Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 108 (1982)
Heft: 7

Artikel: Eblouissement des capteurs solaires
Autor: Antipas-Schmid, Michèle
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74647

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eblouissement des capteurs solaires

par Michèle Antipas-Schmid, Lausanne

L'éblouissement des capteurs solaires peut apparaître comme un problème mineur. Cependant, dans la réalité, il est fréquemment soulevé au moment de la procédure d'autorisation de construire comme un obstacle difficile à surmonter dans la mesure où aucune démonstration objective de son existence n'est apportée. Dans ces conditions, l'élaboration d'une méthode simple d'évaluation de ce phénomène[1] définissant les paramètres essentiels — traces des rayons réfléchis, durée, intensité — permet de clarifier les discussions entre partenaires concernés, afin de prendre des décisions appropriées légales et techniques.

1. Pourquoi une telle étude?

Les diverses recherches entreprises dans le domaine de l'utilisation de l'énergie solaire par l'IREC (Institut de recherche sur l'environnement construit — EPFL) permettent d'identifier une série d'obstacles limitant son développement, obstacles techniques, architecturaux, esthétiques, réglementaires et psychologiques. Le problème de l'éblouissement des capteurs solaires cristallise sous différentes formes ces difficultés.

En effet, lorsque les autorités ou les voisins s'opposent à une réalisation solaire active ou passive en argumentant sur le risque d'éblouissement, souvent en réalité ils s'inquiètent également des caractéristiques esthétiques du projet. Ce phénomène de réticence et d'ambiguïté dans les réels motifs d'opposition se trouve renforcé par l'absence d'instruments d'appréciation objective de la réflexion des collecteurs ou des surfaces vitrées en général. Il est en effet remarquable de constater que l'utilisation de grandes surfaces vitrées représentatives d'un courant architectural fort développé depuis de nombreuses années n'a pas provoqué de réactions sur la gêne visuelle qu'elles peuvent engendrer; c'est seulement avec l'apparition des capteurs solaires que le problème a réellement été soulevé (fig. 1).

Se basant sur ces constats, notre recherche est centrée d'une part sur l'analyse de réalisations solaires existantes, afin de définir les diverses implications légales, techniques, architecturales, liées à la possibilité, pour une installation solaire, de provoquer de l'éblouissement, et d'autre part sur le développement d'une méthode simple permettant de vérifier les paramètres essentiels définissant la réflexion d'un miroir (traces des rayons réfléchis, époque de l'année, durée, intensité).

2. L'éblouissement potentiel: quelles conséquences dans la réalité?

Les installations solaires situées dans diverses régions de la Suisse pour lesquelles le problème de l'éblouissement a été soulevé sont révélatrices:

— de l'inexistence de moyens objectifs de vérification du phénomène de gêne visuelle tel qu'il se pose en architecture;

— des difficultés inhérentes à l'utilisation de l'énergie solaire dans un contexte où ni la réglementation, ni l'aménagement du territoire n'ont été pensés en fonction de ce paramètre;

— d'une appréhension, souvent d'ordre esthétique, face aux conséquences d'une généralisation des installations solaires.

Dans la plupart des cas, cette absence d'argumentation technique définissant les risques d'éblouissement a conduit à des oppositions, tant de la part des autorités communales que des voisins, mêlant à la fois crainte d'une gêne visuelle et difficulté d'appréciation de l'aspect esthétique de l'installation solaire projetée.

Dans ce contexte, les pouvoirs publics ont eu généralement recours à deux types de décisions, les unes conduisant à une modification du projet, les autres à des restrictions légales. Les changements intervenus dans le projet peuvent être fondamentaux, tels la suppression de la couverture transparente avec des conséquences sur le rendement bien évidentes ou des changements annexes; tels la création d'une protection visuelle.

Mais les restrictions légales constituent les solutions généralement choisies.

Qu'il s'agisse d'enquête administrative ou publique avec ou sans opposition, la prescription obligeant le propriétaire à démolir son installation solaire en cas de gêne représente le moyen légal mis en place le plus couramment par les communes pour se garantir une possibilité de modifier leur décision une fois l'installation solaire réalisée; un autre moyen parfois employé est de demander l'accord préalable de tous les voisins. Ces deux solutions créent pour le propriétaire d'une installation solaire des contraintes supplémentaires qui peuvent être dissuasives, bien qu'à notre connaissance aucune réalisation n'a encore été démolie pour ces raisons.

