spécifique pour arriver au niveau exact requis. L'œil de l'homme réagit surtout à la clarté, donc à la luminance d'une superficie. C'est pourquoi, lorsque l'on travaille sur écran, le rapport de la luminance de l'écran et celle de l'arrière-fond est importante. Ce rapport ne doit pas être supérieur à 3 – au maximum – et devrait de préférence être inférieur afin d'éviter l'éblouissement et des problèmes de gêne aux yeux. Un beau jour d'été, lorsque le ciel est clair et que l'on mesure facilement à 80.000 lx à l'extérieur, il est vraiment nécessaire de tempérer l'intensité lumineuse.

La conception de la façade y contribue, de même que le choix du vitrage, la profondeur des lieux de travail, l'aménagement intérieur et une protection solaire adaptée mobile. La couleur des parois aura en effet une influence sur la répartition de la lumière du jour et les protections solaires, de préférence réglables individuellement, aident à doser la lumière. C'est ainsi que les protections solaires se voient attribuer une deuxième fonction importante: outre la protection contre l'excès de chaleur, elles assurent également un dosage efficace de la lumière[11].

Lumiere du jour et lumiere artificielle Tout comme la présence d'oxygène est évidente et qu'on n'y pense pas lorsqu'on respire, nous prenons la lumière du jour comme coulant de source. Mais l'intensité de la lumière naturelle diffère d'une saison à l'autre, d'un jour à l'autre, parfois même d'une heure à l'autre, sous l'influence des conditions climatiques. La nuit, il n'y a évidemment pas de lumière du jour. Aussi, l'éclairage artificiel s'impose-t-il parfois. Mais bon nombre d'immeubles sont encore équipés d'un éclairage artificiel inefficace et désuet qui, en raison d'un concept dépassé des appareils, constitue plutôt un chauffage électrique involontaire qu'un bon éclairage.

Un récent projet de recherche du CSTC[12] a démontré qu'il existe de grandes différences au niveau de l'apport de lumière entre les divers types de source lumineuse artificielle et que beaucoup d'anciens luminaires en opaline donnent de très médiocres résultats. Entre une ampoule ordinaire, qui rend sous forme de chaleur 95% de l'énergie consommée et qui a un rendement de 8 à 15 lm/W, et un tube fluorescent moderne à ballast à haute fréquence, qui donne 70 à 93 lm/W, il y a de la marge. De plus, l'ampoule aura peut-être une durée de vie de 1000 heures, contre 16000 heures pour un néon moderne. Alors le choix, du moins pour le bureau ou le lieu de travail, est très vite fait. Lorsqu'il s'agit d'un éclairage d'ambiance, le choix sera aussi déterminé par d'autres facteurs.

Eclairage et confort d'ete Une étude a démontré qu'on allume l'éclairage dans un bureau comme une sorte de réflexe, qui n'est pratiquement pas

influencé par la saison ou par les conditions climatiques. L'utilisation de façades largement vitrées dans la construction d'immeubles à bureaux est courante et on y utilise souvent du vitrage réfléchissant. De ce fait, la transmission de la lumière diminue et l'on constate souvent, même les jours d'été ensoleillés, qu'il faut un éclairage artificiel. Si le bâtiment est équipé de stores solaires, ce réflexe est souvent plus fort encore. Si, en plus, l'immeuble est équipé d'un éclairage ancien ou inefficace, ceci peut annuler partiellement ou même totalement l'effet des protections solaires, car l'éclairage artificiel entraîne naturellement un apport supplémentaire d'énergie à l'intérieur. Aussi est-il très important de trouver un équilibre optimal entre l'éclairage total et le confort d'été. La lumière naturelle et la lumière artificielle doivent se compléter au mieux. Alors, quand on s'équipe d'une protection solaire, pour éviter la surchauffe des locaux en été et pour tempérer la lumière naturelle excessive, il faut veiller à ce que les stores laissent passer assez de lumière naturelle, de sorte qu'on n'ait pas besoin de l'éclairage artificiel, même quand les stores sont baissés.

On constate en effet qu'il y a beaucoup d'immeubles de bureaux relativement récents, équipés de vitrage réfléchissant, où ce phénomène se produit: réduction des apports énergétiques du soleil, mais en même temps forte réduction de la transmission lumineuse, et souvent recours à la lumière artificielle, même en été. Dans un immeuble typique de bureaux, on a constaté par la mesure qu'un tiers de la consommation d'énergie va à l'éclairage, les deux tiers restants étant environ également partagés entre, d'une part, la compensation de la transmission (chauffage en hiver, refroidissement en été) et, d'autre part, la ventilation, l'eau chaude et les pompes.

Depuis quelques années, l'industrie de l'éclairage a fait beaucoup de progrès dans l'amélioration des prestations de ses produits. En même temps, il existe des techniques de régulation avancées qui offrent de nouvelles possibilités permettant d'économiser l'énergie, telles que la compensation de la lumière du jour (pas plus de lumière qu'il n'en faut dans une situation donnée) ou la détection de présence (l'éclairage qui s'éteint automatiquement en cas d'absence). Le système courant, c'est-à-dire un éclairage 'tout ou rien', allumé ou éteint, consomme notablement plus d'énergie qu'un système modulant par lequel on ne fait que compenser le déficit en lumière du jour, sans plus.

Il existe des logiciels de simulation permettant de calculer les effets de l'éclairage sur la température intérieure. Il ressort du graphique n° 8 que même l'utilisation d'un éclairage moderne et économique, combiné avec une ventilation adéquate, dégage un effet qui n'est pas négligeable sur la température ambiante.

Le graphique n° 9 donne un exemple de l'influence d'un éclairage artificiel médiocre: un bureau d'une personne avec une surface vitrée de 3,2 m² est équipé d'un store solaire extérieur d'une valeur g de 0.25 et qui enclenche automatiquement à un seuil de 200 W/m². Supposons que le bureau soit équipé d'un éclairage ancien et inefficace, composé de 4 lampes de 100 W chacune. Dès que l'intensité du soleil atteint 200 W /m², la protection solaire descend et ne laissera passer que 25% de l'énergie, soit 160 W (3,2m² * 200 W/m² = 640 W * 0.25 = 160 W). Si l'on allume en même

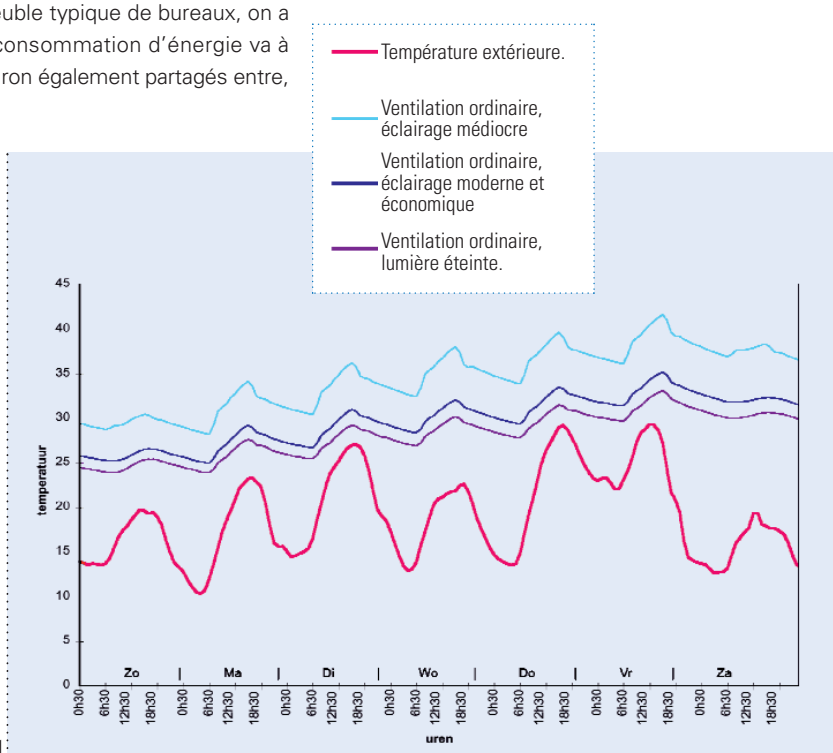


Fig. 8: L'effet de l'éclairage artificiel sur la surchauffe.
Simulation de l'évolution de la température dans un bureau d'une personne.

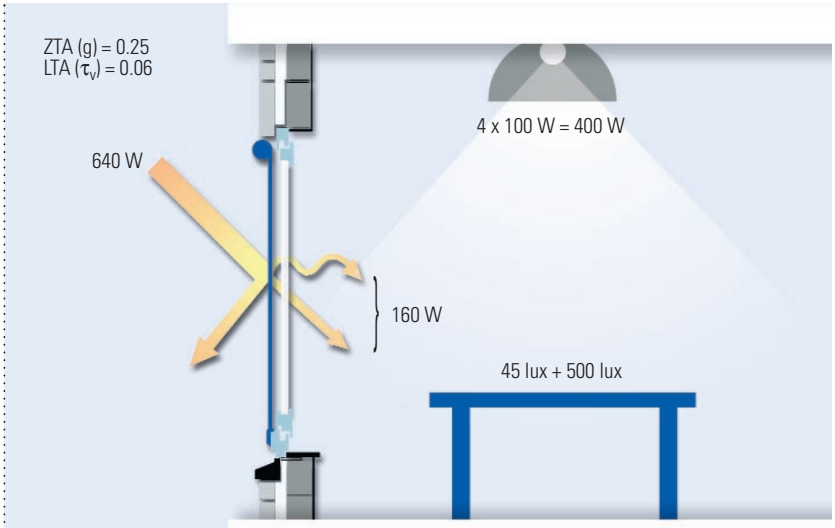


Fig. 9: Représentation schématique de l'influence d'un éclairage médiocre sur le bilan énergétique lorsque les stores solaires sont utilisés.

temps l'éclairage, l'apport supplémentaire sera de 400 W, soit au total 560 W, ce qui élimine l'effet de la protection solaire. En effet, sans protection solaire, et même pour une qualité de vitrage moyenne, quelque 500 W auraient probablement pénétré dans le local. Evidemment, les chiffres seront tout différents si l'on prend comme point de départ une belle journée d'été bien claire avec un rayonnement solaire de 800 W/m². Dans ce cas, l'effet de la protection solaire serait le suivant: 0.25 (3.2m² * 800 W/m²) = 640 W. L'intensité lumineuse, elle aussi, sera beaucoup plus importante s'il fait beau dehors, mais dans la majorité des cas, l'utilisateur risque d'allumer l'éclairage artificiel. Alors, là aussi, l'effet de la protection solaire sera réduit par les apports de chaleur dus à l'éclairage.

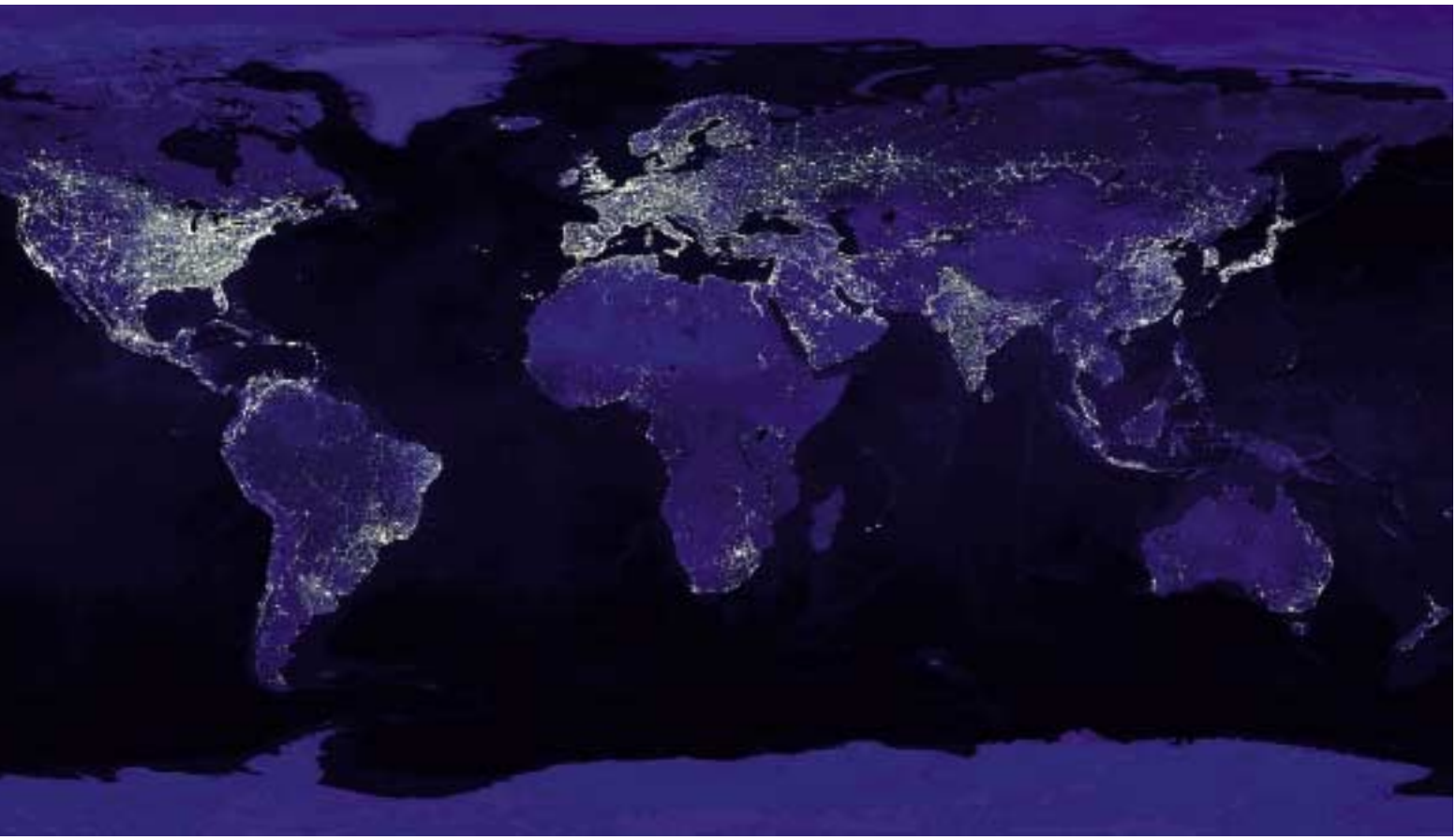
Simulation de lumiere du jour Lorsqu'on a l'intention, au niveau de la conception des bâtiments, de favoriser l'entrée de la lumière naturelle, on peut faire appel à des logiciels de simulation de distribution de lumière. Même une situation complexe peut être modélisée et ce de manière relativement aisée. Toutefois, le principal inconvénient de ces logiciels de simulation est qu'ils ne sont souvent accessibles qu'aux spécialistes et que les temps de calcul sont très élevés. Pour les projets courants, ce n'est pas très pratique. Par contre, au niveau de la recherche, ces simulations s'avèrent de grande valeur. Pour les projets concrets d'éclairage, les fabricants les plus avancés de luminaires disposent, eux aussi, de logiciels de calcul, mais ces outils généralement leur sont propres et sont rarement diffusés dans le commerce. Cependant, les logiciels les plus récents permettent de modéliser la lumière artificielle de façon que l'on puisse analyser l'interaction entre la lumière naturelle et la lumière artificielle.

Fig. 10: Image simulée par l'ordinateur d'une répartition de la lumière dans un bureau, par temps nuageux.

Une autre possibilité pour le concepteur de se faire une bonne idée de la pénétration de la lumière naturelle dans le futur bâtiment réside dans des mesures sur maquette et sous un ciel artificiel. Ces mesures offrent l'avantage de valeurs mesurées à la fois réalistes et très précises, parce qu'elles peuvent être réalisées sous un ciel bien maîtrisé. Leur précision dépend évidemment de la mesure dans laquelle les matériaux de la maquette correspondent à la réalité. Le CSTC a récemment construit un tel ciel artificiel qui permet d'effectuer ce genre de simulation.

En conclusion, on constate qu'aussi bien la lumière naturelle que la lumière artificielle contribuent à une surchauffe éventuelle. Cette surchauffe ne peut certes pas être négligée au stade de l'élaboration du projet. Pour aider les concepteurs, il existe des logiciels de simulation capables d'effectuer un calcul thermique. En même temps, il est possible de lier une simulation au niveau de la lumière à une simulation thermique. De cette manière, peuvent être évalués à la fois les effets de la lumière naturelle et de la lumière artificielle sur le climat intérieur.

Fig. 11: Photo de la terre prise depuis l'espace: la lumière artificielle serait-elle un étalon du niveau de vie? Source ESA/NASA



3 Typologie et caractéristiques des systèmes de protection solaire

Aujourd'hui, les fabricants des protections solaires offrent une palette de possibilités attrayante qui permet d'apporter une solution à pratiquement tous les cas de figure. Car il n'y a pas seulement les fenêtres verticales qui auront besoin de stores solaires, pour assurer le confort des locaux pendant l'été et pour contribuer à l'économie d'énergie, il y a aussi les vérandas -- si populaires dans ce pays – ainsi que les baies vitrées, les plans vitrés inclinés, les atriums, tous doivent pouvoir être équipés.

Sur une même façade: stores verticaux et marquisolettes

Typologie et caractéristiques des systèmes de protection solaire

Typologie des systèmes de protection solaire | Nous nous bornerons dans le cadre de ce texte aux protections solaires extérieures mobiles, sans nous arrêter aux systèmes fixes (brise-soleil fixes, auvents permanents etc.) ni aux nombreux types de protections solaires intérieures.

Pour les applications verticales, l'industrie offre au moins 5 systèmes mobiles différents:

- **La banne à bras articulés**, souvent appelée tente solaire, ou banne tout court: on en trouve souvent au-dessus des étalages de magasin, mais ce type de protection est également un des favoris du secteur privé pour les terrasses et les jardins d'intérieur. Ce système permet de couvrir d'importantes largeurs (jusqu'au moins 15 mètres)
- **Le store à projection**, souvent appelé bannette: un système simple dont les bras porteurs descendent latéralement vers l'avant, dans un plan vertical. Ce système est limité en largeur, mais très apprécié dans certains pays en raison de sa simplicité et de son aspect
- **Le store à enroulement vertical**, souvent en toile en fibres de verre et appelé 'screen' pour cette raison. Ce type de store couvre, comme un rideau, la totalité du vitrage et est, par conséquent, très efficace. Pour la même raison, il ne convient pas pour les terrasses ou les portes-fenêtres. Les 'screens' sont souvent utilisés dans les immeubles de bureaux et peuvent être facilement automatisés, ce qui n'est que tout profit pour leur efficacité.
- **La marquisolette**, ou store à projection à l'italienne, une combinaison du store à enroulement vertical et du store à projection, souvent préféré pour son aspect élégant pour habiller les fenêtres de grande hauteur.
- **Le store vénitien extérieur ou brise-soleil orientable extérieur**, composé de lamelles horizontales superposées empilables, par analogie au store vénitien intérieur très répandu.

A part cela, il existe une offre importante de systèmes de protection solaire pour les terrasses de café, les verrières et pour les vérandas. Celles-ci, très populaires en Belgique, se rappellent à la mémoire de leurs propriétaires rapidement après leur acquisition: trop froides en hiver et trop chaudes en été, elles exigent toutes une protection solaire, tout comme un chauffage, afin de devenir un espace convivial et agréable pendant toute l'année.

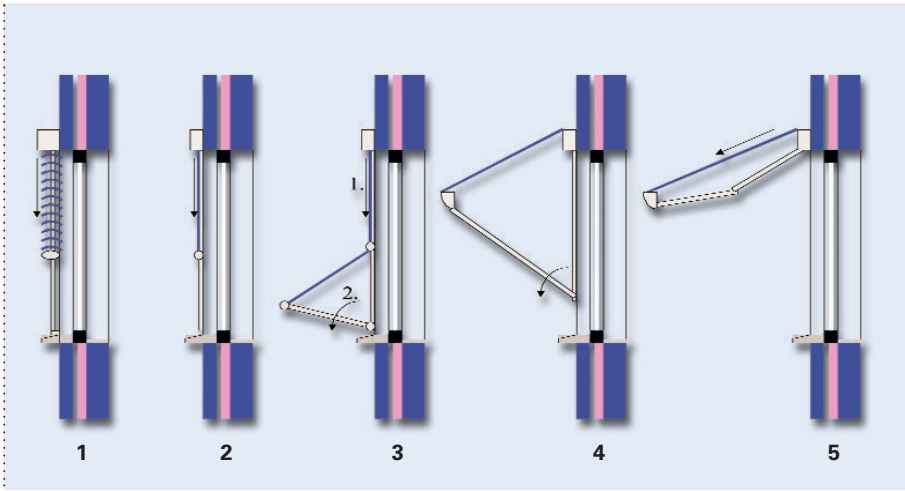


Figure 12: Représentation schématique de différents systèmes de protections solaires extérieures mobiles.
1 Brise-soleil extérieur
2 Store à enroulement vertical
3 Marquisolette
4 Store à projection
5 Banne à bras articulés
Source: CSTC.