Le prolongement du temps de mise à l'enquête provoqué par des compléments d'information demandés au propriétaire, parfois à des experts, constitue également un des bons moyens de dissuasion utilisés volontairement ou pas par les autorités.

L'application, à tous ces cas reconnus comme pouvant provoquer de l'éblouissement, de la méthode d'évaluation que nous avons élaborée montre que, pour la moitié des réalisations, le risque d'éblouissement est inexistant et donc toute prescription spéciale inappropriée.

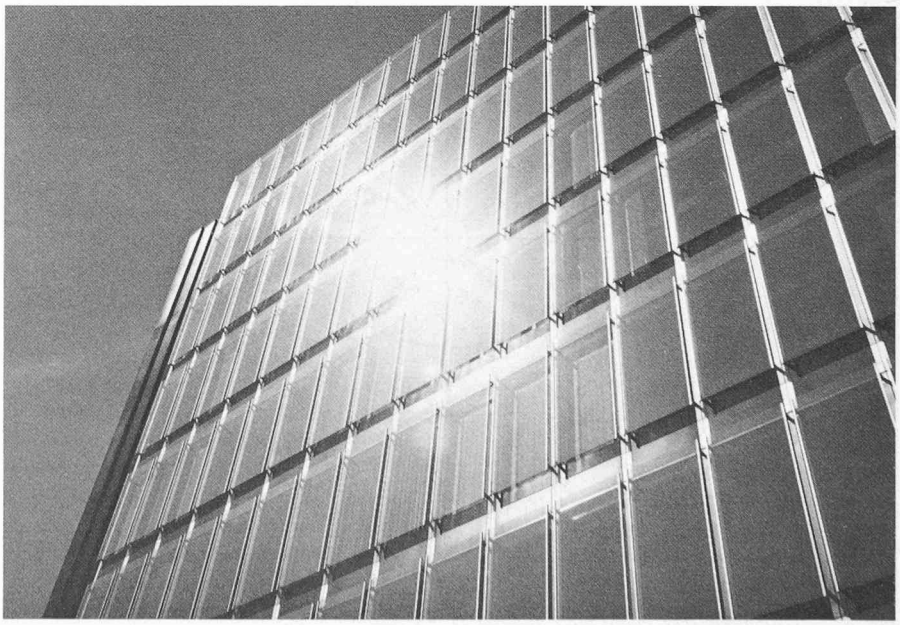

Fig. 1. — Réflexion du soleil sur la façade vitrée d'un bâtiment administratif.

[1] « Eblouissement des capteurs solaires », Michèle Antipas, Alain Garnier, Marc Gandar (pour le traitement informatique). IREC 1981 — Etude mandatée par l'Office fédéral de l'énergie (KNS).

Pour un autre quart, les mesures réglementaires appliquées sont hors d'échelle par rapport à la très faible importance du phénomène d'éblouissement et aux risques mineurs encourus.
Seulement un quart des réalisations étudiées nécessite une estimation précise du phénomène d'éblouissement, qui seule permet aux autorités publiques de statuer objectivement. Il est cependant remarquable de constater que, dans tous ces cas, l'installation solaire placée en façade est assimilable à une grande surface vitrée qui fait rarement l'objet de telle vérification ou difficulté d'acceptation.

3. Méthode d'évaluation

Une contrainte importante que nous avons fixée lors de l'élaboration de cette méthode concerne sa facilité d'emploi, afin de la généraliser le plus possible et de rendre son utilisation accessible aussi bien aux professionnels, aux pouvoirs publics qu'aux particuliers. Cette méthode bien qu'approximative est cependant suffisamment fiable pour admettre ou écarter une plainte ou une opposition, elle se décompose en trois phases de vérification:

— l'analyse de la trajectoire des rayons réfléchis (trace)
— l'importance de l'éblouissement
— la durée.

Nous ne pouvons dans l'espace d'un article que donner les grandes lignes de cette méthode. Bien que nous allons l'expliciter, au travers d'un exemple, son utilisation dans la pratique exige de se référer au rapport de recherche complet à disposition à l'IREC, car nous ne pouvons ici ni reproduire tous les graphiques, ni expliquer toutes les équations.