Caractérisation: données relatives aux produits et données relatives aux systèmes | Le projet VLIET-I réalisé par le CSTC, et auquel VEROZO a participé activement, s'était fixé pour objectif d'améliorer les connaissances au niveau de la problématique de la surchauffe due à l'ensoleillement, afin de développer, d'une part, de meilleurs aides pour l'étude des projets et, d'autre part, des programmes de simulation fiables permettant de prévoir le comportement thermique des bâtiments. En effet, il est important de savoir quelle sera influence de l'application d'une technologie comme la protection solaire sur la température intérieure, de sorte que l'on puisse décider en temps opportun s'il est vraiment indispensable de prévoir un système de conditionnement d'air. En même temps, il est important pour les industriels de la protection solaire de disposer de moyens pour établir une comparaison correcte entre les vitrages réfléchissants et les protections solaires indépendantes.

Par contre, l'utilisation de logiciels de simulation pour analyser le confort d'été exige, en plus d'une large connaissance des produits, une connaissance approfondie des systèmes utilisés. La différence, c'est que les données relatives aux produits portent sur des spécificités des produits seuls

ARCHITECTURE ET POLITIQUE?

Qu'il s'agisse de la toiture transparente du nouveau siège du parlement flamand ou de la coupole en verre que Sir Norman Foster a construite sur le Reichstag à Berlin, l'utilisation abondante du verre clair a parfois pour but de faire passer un message politique de démocratie et de transparence. Dans un livre récent (Architectuur en Kritiek van de Moderniteit)*, Hilde Heyen écrit que pour le philosophe et écrivain allemand Walter Benjamin (1892-1942), la nudité et la transparence de l'architecture moderne préfiguraient déjà une société transparente et sans classes.*

Robert Hughes va plus loin encore, lorsqu'il décrit l'architecture à Manhattan dans les années '30: "At the end of the 1930s, under the malign influence of the International Style and its prophets at the Museum of Modern Art, Philip Johnson and Henry-Russell Hitchcock, puritanism came to Manhattan. The foreign infuence of Mies van der Rohe and the Bauhaus now reigned, popular among fashion-victim American intellectuals, just because it was European. The full-blooded native style gave way to the stripped, dour import: the universal, pseudo-Utopian glass box. American capitalism lost its voice; architectural Marxism now prevailed". *Mais Hughes corrige ensuite:* "In fact, what happened was the very opposite of this farrago. The ideas of the Bauhaus were deeply influenced by, even based on, American prototypes, such as the explicitly functional forms of American bridges, factories and silos. The very idea of the 'open plan' came to Europe from Frank Lloyd Wright". *(Robert Hughes, Ame*rican Visions: The Epic History of American Art*, A. Knopf, New York, 1997)*

de certains fabricants, tels que les vitrages et les toiles de protections solaires. Tandis que les données relatives aux systèmes concernent des ensembles constitués de plusieurs produits. C'est ainsi que, dans la plupart des logiciels, la simulation porte sur une toile de protection solaire verticale, comme seule composante. Mais pour l'utilisateur, ce qui compte, ce sont les valeurs globales pour l'ensemble de la fenêtre, y compris la protection solaire. Alors que, pour un système automatisé, il faut, en plus, prendre en compte les caractéristiques de régulation de ce système.

■ Données relatives aux produits pour les vitrages

Les valeurs g et τ_v ne sont déterminées par le secteur du verre que pour les rayonnements à incidence verticale, et ce pour une raison pratique: la détermination des valeurs pour les divers angles d'incidence nécessiterait une quantité énorme de mesures. En cas d'incidence oblique, ces valeurs sont inférieures, notamment en raison de la distance plus grande que le rayonnement doit parcourir au travers du vitrage. Il n'existe à ce propos cependant aucune valeur concrète. Une règle couramment utilisée est l'hypothèse d'une diminution de valeur de 10% dans le cas d'un rayonnement diffus à incidence hémisphérique par rapport à un angle d'incidence vertical. Dans le cas d'un vitrage classique, les valeurs g et τ_v sont généralement liées. Une diminution de la valeur g, souhaitée pour éviter la surchauffe des locaux, a généralement pour effet d'entraîner une diminution de la valeur τ_v , ce qui provoque une réduction de la lumière qui pénètre dans les locaux. L'industrie du verre a pu, dans une certaine mesure, résoudre cette contradiction en intégrant des couches sélectives sur le verre, en fonction de la longueur d'onde – c'est ce qu'on appelle les 'vitrages sélectifs'.

■ Données relatives aux produits pour les toiles de protection solaire

L'utilisation de stores solaires a une nette influence positive sur le climat intérieur dans les conditions d'été. Mais comment peut-on connaître les caractéristiques de ces systèmes de façon à arriver à des valeurs g cohérentes et fiables? Car les données relatives aux prestations des toiles de protection solaire sont, il est vrai, suffisamment nombreuses. Hélas, les divers fabricants n'ont pas toujours utilisé les mêmes méthodes de mesure. Pour des raisons pratiques, et à défaut de méthodes européennes standardisées et de laboratoires européens financièrement accessibles, on s'est souvent servi de résultats d'essais selon la norme américaine ASHRAE. Mais il y a du progrès: les groupes de travail européens, chargés de l'établissement de normes (notamment CEN TC 89 et CEN TC 129), ainsi que la récente norme européenne EN 410, ont eu pour effet de favoriser une approche uniforme de ce thème.

À cet égard, la standardisation de l'angle d'incidence du soleil est importante pour uniformiser les données relatives au produit. TNO[13] aux Pays-Bas a fixé un ensemble de conditions pour déterminer les caractéristiques, notamment une hauteur du soleil de 45°, une position du soleil perpendiculaire à la façade (donc un angle d'incidence sur la toile de 45°), un rayonnement solaire total de 753 W/m² (100%) réparti entre le rayonnement direct en faisceau sous 45° de 555W/m², soit 74%, et un rayonnement diffus de 198 W/m², soit 26%.

▶ L'élément actif de la plupart des protections solaires courantes est une toile en textile. Les brise-soleil extérieurs en lamelles métalliques sont moins courants dans notre pays, bien que dans des pays comme l'Allemagne et la Suisse, ils aient toujours été très populaires. Les types de textiles employés pour les protections solaires extérieures se classent généralement dans une des trois principales catégories: polyacrylate, tissu en fibre de verre ou polyester.

Pour connaître les caractéristiques d'une toile au niveau de son pouvoir de protection

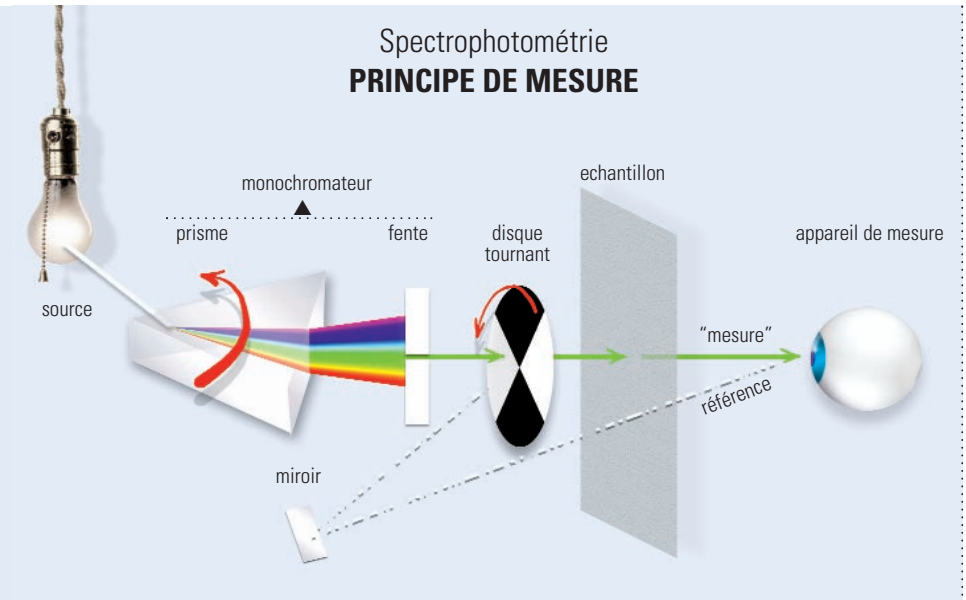
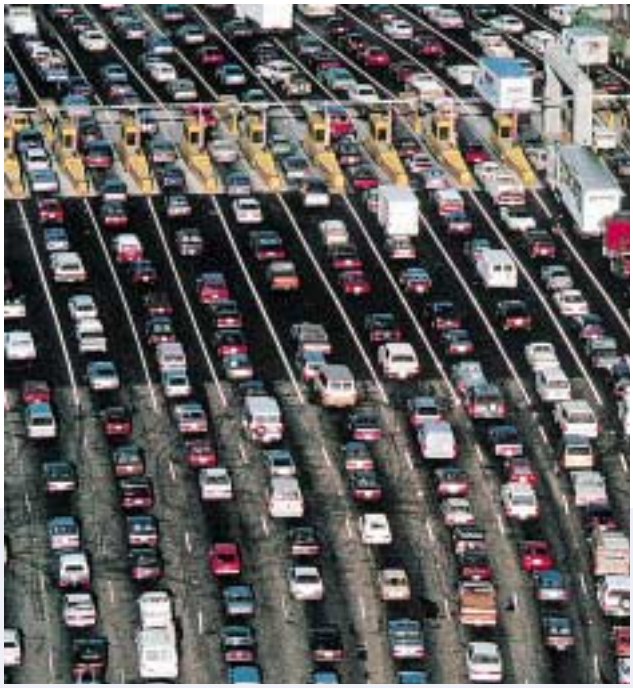


Figure 13: Schéma de mesure de transmission dans un spectrophotomètre: source CSTC

solaire, elle est testée dans un spectrophotomètre. Cet appareil en mesure la réflexion et la transmission énergétiques, de même que la transmission et la réflexion lumineuses. Ensuite, on détermine l'absorption énergétique par son solde, et l'on calcule la valeur g de la toile par une formule normalisée. Les mesures en spectrophotomètre sont effectuées sur un petit échantillon du textile, à peine quelques centimètres carré. Un des objectifs de VLIET était de vérifier ces mesures-type et de les comparer aux résultats de mesures réelles effectuées à différents niveaux: cellules de mesure-laboratoire grandeur nature, mesures dans une habitation équipée pour ce genre de tests et mesures dans un certain nombre de bâtiments réellement occupés, bureaux aussi bien que résidences. Ensuite, on a voulu les comparer aux résultats des programmes de simulation assistés par ordinateur afin de pouvoir conclure sur la fiabilité de ces derniers. Les mesures ont été effectuées dans les cellules de mesure PASLINK, dans l'habitation IDEE et enfin dans un certain nombre d'immeubles occupés, dont un des bâtiments du CSTC, de même qu'un certain nombre d'habitations, de bureaux et de bâtiments scolaires. Le chapitre suivant en examinera les résultats.



Environnement: Comment a-t-on pu en arriver là? Est-il trop tard pour y remédier?

Gaz à effet de serre, trou dans la couche d'ozone, déforestation, surpêche, pollution de l'eau de mer, dégradation de la biodiversité. . . même les plus conservateurs des experts s'accordent pour dire que l'homme en a fait une pagaille. "It's not possible to leaf through the charts, maps and case studies without wondering: How did we let things get to this point?" *dit Eugène Linden dans une édition spéciale de Time Magazine. Mais on y trouve aussi une réponse intéressante et encourageante à la question* "Est-il trop tard pour y remédier?".

Construire intelligemment peut être très utile

La bonne nouvelle, c'est qu'il y a, effectivement, des solutions. La mauvaise nouvelle, c'est qu'il faudra radicalement changer nos habitudes. "Increased efficiency – doing more with less – will enable us to use fewer resources and produce less pollution per capita, buying us the time to bring solar power, hydrogen fuel cells and other futuristic technologies on line" *déclare Mark Hertsgaard, qui continue:* "Super-refrigerators use 87% less electricity than older, standard models, while costing the same, assuming mass production, and performing much better. In Amsterdam, the headquarters of ING Bank, one of Holland's largest banks, uses one-fifth as much energy per square meter as a nearby bank, even though the building cost the same to construct. The ING building boasts efficient windows and insulation, and a design that enables solar energy to provide much of the building's needs, even in cloudy Northern Europe."

Il faut une vision à long terme

À propos de la question "Qu'est-ce qu'on a fait pour en arriver là?", *Stewart Brand fait une analyse intéressante. Il affirme que nous n'avons jamais été sérieusement conscients de notre responsabilité pour l'état de santé de notre planète terre, jusqu'à ce que nous ayons pu voir le globe, sur de magnifiques photos prises par Apollo 8 en 1968. Pour la première fois, on a pu regarder la terre à distance, depuis l'espace, sur des images fascinantes. Du coup, on a pris conscience de notre responsabilité pour la planète terre – et qu'il importe de s'en occuper. Et il en est suivi une nouvelle perspective au niveau temporel. Car, évidemment, les aspects tels que l'état de santé de l'atmosphère, la condition des océans ou la stabilité du climat dépassent toute approche nationale. Un gouvernement se limite volontiers aux thèmes qui lui permettent d'améliorer son score aux élections suivantes. Une entreprise, elle, s'occupera du trimestre en cours, de l'année en cours, peut-être des trois années à venir. Mais les problèmes écologiques globaux? Il faut plus que quelques années ou même une décennie pour les résoudre. Il faudra des décennies. Qui s'en charge? Y a-t-il encore une solution?*

Une goutte d'eau dans l'océan?

Entre-temps, on s'accorde à dire que les problèmes de l'environnement peuvent être corrigés, mais qu'il nous faudra beaucoup de temps et beaucoup de patience. Citons Brand: "Patience, I believe, is a core competence of a healthy civilization … Fashion and commerce change quickly, as they should. Nature and culture change slowly, as they should. Infrastructure and governance move along at middling rates of change". *Une bonne politique de l'environnement permettra de maintenir une croissance raisonnable de l'économie, à une vitesse axée sur le rythme d'adaptation de la nature. Un exemple: bien qu'il était clair qu'on avait pris trop de cabillaud dans l'Atlantique nord et que le poisson était devenu trop petit, le gouvernement du Canada n'a pris aucune mesure par crainte pour la perte d'emplois. Ceci a failli détruire la pêche du cabillaud.*

Pour s'attaquer aux problèmes de l'environnement, il faut à la fois du courage politique et une vision à long terme. Car les solutions demanderont des décennies, peut-être faudra-t-il des siècles avant que certaines mesures puissent sortir leurs effets.

Alors, à quoi sert une Réglementation Thermique en Belgique, ou même en France et en Allemagne? En quoi on changera l'état de l'atmosphère et des gaz à effet de serre, au niveau du globe, par un effort pour consommer un peu moins d'énergie dans notre petit pays, suite à une telle législation? Est-ce une goutte d'eau dans l'océan? La réponse se trouvera, espérons-le, dans le fait que bon nombre de pays prennent des initiatives similaires, que la conscience publique est tenue en alerte par les conférences internationales sur le climat global et qu'il faudra, de toute façon, beaucoup de patience. Disons, un siècle?

Source: TIME Magazine, Special Earth Day 2000, April/May 2000. Stewart Brand a le "Whole Earth Catalogue" à son palmarès; il est président d'une fondation qui construit une horloge de 10.000 ans, The Clock of the Long Now, voir www.longnow.org.

4 Mesures et résultats

Lors de la mise en œuvre du projet VLIET, on a effectué des mesures dans trois environnements différents: une installation de laboratoire (la cellule PASLINK), une habitation – non habitée – à 4 façades (le bâtiment IDEE) et un immeuble à usage de bureaux (le bâtiment B). Voici un aperçu des mesures et des résultats obtenus dans le cadre du projet précité.

source: Dickson

L'installation de laboratoire La cellule PASLINK est un conteneur isolé équipé d'ouvertures, tant dans le toit que dans la paroi orientée au sud, où seront placés les matériaux d'essai. L'espace de test est équipé d'un système de chauffage aussi bien que d'un système de refroidissement et fonctionne comme un calorimètre. Ainsi, on peut déterminer de manière très précise les déperditions et les gains de chaleur. C'est le coefficient de transmission thermique (valeur U) , la valeur g – mesure d'efficacité énergétique d'une protection solaire – ainsi que la transmission lumineuse τ_v qui ont été mesurés au moyen de cette cellule PASLINK, et ce pour une fenêtre à double vitrage équipée de quatre systèmes de protection solaire différents.

Figure 14: La cellule PASLINK

■ **Pour la première série de tests** on s'est servi d'une fenêtre composée de deux parties dotées d'un double vitrage d'une valeur U centrale de 1,3 W/m²K selon EN 410. Le vitrage est monté dans un châssis isolant. Comme toile de protection solaire, l'on a utilisé une toile en fibre de verre d'un type et d'une couleur courants. Le tableau 3 résume les résultats des mesures.

	Fenêtre de référence	Store intérieur	Store extérieur
U (W/m² K)	1.70	1.60	1.55
g (toile Sergé gris-blanc)	0.50	0.39	0.08
τ_v (toile Sergé gris-blanc)	0.77	0.03	0.04

Tableau 3: Résultats des mesures pour une protection solaire dans le plan de la fenêtre.

Concrètement, les conclusions en sont:

— qu'une toile en fibre de verre, utilisée comme store solaire enroulable à l'intérieur, présente une valeur g mesurée de 0.39, c'est-à-dire que seulement 39% de l'énergie solaire passent au travers de la combinaison vitrage et toile, au lieu de 50% pour le même vitrage non protégé

— que, si cette toile est placée à l'extérieur, la valeur g n'est plus que de 0.08, ce qui signifie que 92% de l'énergie solaire sont arrêtés et que seuls 8% arrivent à pénétrer

— que ces chiffres confirment les mesures effectuées en laboratoire sur de petits échantillons du tissu, au moyen d'un spectrophotomètre, et qu'elles donnent même, dans certains cas, de meilleurs résultats que ces mesures-type ne laissaient présager

— que, dès lors, on peut conclure que les protections solaires extérieures ont de très bonnes prestations et que les mesures effectuées à petite échelle donnent une indication fiable de leur performance

— que, par contre, les mesures indiquent aussi que les toiles de protection solaire réduisent la transmission de la lumière, proportionnellement à leur efficacité à refouler la chaleur, une conclusion logique mais pas pour autant moins importante

— et qu'enfin, il convient de mentionner que les protections solaires contribuent à améliorer la valeur U des vitrages grâce à l'effet isolant de la couche d'air entre le verre et la protection solaire (réduction de 1.7 à 1.55 pour la protection solaire extérieure).

Une autre conclusion importante concerne la comparaison entre les résultats de ces campagnes de mesure, d'une part, et les résultats du calcul de l'efficacité des protections solaires d'après ce que l'on appelle la "méthode simplifiée", d'autre part. Cette méthode est utilisée au sein des groupes de travail chargés de l'élaboration des normes européennes. En particulier, le CEN TC89 WG7 travaille tant à une méthode de calcul détaillée qu'à une méthode simplifiée afin de déterminer les qualités des combinaisons 'verre+protection solaire' dans le domaine de la protection contre la surchauffe et contre l'excès de lumière. La méthode détaillée est, elle, basée sur les caractéristiques des matériaux utilisés et prend en compte, en plus, l'influence de l'aération éventuelle de l'espace d'air entre le vitrage et la protection solaire, d'une part, et, d'autre part, les effets de convection, de radiation et de conduction, qui sont calculés distinctement. Tandis que pour la méthode simplifiée, seule une connaissance des caractéristiques du produit est requise, puisque l'on se sert d'un certain nombre d'hypothèses physiques simples. Cette dernière méthode n'a pas pour but de déterminer les valeurs g avec grande précision – afin de calculer ensuite la contribution des protections solaires au climat intérieur – mais plutôt de prendre une marge de sécurité permettant de calculer la puissance requise pour une éventuelle installation de climatisation.

Or, si l'on utilise cette méthode simplifiée pour les produits utilisés dans la cellule PASLINK, on arrive à la conclusion surprenante que le calcul suivant la méthode simplifiée donne des résultats beaucoup moins bons que l'indiquent les mesures réelles. Alors qu'en utilisant une protection solaire extérieure, on mesure en cellule PASLINK une valeur g de 0,08, le calcul selon la méthode simplifiée donnerait une valeur de 0,15, soit presque le double – et donc une grosse sous-estimation de l'efficacité de la toile. Même en cas d'application intérieure, on constate la même chose: les mesures réelles révèlent une valeur g de 0.39, alors que la formule simplifiée donne pour résultat une valeur de 0.47, soit plus de 20% d'efficacité en moins. Par conséquent, la méthode de calcul simplifiée ne convient manifestement pas pour mesurer la valeur de la contribution d'une protection solaire au climat intérieur, car une différence de 0.15 par rapport à 0.08 aura un effet significatif au niveau du climat thermique. Les mesures se sont donc avérées extrêmement utiles pour mettre en valeur les protections solaires et pour démontrer leur utilité de manière scientifique.

- **La deuxième série de mesures** a été effectuée sur deux stores qui n'étaient pas placés verticalement et en parallèle par rapport au vitrage, mais au contraire sous un angle, à savoir un store à projection et une banne à bras articulés. Ces deux stores étaient équipés d'une toile en polyacrylate de couleur vert foncé uni. Dans ce cas, les mesures de la transmission lumineuse ne sont pas pertinentes, en raison du manque de transparence de la toile mais aussi en raison de l'angle d'incidence variable du store par rapport à la fenêtre.