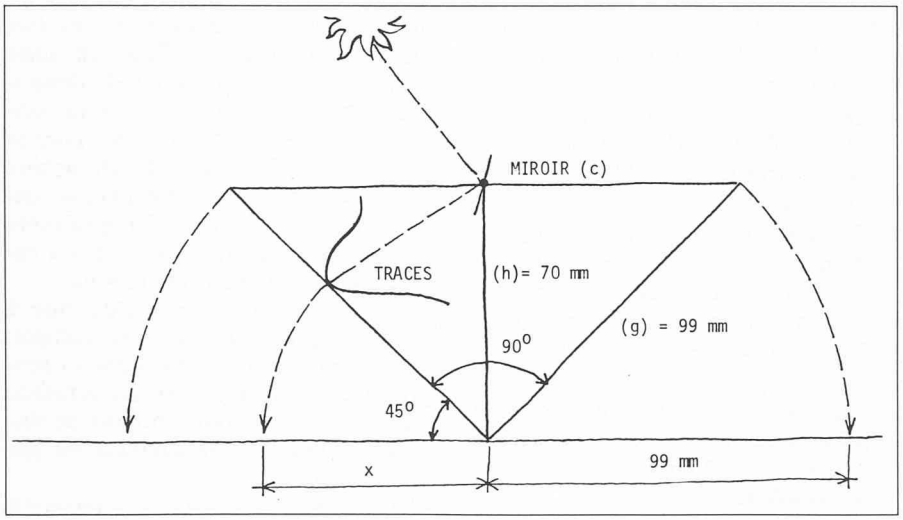

Fig. 2. — Dimensions du cône de référence.

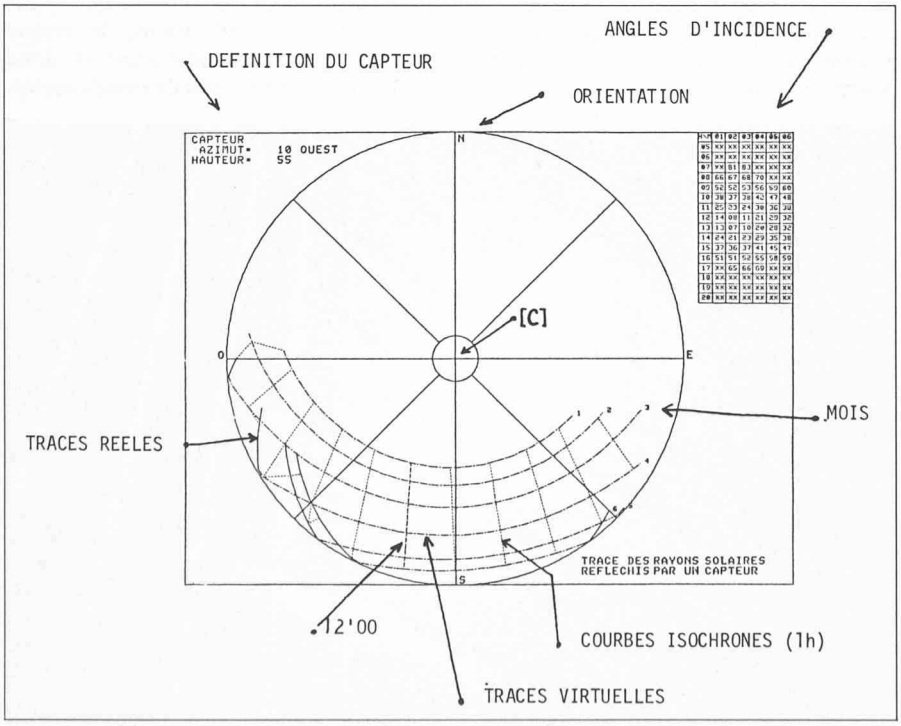

Fig. 3. — Graphique type établi pour différentes orientations et inclinaisons de capteur montrant les traces des rayons réfléchis pour chaque mois.