	Fenêtre de référence	Store à projection	Banne à bras articulés
U (W/m²K)	1.70	Non mesuré	Non mesuré
g, toile acrylique 'forest green'	0.50	0.09	0.11
τ_v, toile acrylique 'forest green'	0.77	Non pertinent	Non pertinent

Tableau 4: Résultats des mesures de deux types de protections solaires non situées dans le plan de la fenêtre

Ici encore s'applique la conclusion relative à la méthode de calcul simplifiée, car les stores enregistrent de meilleurs résultats que ceux auxquels on pourrait s'attendre sur base de cette méthode de calcul. La valeur g de ces stores, telle qu'elle est donnée dans le tableau 4, doit être considérée comme une moyenne parce que la nature des stores a pour effet de faire varier la pénétration du soleil et de la lumière naturelle.

- **Comme conclusion générale des mesures effectuées dans les cellules PASLINK, le CSTC mentionne:**[14]
  - que les protections solaires extérieures testées, qu'il s'agisse de screens, de bannes à bras articulés ou encore de stores à projection, combinés à un double vitrage amélioré, contribuent de manière significative à la lutte contre la surchauffe
  - que les protections solaires verticales ont une influence positive, bien que limitée, sur la valeur U de la fenêtre, surtout en présence de vitrages isolants
  - qu'il existe une méthode de calcul simplifiée pour le calcul de la contribution des protections solaires verticales parallèles à la fenêtre, mais que cette méthode ne convient pas pour déterminer une valeur fiable dans le débat visant à éviter la surchauffe.

L'habitation inoccupée Il y a une certaine logique dans les diverses campagnes de mesures: alors que les fabricants de protections solaires, et en particulier les tisserands de toiles de protections solaires, disposent toujours des résultats des mesures effectuées par spectrophotomètre sur un tout petit bout de tissu, les mesures effectuées dans une cellule d'essai comme PASLINK donnent des résultats qui sont déjà plus proches de la réalité. Si l'on peut ensuite effectuer des mesures dans de véritables habitations et les comparer aux deux autres, l'on augmente la fiabilité des valeurs obtenues. C'est pourquoi une deuxième série de mesures a été effectuée pour compléter celles réalisées dans les cellules PASLINK. Cette deuxième série a été réalisée dans une maison individuelle existante, appelée 'habitation IDEE'. Cette campagne avait plusieurs objectifs:

- Les scientifiques voulaient équiper une habitation individuelle d'un large spectre d'appareils de mesures, afin de pouvoir tester par monitoring les composantes de l'immeuble à une échelle normale et de déterminer ainsi les stratégies à mettre en œuvre lors de la construction.
- Les mesures devaient aussi permettre une évaluation de la fiabilité

des logiciels de simulation. Ceci devait se faire par des mesures dans un immeuble réel et par une comparaison des résultats des calculs de simulation avec ces mesures. Ceci en portant une attention particulière à la possibilité de prévoir les problèmes de surchauffe et à l'évaluation des diverses stratégies destinée à les éviter, et notamment par l'emploi de protections solaires.

— L'habitation, après transformations, devait répondre aux dernières recommandations en matière d'isolation et de ventilation et pouvoir ainsi garantir un bon confort estival.

L'habitation construite sur le campus du CSTC à Limelette avait déjà dû faire face à des périodes de surchauffe pendant les mois d'été et constituait pour cette raison un objet d'étude adéquat. Il s'agit d'une habitation uni-familiale typique, à quatre façades et comportant 14 m² de vitrages à sa façade sud, 5 m² à sa façade nord et 2,5 m² sur les façades est et ouest.

Mesures avec et sans protection solaire

Les mesures avec et sans protection solaire ont eu lieu entre le 8 juin et le 2 septembre 1996, mais deux périodes bien précises de trois jours chacune ont été sélectionnées comme périodes de référence, en raison de leur climat extérieur comparable. Au cours de ces périodes, toutes les fenêtres et portes intérieures de l'habitation sont restées fermées de sorte que l'on évitait ainsi d'importants déplacements d'air et que l'on a pu étudier dans le détail les apports du soleil pour chaque pièce. Personne ne séjournait d'ailleurs dans la maison. Au cours des essais avec les protections solaires, ceux-ci sont restés baissés pendant toute la période de test.

Les mesures effectuées sans utilisation des protections solaires et avec utilisation de celles-ci ont donné lieu aux constatations suivantes:

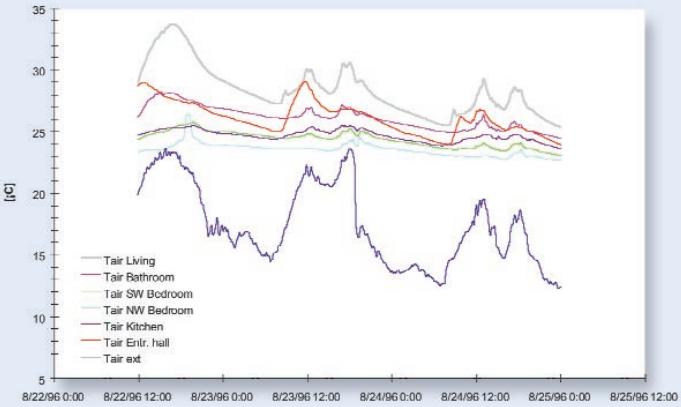


Fig. 15: Mesures sans protections solaires

La température intérieure est toujours supérieure à la température extérieure. S'il y avait des habitants, l'habitation serait toutefois ventilée de manière intensive, ce qui aurait entraîné un climat intérieur un peu plus acceptable.

Les chambres orientées au sud ont dû faire face à la plus forte surchauffe. Même si les chambres orientées au nord n'étaient pas ensoleillées, leur température est restée supérieure à la température extérieure, suite au réchauffement global de l'habitation.

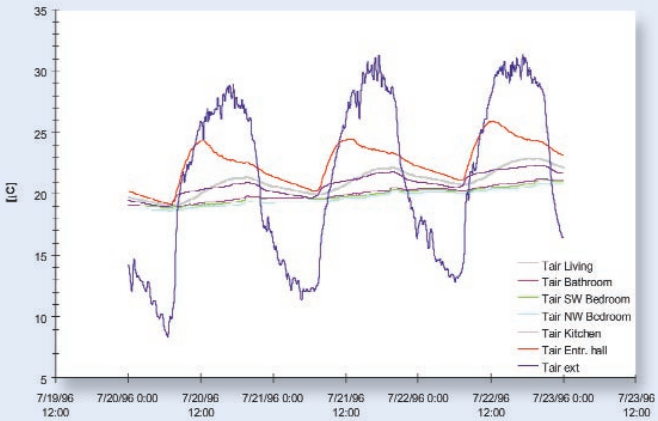


Fig. 16: Mesures avec protections solaires

La température intérieure est restée inférieure à la température extérieure, même pendant les heures les plus chaudes. S'il y avait eu des habitants, il est vraisemblable que pendant la journée, fenêtres et portes auraient été ouvertes, ce qui aurait entraîné une température intérieure un peu plus élevée.

Les chambres orientées au sud ne sont plus les plus chaudes, leur température n'est pas notablement supérieure à celle des chambres orientées au nord.

L'espace le plus chaud est le hall d'entrée orienté à l'est. La cause en est le vitrage sans protection solaire. Ceci n'a toutefois aucun effet sur le climat intérieur de l'habitation. Le hall d'entrée est un espace peu important et les portes intérieures sont restées fermées.

■ Conclusions

Les conclusions sont évidentes. Lors des périodes d'été au cours desquelles les mesures ont été effectuées, le climat intérieur de l'habitation sans utilisation de protections solaires s'est trouvé à un niveau difficilement acceptable. Même pendant une période où la température extérieure était élevée, l'habitation équipée de protections solaires a donné de bien meilleurs résultats. Il est vrai que les mesures ont été effectuées dans une maison non occupée. Dans le cas contraire, les gains de chaleur internes (chaleur métabolique par la présence de personnes et chaleur dégagée par des machines et appareils) et l'ouverture des portes et fenêtres auraient certainement donné lieu à des températures intérieures un peu différentes, mais sans en mettre en cause les conclusions.

	Sans protections solaires	Avec protections solaires
Température extérieure moyenne les jours d'essai	17.4°C	21.3°C
Température extérieure maximale	24°C	30°C
Ensoleillement total sur la façade sud (total pour 3 jours)	9.7 kWh/m²	11.4 kWh/m²
Température minimale et maximale à l'intérieur	22 à 34°C	19 à 23°C

Tableau 5: Résumé des résultats des mesures effectuées dans l'habitation IDEE

Les mesures dans les cellules PASLINK ayant d'abord démontré que la valeur g des protections solaires, en particulier les protections solaires extérieures, est favorable – plus favorable que ne l'indiquerait le calcul simplifié –, les essais dans l'habitation IDEE prouvent que ceci mène effectivement à un meilleur climat intérieur et qu'il y a une différence sensible au niveau de la température intérieure les jours de grande chaleur lorsque l'on utilise une bonne protection solaire.

L'immeuble de bureaux CSTC-B Une troisième série de mesure a été effectuée dans l'immeuble de bureaux B qui fait partie du complexe du CSTC à Limelette. Ce bâtiment comporte 2 niveaux et 18 locaux. Chaque local a une surface vitrée de 3,2 m². Afin d'éviter le manque de confort par la surchauffe en été, plusieurs adaptations et modifications ont été apportées à ce bâtiment. L'objectif des campagnes d'essai était de déterminer l'effet de ces mesures pour ainsi évaluer comment l'on peut, dans la pratique, protéger un bâtiment existant contre la surchauffe due à l'ensoleillement.

Trois actions précises ont été testées:

— La réduction des apports solaires, par l'installation de protections solaires extérieures.
— La diminution des gains internes, par l'utilisation d'un éclairage artificiel plus efficace.
— Le rafraîchissement nocturne du bâtiment, au moyen d'une ventilation naturelle nocturne intensive.

L'influence de chacune de ces mesures sur le confort thermique a été vérifiée. Comme certaines de ces mesures n'étaient pas sans influencer la lumière naturelle, l'on s'est aussi penché sur le confort visuel. Enfin, on n'a pas négligé d'étudier si ces mesures ne s'accompagnaient pas d'une consommation d'énergie plus élevée. Cela mis à part, on a aussi tenté d'avoir une impression d'expérience subjective de confort des utilisateurs des locaux équipés de ces systèmes.

■ L'installation de protections solaires extérieures

Comme l'utilisation de protections solaires extérieures constitue la mesure la plus efficace contre la surchauffe des locaux en été – car le soleil est arrêté avant de pouvoir passer au travers du vitrage – l'on a installé dans certains locaux du premier étage, trois systèmes différents, chacun à commande automatique. En effet, l'automatisation des protections solaires est particulièrement importante parce qu'elle seule permet d'éviter la surchauffe des locaux même lorsque leur occupant est absent.

— Deux locaux de la façade est (239 et 240) ainsi que deux locaux de la façade ouest (226 et 227) ont été équipés d'un store vertical à enroulement (un "screen"), équipé d'une toile en fibre de verre gris clair, transparente, avec un coefficient de transmission énergétique (τ_e) de 11%, un coefficient de réflexion (ρ_e) de 30% et une absorption énergétique (α_e) de 59%. Le coefficient de transmission lumineuse (τ_v) de la toile était de 11%. Grâce à la maille ouverte du tissu, la vue vers l'extérieure est plus ou moins maintenue. Dans un des deux locaux de chaque façade, une grille de ventilation a été installée sur une partie ouvrante de la fenêtre.

— Un store à projection été installé sur deux fenêtres des façades est et ouest (234 et 228.) Le store était équipé d'une toile vert foncé non transparente en polyacrylate, avec un τ_e de 0%, un ρ_e de 9% et un α_e de 91%, le τ_v étant égal à 0%. Le store de 1,60 m de large a été installé avec un angle d'incidence de 60° par rapport à l'horizontale et venait à la hauteur du bord inférieur de la fenêtre.
— Enfin, dans deux autres locaux situés aux façades est et ouest (233 et 229), on a installé une banne à bras articulés équipée de la même toile en polyacrylate vert foncé, d'une largeur de 1.80 m et posée à un angle d'incidence de 45°. Placée un peu plus haut que le store à projection, la partie inférieure de la banne arrivait à peu près à 75 cm sous le bord supérieur de la fenêtre.

Tous les stores ont été commandés par une cellule mesurant l'intensité de l'ensoleillement et par un anémomètre pour la protection contre le gros vent. Aussi, à partir d'une certaine intensité de l'énergie solaire, fixée au préalable, le store descend-il automatiquement, par exemple à 6 heures du matin par une belle journée d'été, bien avant que le personnel n'arrive au bureau. On peut toujours déroger à l'automatisation, au moyen d'un interrupteur, de sorte que le système puisse aussi répondre à des exigences individuelles différentes. Seule la protection contre le vent reste autonome, car il faut veiller à ce que les stores ne soient pas endommagés en cas de tempête ou de vent fort. Il a ètè prévu une seule commande par bureau, de sorte que les locaux équipés de deux screens verticaux ne disposent que d'une seule commande pour les deux protections solaires.

Figure 17: Store intérieur pour une meilleure gestion de lumière dans un hôtel

❑ Résultats des mesures[15]

Les mesures de l'effet des protections solaires sur le confort thermique dans le bâtiment B ont été effectuées pendant les jours les plus chauds de l'été 1996, à savoir une période de 78 jours située entre fin juin et début septembre, et ce parallèlement aux mesures effectuées dans l'habitation IDEE. A l'aide de petits appareils d'enregistrement (du type 'Tinytag'), la température intérieure a pu être mesurée dans tous les locaux du premier étage, y compris dans les locaux où aucune nouvelle mesure n'avait été prise. Les utilisateurs avaient toute liberté concernant l'utilisation du bâtiment, ce qui avait pour effet que certains locaux étaient plus ventilés que d'autres, ne fût-ce que par le nombre de portes ouvertes. Par conséquent, il n'a pas toujours été facile d'interpréter les résultats. Toutefois, il y a eu un certain nombre de constations et de tendances remarquables.

Tout d'abord, comment évaluer les effets? Quels sont les critères de base? C'est ici que servira la notion d'heures de dépassement au delà de 25°C et la notion d'heures degrés. Ces deux notions ont été introduites par le Rijksgebouwendienst néerlandais (l'équivalent de notre Régie des Bâtiments) comme critère objectif pour évaluer le confort thermique. Nous l'avons déjà abordé au chapitre 1. Cette règle veut que dans un immeuble à bureaux dit 'confortable', on ne dépassera la température de 25°C qu'au maximum pendant 5% des heures de travail, c'est-à-dire pas plus de 100 heures par an. Alors, le nombre total d'heures de dépassement donne une idée de la fréquence de la surchauffe tandis que le nombre heures degrés (c'est-à-dire le nombre d'heures au-delà de 25°C multiplié par la différence de température par rapport à 25°C) indique dans quelle mesure il y a surchauffe. Il n'y a pas encore d'unanimité à propos du nombre maximum heures degrés, mais si l'on prend comme hypothèse 6% des heures de bureau par an, l'on arrive à 150 heures degrés au maximum.

La plupart des locaux situés sur la façade ouest du bâtiment B bénéficiaient d'un ombrage structurel important, dû aux bâtiments environnants. Par conséquent, on a plutôt voulu évaluer les effets des protections solaires extérieures sur la façade est. On y a constaté une très nette différence entre les locaux équipés d'une protection solaire et ceux qui n'en avaient pas. En effet, les quatre meilleurs résultats ont été obtenus dans les locaux équipés de stores solaires. Le nombre d'heures degrés excède, il est vrai, le nombre théorique de 150 mais la différence avec les locaux où aucune disposition n'avait été prise est impressionnante. Car le nombre d'heures degrés varie de 945 (pour les locaux 235-236) à 168 (pour le local 234), tandis que le meilleur chiffre pour un bureau sans protection solaire extérieure, le local 232, a été 299 heures degrés. En plus, il faut souligner que ce dernier était favorisé dans la mesure où il y avait peu d'apports de chaleur internes et qu'on s'était servi des stores intérieurs et d'une ventilation.

En moyenne, le nombre d'heures degrés dans les locaux équipés d'une protection solaire extérieure a fortement chuté, d'un facteur 3 à 4 dans certains cas. On remarquera aussi que la ventilation nocturne renforce encore les effets: pour deux locaux identiques, chacun équipé d'une protection solaire extérieure verticale à enroulement, mais dont un local (239) était équipé et l'autre (240) n'était pas équipé d'une ventilation nocturne, l'on a constaté une amélioration d'environ 8% du nombre d'heures degrés. A première vue, ce n'est pas là une contribution spectaculaire. Seulement, si l'on escompte les effets des apports de chaleur internes, le résultat se présente différemment et la contribution de la ventilation nocturne ressort beaucoup mieux. Car, en effet, dans le local 239, l'occupation était beaucoup plus intense, c'est-à-dire deux personnes, avec 7,9 m² par personne seulement, tandis que le local 240 n'était occupé que par une seule personne. On peut donc affirmer que les apports de chaleur supplémentaire sont entièrement compensés par la ventilation nocturne. Le tableau n° 6 reprend les diverses mesures ainsi que la différence entre les locaux. Les mesures d'adaptation prises y sont indiquées avec les abréviations suivantes: SV = équipé d'un store vertical, VN = ventilation nocturne, – = pas de mesure particulière, SP= équipé d'un store à projection, BBA = équipé d'une banne à bras articulés.

Local n°	240	239	238	237	235-236	234	233	232
Nombre heures degrés	194	179	639	553	945	168	270	299
Mesures	SV	SV, VN	–	–	–	SP	BBA	–

Tableau 6: Résultats des mesures dans divers locaux de la façade Est du bâtiment B.

Etant donné que les résultats sont influencés par le taux d'occupation des locaux, déterminant pour les gains internes de chaleur, et par le degré de ventilation, on ne peut tirer des conclusions qu'en comparant des locaux qui, à cet égard, sont comparables. Tel est le cas pour les bureaux n° 234, 237 et 238 où tant les apports internes de chaleur par les ordinateurs et l'éclairage que le taux d'occupation par le personnel étaient identiques. La seule différence était la protection solaire extérieure au local 234, où l'on constate trois à quatre fois moins heures degrés

❑ L'effet selon le type de protection solaire

On a volontairement utilisé trois types différents de protections solaires, à savoir un store vertical à enroulement équipé d'une toile en fibre de verre de couleur gris clair, un store à projection et une banne à bras articulés, ces deux derniers étant équipés d'une toile en polyacrylate de couleur vert foncé. L'objectif était évidemment de déterminer quel type de store fournit la meilleure prestation, tant au niveau du confort thermique que du confort visuel.

On a dû constater qu'il y avait relativement peu de différence, en termes de réchauffement, entre l'effet du store vertical et celui du store à projection. Ceci peut étonner, car le store vertical (τ_e = 11%) devrait laisser pénétrer plus d'énergie que le store à projection (τ_e = 0%). Mais cet effet est probablement compensé par l'importance du rayonnement réfléchi par le sol et qui n'est pas arrêté par le store à projection. En même temps, on a constaté que le nombre d'heures degrés, pour le store vertical au local 240 de la façade est, était supérieur à celui du local 234 équipé d'un store à projection. Côté ouest, on a constaté le contraire. Les différences sont trop faibles pour permettre des conclusions. Par contre, on constatait une différence bien marquée entre ces deux systèmes de protection solaire – store vertical et store à projection – et la banne à bras articulés. En raison

de l'angle d'incidence plus faible de la banne, elle offre moins d'ombrage, mais il faut se dire que la banne est destinée à des applications où l'on veut pouvoir passer en dessous de la banne, comme c'est le cas pour les étalages de magasins ou les terrasses.

❑ L'effet d'ombrage

La protection solaire a comme premier effet de limiter le rayonnement direct du soleil et ainsi de limiter ses apports de chaleur. La mesure à cet égard est la valeur g ou facteur solaire. Le calcul d'après la méthode CEN simplifiée vise d'abord les stores verticaux, c'est-à-dire les cas où le vitrage est totalement couvert par la toile de protection solaire. Pour un store à projection ou une banne à bras articulés, ce calcul n'a pas tellement de sens. En outre, et comme nous l'avons vu, cette méthode comporte une marge de sécurité importante car elle ne tient pas compte de l'aération de l'espace entre la toile et le vitrage, ce qui contribue fortement à l'efficacité. En conclusion, la méthode de calcul simplifiée ne présente qu'un intérêt limité.

C'est pourquoi le CSTC a effectué la comparaison sur base de l'évaluation de "l'ombrage". Pour les stores à projection et les bannes, l'on peut dire que le transfert secondaire de chaleur par la couche d'air entre le verre et la toile est inexistant, en raison de la distance importante entre les deux. Par contre, il y a une contribution non négligeable de la réflexion par le sol. Tandis que pour les stores verticaux, il y a une certaine augmentation de la température entre le verre et la toile, dans la couche qui, par contre, sera ventilée parce que la toile est ouverte sur les côtés et en haut. C'est pourquoi la contribution de cette couche d'air est également difficile à calculer. Une importante caractéristique de la gestion thermique sera donc l'ombrage qui dépend de la dimension de la toile, de l'orientation et de l'angle d'incidence de la fenêtre ainsi que de la période prise en considération, car la situation le matin au lever du soleil est totalement différente de la situation au coucher du soleil.