3.1 *L'analyse de la trajectoire des rayons réfléchis (trace): la méthode du cône*

La méthode du cône est une méthode graphique simplifiée permettant de définir la trace d'un rayon solaire réfléchi par un capteur sur la surface intérieure d'un cône renversé. Le choix d'une surface conique permet, contrairement à une surface plane, d'éviter que le rayon réfléchi soit parallèle à cette surface et que la trace ne se perde à l'infini.
L'application de cette méthode doit permettre de vérifier si un point donné de l'espace est susceptible d'être touché par la réflexion d'un capteur à un moment donné du jour et de l'année.
Les diverses traces des rayons solaires réfléchis sont reportées sur des graphiques représentant une vue en plan par rabattement du cône. Les cartes graphiques représentent les traces réelles ou virtuelles de rayons solaires (venant du capteur symbolisé par le centre du dessin) sur un cône renversé dont la génératrice (g = 99 mm) est inclinée de 45° par rapport à l'horizontale et dont la hauteur h = 70 mm (fig. 2).
Les graphiques ont été construits à partir des choix suivants (fig. 3):

— 1 courbe par mois (le 21e jour du mois);
— 11 inclinaisons différentes de capteurs: 20°, 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60°, 65°, 70°, 90° (correspondant à l'angle arrière du capteur par rapport à l'horizontale);
— 7 orientations: plein sud (azimut 0), 10°, 20°, 30° est; 10°, 20°, 30° ouest.

La lecture des graphiques montre que pour toutes les inclinaisons de capteurs inférieures à 55°, les traces des rayons solaires réfléchis, à n'importe quel moment du jour ou de l'année, sont virtuelles, se situant donc au-dessus du plan horizontal du capteur, ce qui signifie qu'une possibilité d'éblouissement n'existe que si l'observateur est placé au-dessus de l'altitude de l'installation solaire.

3.2 *Importance de l'éblouissement*

L'éblouissement est une indication subjective de la clarté. Il dépend d'une série de facteurs difficilement quantifiables tels que:

— la sensibilité de l'œil humain;
— la durée de la perception lumineuse;
— l'intensité de la lumière ambiante.

Nous avons choisi de quantifier l'éblouissement par un coefficient E qui représente le rapport (en %) entre la quantité de rayonnement solaire réfléchi par un miroir (capteur) et le rayonnement solaire direct lui-même pour l'œil de l'observateur.
Le rayonnement réfléchi peut être diminué par les facteurs suivants:

— le miroir n'est pas parfait (coefficient de réflexion <1);

— l'observateur, éloigné du miroir, ne perçoit qu'une portion du disque solaire (0,009 r);

— l'angle incident du rayonnement solaire est grand et l'observateur ne perçoit qu'une portion du disque solaire;

— la réflexion des matériaux de couverture varie avec l'angle d'incidence du rayon lumineux.

Sur la base de ces considérations, nous avons défini l'importance de l'éblouissement de la manière suivante:

$$E = \frac{[1 - f(\cos\beta, \overline{D}, R)] \cdot S}{100}$$

β = angle d'incidence entre la normale au miroir et le rayon réfléchi. Cet angle déterminé pour chaque heure du jour, à chaque époque de l'année, se trouve dans les graphiques.

$\overline{D}$ = diamètre moyen des cercles inscrits et circonscrits du capteur.

R = distance en m entre le miroir et l'observateur.

S = coefficient de réflexion en % (fig. 4). La réflexion des matériaux transparents utilisés pour des capteurs solaires varie avec l'angle d'incidence et avec l'indice de réfraction. Cet indice de réfraction (N) varie entre 1,34 pour le Teflon et 1,53 pour le verre qui représente une valeur moyenne courante pour la plupart des matériaux de couverture utilisés.

$$f(\cos\beta, D, R) = 0$$

$$si \ \frac{\overline{D} \cdot \cos\beta}{R} > 0{,}009$$

$$f(\cos\beta, D, R) = 1 + \frac{\overline{D} \cdot \cos\beta^2}{R \cdot 0{,}009}$$

$$si \ \frac{\overline{D} \cdot \cos\beta}{R} < 0{,}009$$

0,009 (radian) étant l'angle d'ouverture du cône solide formé par le disque solaire.

Concernant le choix des matériaux de couverture, l'on constate que plus l'angle d'incidence est grand, plus la réflexion est importante. Les différences de ces coefficients de réflexion entre les divers matériaux deviennent négligeables pour les fortes incidences; on peut en déduire que le choix d'un matériau de couverture n'a guère d'influence sur l'éblouissement présumé des capteurs.

3.3 *Durée de l'éblouissement*

L'évaluation de la durée de l'éblouissement du rayonnement solaire direct réfléchi dépend essentiellement de la grandeur apparente du capteur.