On s'est servi d'un logiciel[16] qui permet de calculer un facteur d'ombrage en pourcentage, le plus faible chiffre représentant un maximum d'ombrage et 100% signifiant l'absence totale d'ombrage.

Dans le tableau n° 7 figure en pourcentage le facteur d'ombrage moyen d'été pour les différents stores utilisés (orientation est).

Ceci signifie concrètement que le store vertical offre le plus d'ombrage parce qu'il couvre l'ensemble du vitrage tandis que la banne à bras articulés montre un score moins bon que le store à projection. Mais généralement, la banne à bras articulés est choisie à d'autres fins.

Type de store	mai – septembre
Store vertical (locaux 239 et 240)	11
Store à projection (local 234)	15
Banne à bras articulés (local 233)	18

Tableau 7: Facteur d'ombrage en % des protections solaires extérieures pendant les 5 mois d'été (orientation est).

❑ Protections solaires et lumière naturelle

L'utilisation de protections solaires extérieures entraîne évidemment une diminution de la quantité de lumière du jour qui pénètre dans les locaux. L'ampleur de cette diminution dépend du coefficient de transmission lumineuse (τ_v), mais une protection efficace contre l'excès de chaleur réduira facilement la lumière naturelle de 85 à 90%.

Il ressort des mesures effectuées au bâtiment CSTC–B que la banne à bras articulés donne de meilleurs résultats dans ce domaine que le store à projection ou le store vertical. Mais il s'avère que l'effet dépend fortement de la couleur de la toile choisie. Ce qui n'empêche que, dans certains cas, l'utilisation des protections solaires entraînera le recours à l'éclairage artificiel. Pour bien travailler de manière détendue, il faut un éclairement lumineux entre 400 et 500 lux sur le plan de travail. A l'extérieur, un beau jour d'été, cette éclairement atteindra facilement 50.000 à 70.000 lux. Même un jour nuageux, on mesurera au moins 10.000 lux.

La banne à bras articulés sur ce plan donne de meilleurs résultats pour cause de son angle faible de 45° qui libère une plus grande surface de la fenêtre, ce qui fait entrer plus de lumière du jour par les côtés et par les réflexions du sol. Le store à projection laisse pénétrer bien moins de lumière naturelle en raison de son angle d'incidence de 60%. Tant l'ouverture vers le sol que les ouvertures sur les côtés

sont plus réduites.

Le store à enroulement vertical enregistre, sur ce plan, de moins bonnes prestations. Ceci peut étonner, car le store a une transmission directe de 11% de la lumière. Par conséquent, l'apport de lumière du jour devrait s'élever à 11% de la lumière sans protection solaire. L'explication se trouve sans doute dans l'angle d'incidence solaire qui, dans les conditions réelles, est inférieur à l'angle perpendiculaire utilisé pour les mesures en laboratoire. Mais ceci fait également ressortir l'opposition entre les deux objectifs: plus efficace est la protection contre la chaleur, plus faible est l'apport de lumière extérieure.

■ Les autres mesures

Outre les protections solaires dans certains locaux, le bâtiment B a encore fait l'objet d'adaptations partielles dans deux autres domaines: on y a installé de nouveaux luminaires d'éclairage plus efficaces ainsi que des grilles d'aération dans les fenêtres afin de permettre une ventilation nocturne. L'effet de ces dernières a déjà été cité plus haut. La conclusion en a été qu'une ventilation nocturne intensive, combinée à une protection solaire correcte, entraîne une nette amélioration du confort thermique parce que la masse thermique du bâtiment se rafraîchit la nuit. Les mesures dans le bâtiment B confirment ainsi les conclusions d'un autre projet déjà cité dans l'introduction de cette brochure, à savoir le projet PLEIADE. Ce projet *(Passive Low Energy Innovative Architectural Design)* a été mené par la Belgique dans le cadre d'un projet IEA plus large *(International Energy Agency)* qui avait pour but d'évaluer les techniques de construction garantissant une consommation d'énergie faible, voire très faible. La contribution de la combinaison 'protection solaire – ventilation nocturne' en était nettement ressortie et ce de manière extrêmement positive.

La modernisation du système d'éclairage avait comme objectif principal d'assurer un meilleur éclairage à moindre coût en énergie et avec moins de gains thermiques internes – et on y est arrivé. Au lieu des quatre anciens luminaires comportant chacun deux lampes de 40W et un ballast de 20W, soit 400W, on a placé trois lampes modernes de 50 W chacune avec un ballast de 5 W, donc au total 165W, c'est-à-dire presque 60% en moins. En soi, ceci constitue déjà, à consommation égale, une économie de 470 kWh par local et par an. De plus, le système a été équipé de variateurs. On a pu remarquer que l'ancienne installation donnait un éclairement d'environ 500 lux alors que la nouvelle installation, consommant 60% d'électricité en moins, donnait 737 lux sans utiliser les variateurs, et 464 lux en utilisant au maximum les variateurs. Cette expérience montre à quel point les systèmes d'éclairage ont été améliorés récemment.

Réserve inépuisable?

Il y une quinzaine d'années, on pouvait voir en Allemagne sur les pare-chocs de certaines voitures un autocollant avec un message dans le style de "Qu'est-ce que cette discussion sur l'énergie nucléaire? Moi, je prends mon courant dans la prise". *Une allusion pas très raffinée à l'évidence de la disponibilité de l'énergie. Comme l'air, elle est là, voilà. Mais, en fait, si les hydrocarbures génèrent des gaz à effet de serre, si de toute façon leurs réserves sont limitées, si l'énergie nucléaire est devenue politiquement inacceptable et s'il n'y a pas partout de l'énergie hydraulique ou géothermique, alors que faire?*

Steve Schneider de NCAR (National Center for Atmospheric Research), à Boulder, Colorado, nous donne son avis dans National Geographic (10/90): "If we can delay a 2°C increase of global temperature from 2025 to 2050, we will have more time to develop alternate energy sources: nuclear, possibly fusion, is one option, despite its problems. But tapping the sun directly, by solar heat plants, and converting sunlight directly into electricity, is both possible and coming down in cost."

Du Jules Verne?

■ Effet des protections solaires sur la consommation énergétique du bâtiment

Faire fonctionner un store électrique demande évidemment un peu d'électricité pour les moteurs et l'automate de commande. Mais comme les moteurs ne fonctionnent que sporadiquement, cet effet est négligeable. Ce dont il faut tenir compte, c'est l'influence éventuelle des protections solaires sur le niveau de l'éclairage, ce qui peut entraîner une augmentation de la consommation d'électricité par un besoin accru d'éclairage artificiel. Cependant, lorsque l'on fait un bon choix au niveau du coloris et de la transparence de la toile, on peut réduire cet effet dans une large mesure.

Il est certain que dans des bâtiments équipés de conditionnement d'air, l'emploi d'une protection solaire entraînera une sérieuse économie d'énergie. Pour chaque unité (W) d'augmentation de la température évitée par le store, on économisera un tiers à un demi Watt au niveau de la consommation du système de conditionnement.

5 Conclusions

Le projet VLIET – Surchauffe des Immeubles dans les Conditions d'Eté, dont la réalisation s'est étalée sur deux ans, a fourni un trésor d'informations au sujet du climat intérieur, de la consommation d'énergie, de la fiabilité des logiciels de simulation ainsi que des effets des protections solaires sur le confort, tant thermique que visuel, et sur l'économie d'énergie.

Les mesures à plusieurs niveaux ont clairement démontré que les protections solaires peuvent apporter une contribution importante à l'amélioration du confort d'été et qu'elles permettent souvent d'éviter le conditionnement d'air. Bien entendu, l'industrie de la protection solaire se félicite de la confirmation scientifique de ce qu'elle a toujours promis à ses clients.

Il existe des logiciels permettant de calculer, concrètement pour un cas précis, la contribution d'une protection solaire extérieure au bilan énergétique et au confort d'été. On peut ainsi calculer quelle sera la température intérieure et la consommation d'énergie avec et sans store solaire, et constater de combien de degrés la température intérieure diminuera pendant l'été, grâce à ces protections solaires. Souvent, on peut constater sous notre climat que le conditionnement d'air devient superflu si l'on utilise une bonne protection solaire. Au cas où le conditionnement d'air serait prévu d'office, les calculs indiquent dans quelle mesure l'emploi d'une protection solaire permet de réduire les besoins énergétiques pour le refroidissement. Selon la nature des bâtiments, de la surface vitrée et de leur orientation, cette économie peut facilement atteindre 30 à 50%.

Un immeuble moderne, en particulier un immeuble de bureaux, est souvent équipé d'un système de gestion centralisée qui intègre plusieurs systèmes ayant une influence sur le climat intérieur, tels le chauffage, l'éclairage, le conditionnement d'air, la ventilation et … le système de protection solaire, de manière à faire gérer par ordinateur une série de techniques afin d'optimaliser le confort thermique. Le tout premier objectif est de réaliser une économie d'énergie afin d'ainsi limiter le coût du bâtiment. Indirectement, l'économie d'énergie entraînera aussi une réduction des émissions de CO_2. Depuis la Conférence de KYOTO, l'Europe a pris l'engagement de réduire sévèrement les émissions des gaz de combustion et de limiter ainsi le risque de l'effet de serre et de l'augmentation de la température sur terre.

C'est la raison pour laquelle l'on a introduit récemment en Flandre la Réglementation sur les Prestations Energétiques. L'objectif en est d'élaborer un cahier complet d'exigences auxquelles doit répondre un immeuble confortable. Cela devra finalement aboutir à une diminution de la consommation d'énergie. À cet égard, les protections solaires peuvent fournir une importante contribution en réduisant la nécessité de refroidissement d'un bâtiment. Nous pensons que, dans quelques années, bon nombre de grands immeubles de bureaux disposeront d'un bon système de gestion centralisée dont la protection solaire fera partie intégrante. C'est probable et souhaitable.

De cette façon, la protection solaire pourra, en tant qu'élément intégral d'un tel système de gestion centralisée de bâtiment, apporter sa contribution à la noble tâche qui consiste à réduire les émissions de gaz à effet de serre, tout en répondant au besoin quotidien d'un bon climat intérieur.

Glossaire de termes, unités et autres mots difficiles

CONCEPT	SYMBOLE	DÉFINITION
Absorption énergétique	α_e	Différence entre la quantité totale d'énergie solaire incidente et la somme de la réflexion énergétique et de la transmission énergétique
Candela	cd	Unité de mesure d'intensité lumineuse, 1 cd = 1 lumen par stéradian
CEN		Comité européen de Normalisation
CSTC		Centre Scientifique et Technique de la Construction
DIN		Deutsche Industrie Norm, pendant de l'IBN (Institut belge de Normalisation)
Ensoleillement		Quantité d'énergie solaire reçue, exprimée en kWh/m²
EPR		Energie Prestatie Regelgeving: future réglementation flamande destinée à réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments en stimulant l'utilisation de techniques de construction intelligentes, dont les protections solaires. Parfois appelée EPN (Energie Prestatie Normering). En français: Réglementation Thermique, cfr. RT2000 en France, EnEV en Allemagne
Facteur de transmission lumineuse	LTA	Facteur absolu de transmission lumineuse : fraction du rayonnement lumineux reçu que laisse passer un vitrage, quelle que soit sa sorte, ou une toile de protection solaire, dans la partie visible du spectre solaire (λ entre 380 et 780 mm)
Facteur solaire	FS	Aujourd'hui appelé valeur g, soit le pourcentage total de l'énergie qui pénètre à l'intérieur par une fenêtre, équipée ou non d'une protection solaire. Mesure de l'efficacité d'une protection solaire.
Heures de dépassement		Nombre d'heures de dépassement de la température de 25°C (voir également heures degrés). Elément de mesure pour le confort thermique, utilisé par le Nederlandse Rijksgebouwendienst.
Heures-degrés		Nombre d'heures au cours desquelles la température est supérieure à 25°C (voir également "heures de dépassement")
Infrarouge lointain	FIR	Plage du spectre électromagnétique avec λ entre 50.000 et 1000.000 nm, longueur d'onde du rayonnement thermique à basse température
Infrarouge moyen	MIR	Plage du spectre de la lumière solaire dont la valeur λ se situe entre 2.500 et 50.000 nm : correspond au rayonnement thermique à température ambiante
Infrarouge proche	NIR	Plage du spectre de la lumière solaire dont la valeur λ se situe entre 780 et 2.500 nm, rayonnement infrarouge du soleil et rayonnement thermique à haute température
Longueur d'ondes	λ	Unité de longueur d'ondes du spectre de rayonnement, généralement exprimée en nm
Low-E-glass		Low Emissivity Glass ou vitrage à faible émissivité: en prévoyant une enduction spéciale sur le verre, on améliore la valeur U du vitrage
Lumen	lm	Unité de mesure du flux lumineux
Lumière visible		Partie du spectre de la lumière solaire située entre 380 et 780 nm
Luminance	cd/m²	Rapport de l'intensité du rayonnement émis par une source dans une direction donnée, à la projection de la surface de cette source sur le plan perpendiculaire à la direction d'observation
Lux	lx	Unité de mesure d'éclairement lumineux, 1 lx = 1 lm/m²
Marquisolette		Type de store qui descend à la verticale, puis vers l'avant, en deux mouvements.
Nanomètre	nm	Un mètre multiplié par 10^{-9} = un milliardième de mètre.
Openness factor	OF	Rapport entre la surface des ouvertures dans un tissu, projetée verticalement, et la surface du matériau non ouvert, projetée verticalement, exprimé en %
PHD		Nombre pondéré d'heures de dépassement de la température
Rayonnement diffus		Rayonnement solaire indirect, c'est-à-dire au travers de nuages, de molécules d'eau et de grains de poussière
Rayonnement UV-A		Rayonnement ultraviolet avec λ entre 315 et 380 nm
Rayonnement UV-B		Rayonnement ultraviolet avec λ entre 280 et 315 nm, fait bronzer
Rayonnement UV-C		Rayonnement ultraviolet avec λ entre 10 et 280 nm
Réflexion énergétique	ρ_e	Rapport entre la quantité totale d'énergie réfléchie et la quantité totale d'énergie reçue
Réflexion lumineuse	ρ_v	Rapport entre la quantité totale de lumière réfléchie et la quantité totale de lumière reçue
Screen		Dénomination courante pour une toile en fibre de verre, par extension également employée pour désigner un store solaire vertical à enroulement pour applications extérieures
Spectrophotomètre		Instrument de mesure permettant de mesurer les valeurs de transmission et réflexion énergétiques et lumineuses, et ce dans une plage de longueur d'ondes de 185 à 3.500 nm.
Stéradian	sr	Unité de mesure d'angle solide
Store à bras articulés		Souvent appelée «tente solaire»: store à fixer au mur, destiné aux terrasses, étalages de magasins etc., s'ouvre en dépliant une ou deux paires de bras articulés
Store à projection		Type de store de protection solaire qui se déploie devant la fenêtre, sous un angle grâce à deux bras qui descendent latéralement dans un plan vertical
TC		Technical Committee au sein du CEN.
Toile acrylique		Dénomination courante pour un tissu en fibres de polyacrylate
Transmission énergétique	τ_e	Rapport entre la quantité totale d'énergie transmise et la quantité totale d'énergie reçue
Transmission lumineuse	TL, τ_v	Rapport entre la quantité totale de lumière qui passe et la quantité totale de lumière reçue
Transmission UV	τ_{UV}	Rapport entre la quantité totale d'énergie transmise et la quantité totale d'énergie reçue, dans la plage du spectre solaire UV standardisé
Valeur g	g	Anciennement 'facteur solaire', mesure de l'efficacité énergétique d'un store solaire (en néerlandais g-waarde ou ZTA)
Valeur U	U	Coefficient de transmission thermique d'un matériau, exprimé en W/m²K, appelé autrefois 'valeur k'
WG		Working Group au sein du CEN-TC

notes

1 Abréviation de *Vlaams Impulsprogramma voor Energietechnologie*

2 *"L'application de la stratégie d'ombrage et de la ventilation nocturne a montré, durant les conditions climatiques sévères des étés 1995 et 1997, qu'il est tout à fait possible de garantir les exigences du confort thermique d'été, en évitant les surchauffes dues à l'ensoleillement"*, A. Deherde, P. Wouters et al. , *PLEIADE : Conclusions*, Ministère de la Région wallonne, 1998

3 Vandaele L et al., *Moderne Kantoren: Meer Comfort Met Minder Energie*, édition CSTC et Ministère de la Communauté flamande, Bruxelles, juin 2001.

4 Wouters P, Martin S, Vandaele L, *Vensters, bouwfysisch bekeken : Ontwikkelingen en Trends,* Bruxelles, WTCB-Tijdschrift 1995 & 1997.

5 Source : *Meteonorm, Global Meteorological Database for Solar Energy, version 4.0*, par Meteotest, Berne, CH

6 Vous trouverez des informations intéressantes à ce sujet sur le site *www.epa.gov/globalwarming*

7 Wouters P et al., *Op. Cit.*

8 En néerlandais *Absolute Zontoetredingsfactor* ou ZTA, en allemand *g-Wert* ou *Gesammtenergiedurchlassgrad*, en anglais *Solar Heat Gain Factor.*

9 En néerlandais *Relatieve Zontoetredingsfactor* ou ZTR, en allemand *b-Wert* ou *Durchlassfaktor b*, en anglais *Shading Coefficient*, ou SC.

10 *Moderne Kantoren:* voir 3

11 En Allemagne, on parle de *Wärmeschutz* et de *Blendschutz*, pour bien indiquer que l'on attend deux fonctions distinctes. Il arrive souvent que l'on retrouve deux systèmes sur une même fenêtre: une protection solaire extérieure pour éviter la surchauffe et une protection solaire intérieure pour gérer la lumière

12 Ce projet, PROBE *(Pragmatic Renovation of an Office for a Better Environment)*, a démontré que le remplacement de l'éclairage par des luminaires modernes, efficaces, dotés de tubes fluorescents à haute fréquence, entraîne une sérieuse diminution de la consommation d'énergie tout en assurant une sensible amélioration du confort visuel et du confort thermique.

13 Un laboratoire et institut de recherche réputé, situé à Delft (NL). (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek)

14 Source: *VLIET: Oververhitting van Gebouwen in Zomervoorwaarden*, 1995-1997, rapport partiel n° 4: Testactiviteiten in PASLINK testcellen, pp. 29/29.

15 Source : idem, rapport partiel n° 9: Activiteiten Gebouw B, 1997.

16 Ce logiciel, dénommé *'SolarCal'*, a été développé par Dr Zoltan Somogyi, en collaboration avec le CSTC. Il permet de calculer l'ombrage sur une fenêtre, provenant des protections solaires, mais aussi de bâtiments et d'arbres, et d'en tirer de façon simple une représentation graphique. Un facteur 1 ou 100% équivaut à une absence totale d'ombrage.

VEROZO®

Rue Katteput 20, boîte 24
1082 Bruxelles

L'Union Professionnelle Belge de Producteurs de Volets et Protection Solaires, en bref VEROZO, a été fondée aux termes de la Loi sur les Unions Professionnelles. Ses statuts ont été approuvés par le Conseil d'Etat.

Les sociétés suivantes sont membres de VEROZO:

BOFLEX N.V.
Genkersteenweg 313
3500 HASSELT
tel.: 011 – 300 400
fax: 011 – 24 31 44
e-mail: info@boflex.be
website: http://www.boflex.be

L. BRUTSAERT N.V.
Lourdesstraat 84
8940 GELUWE
tel.: 056 – 53 18 53
fax: 056 – 53 18 20
e-mail: info@brustor.com
website: http://www.brustor.com

DICKSON CONSTANT
Postbus 58
8940 WERVIK
tel.: 056 – 84 04 08
fax: 056 – 84 03 10
e-mail: info@dickson-constant.com
website: hhtp://www.dickson-constant.com

HAROL N.V.
Industriepark 3
3290 DIEST
tel.: 013 – 38 01 11
fax: 013 – 31 48 03
e-mail: info@harol.be
website: http://www.harol.be

HELIOSCREEN N.V.
Dijkstraat 26
9160 LOKEREN
tel.: 09 – 348 90 00
fax: 09 – 348 06 69
e-mail: admin@helioscreen.be
website: http://www.helioscreen.com

KESTELYN SUNPROTECTION N.V.
I.Z. Hoge Akker 6 – A. Porreyestraat 6
8908 VLAMERTINGE
tel.: 057 – 21 74 11
fax: 057 – 21 85 71
e-mail: kestelyn@kestelyn.be
website: http://www.kestelyn.be

RENOROL S.A.
Rue de Houtain 30A
4280 HANNUT
tel.: 019 – 63.20.20
fax: 019 – 63.21.21
e-mail: renorol.sa@belgacom.net

N.V. SOMFY S.A.
Mercuriusstraat 19
1930 ZAVENTEM
tel.: 02 – 712 07 70
fax: 02 – 725 01 77
e-mail: info@somfy.be
website: http://www.somfy.be

J. WILMS N.V.
Molsebaan 20
2450 MEERHOUT
tel.: 014 – 36 99 70
fax: 014 – 30 96 47
e-mail: wilms@wilms.be
website: http://www.wilms.be

WINSOL N.V.
Roeselaarsestraat 542
8870 IZEGEM
tel.: 051 – 33 18 11
fax: 051 – 33 19 91
e-mail: info@winsol.be
website: http://www.winsol.be