Si l'angle solide du miroir apparent est plus petit que celui du soleil (0,009) alors la durée d'éblouissement sera approximativement égale au temps qui sépare l'entrée du disque solaire dans le capteur de sa sortie. Ce temps est d'environ 2 min, qui correspond à la vitesse angulaire de déplacement du disque solaire évaluée à 2 min/0,009 r.

Si l'angle solide du miroir apparent est sensiblement plus grand que celui du soleil, on aura:

durée d'éblouissement:

$$d_e = \frac{\overline{D} \cdot \cos\beta \cdot 2 \text{ min}}{R \cdot 0{,}009}$$

C'est-à-dire que si la progression angulaire du soleil est d'environ 2 min pour 0,009 r, on aura une durée d'éblouissement qui sera directement proportionnelle au nombre d'angle solide du soleil compris dans l'angle solide du capteur apparent.

Cette méthode est très approximative: elle ne tient pas compte d'un facteur de correction qui devrait être appliqué à la vitesse angulaire du soleil au milieu de la journée, par rapport à la vitesse apparente le matin et le soir.

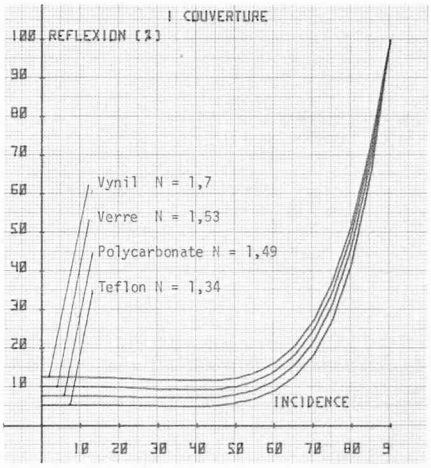

Fig. 4. — Coefficient de réflexion en fonction de l'angle d'incidence pour différents types de matériaux de capteurs possédant différents indices de réfraction (N).

4. Application de la méthode

A titre d'illustration et sans prétendre cependant expliciter tous les points de la méthode, nous avons établi une vérification sur une maison solaire combinant système actif et passif en façade sud-est (32°), comprenant 24 m² de capteurs plans à air avec une couverture en polycarbonate alvéolé et 32 m² de surface vitrée pour une serre, tous deux inclinés à 75° (fig. 5).

Dans notre vérification, nous avons choisi 3 points de contrôle (fig. 6):

P_1 — dans le jardin du voisin le plus proche

P_2 — sur la route bordant la maison

P_3 — sur une autre route plus éloignée d'où la façade sud-est de la maison est visible sur une longue distance.

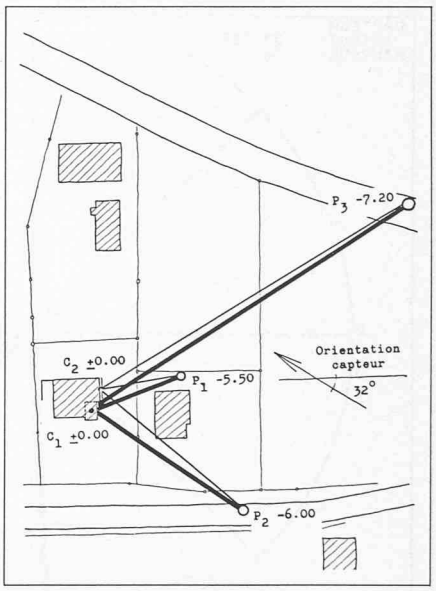

Fig. 6. — Plan de situation de la maison solaire et position des trois points d'observation choisis pour la vérification de la méthode.

Fig. 5. — Maison solaire combinant systèmes passif et actif, au second plan.

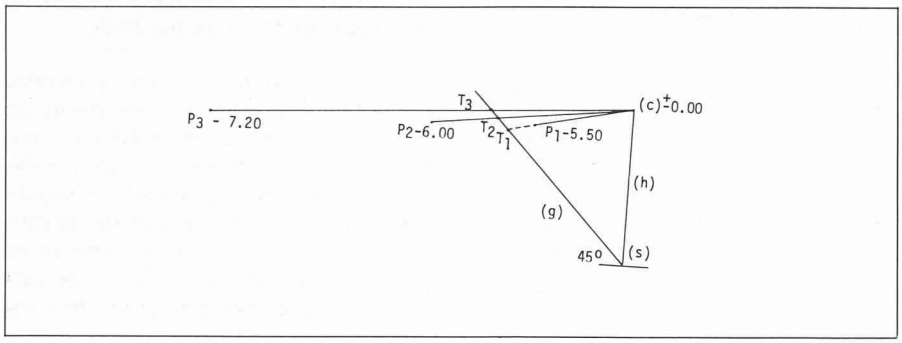

Fig. 7. — Report des trois points en élévation pour en déterminer les intersections avec la génératrice du cône de référence (échelle indifférente).

Sur la base du plan de situation, nous avons d'abord cherché l'intersection T_1, T_2, T_3 de ces points avec la génératrice du cône en élévation (h = 70 mm et G = 99 mm étant fixe) (fig. 7).

Ces points T_1, T_2, T_3 ont été reportés sur les graphiques correspondant à une inclinaison de 70° du capteur par une orientation de 30° est (fig. 8).

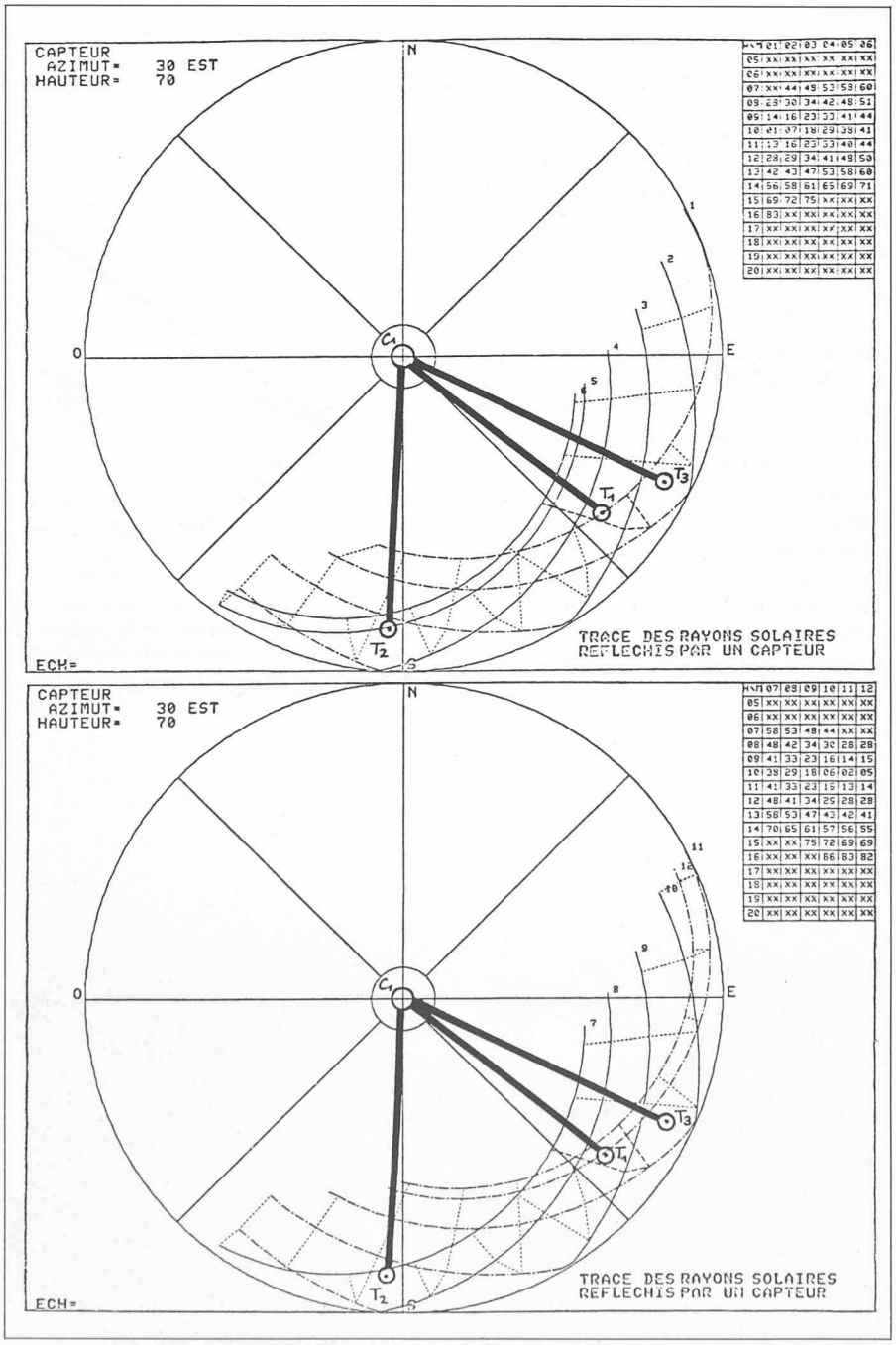

Fig. 8. — Report des points T_1, T_2, T_3 sur les graphiques correspondant à des capteurs orientés 30° Est et inclinés à 70°.

Sur la fig. 8, nous trouvons pour les trois points à la fois *l'époque d'éblouissement* et son *heure moyenne* pour P_1 = 12′10, P_2 = 8′35 P_3 = 12′45. Dans la détermination de l'époque d'éblouissement, nous indiquons, pour chaque point, d'abord une date absolue correspondant au point médian C, cette valeur est ensuite corrigée lorsque la surface réelle de l'installation solaire est prise en compte pour obtenir des périodes d'éblouissement (fig. 9). Nous constatons normalement la symétrie dans les périodes d'éblouissement par rapport au solstice d'été.

En appliquant la formule E pour calculer l'*importance de l'éblouissement*, nous obtenons pour chaque point deux valeurs de E: E_1 étant la valeur pour le verre et E_2 celle pour le polycarbonate alvéolé que nous avons assimilé à une double couche. La fonction f (cos β, $\overline{D}$, R) = 0 pour les 3 points, car l'angle d'ouverture du capteur apparent est supérieur à 0,009 radian. Quant à la valeur S (coefficient de réflexion) elle est indiquée sur la figure 4 en fonction de l'angle d'incidence déterminant (voir fig. 8).

Pour P_1: $E_1 = \dfrac{(1-0)\cdot 7{,}4}{100} = 7\,\%$

de la valeur du rayonnement direct du soleil

$E_2 = \dfrac{(1-0)\cdot 13{,}3}{100} = 13\,\%$

Pour P_2: $E_1 = 7\,\%$ $E_2 = 14\,\%$

Pour P_3: $E_1 = 7\,\%$ $E_2 = 14\,\%$.

Les pourcentages obtenus représentent des valeurs faibles par rapport au 100 % du rayonnement direct du soleil, cependant l'éblouissement des capteurs solaires en polycarbonate alvéolé est sensible, constatation faite sur place, par rapport au verre simple de la serre; le polycarbonate et surtout son façonnage produisant, par un phénomène de diffraction, un effet de lumière blanche ne donnant pas une image nette du disque solaire (fig. 10).

Pour la *durée de l'éblouissement*, en se référant à la formule établie d_e, l'on obtient pour chaque point les valeurs suivantes ($\overline{D}$ = 11 m longueur de la façade).

$d_e\ P_1$ = 108 min

$d_e\ P_2$ = 38 min

$d_e\ P_3$ = 22 min.

Très logiquement, nous constatons que la durée diminue avec la distance.

5. En conclusion

Pour que la probabilité d'une gêne d'éblouissement par des capteurs solaires soit significative, il faut qu'un certain nombre de conditions entrent en conjonction:

Points de vérification	Date correspondant au point médian C	Epoques réelles d'éblouissement
P_1	5 avril 9 septembre	22.3-18.4 26.8-22.9
P_2	20 mai 27 juillet	6.5-21.6 13.7-11.8
P_3	6 mars 6 octobre	23.2-19.3 26.20-22.11

Fig. 9. — Période d'éblouissement pour chaque point P_1, P_2, P_3.

a) La surface des capteurs doit être grande, car elle influence à la fois l'importance et la durée de la gêne visuelle.

b) Les capteurs doivent être inclinés de plus de 55°. La grande majorité des capteurs actifs ont une inclinaison inférieure à 55°. Jusqu'à 55°, les rayons solaires réfléchis vont se perdre au-dessus du plan horizontal dans lequel est situé le capteur. Pour être ébloui, l'observateur doit être placé au-dessus de l'altitude du capteur, situation que l'on peut considérer comme rare, correspondant à certaines configurations topographiques (vallées), ou alors lorsque l'installation solaire est placée dans le terrain.

c) L'observateur doit être placé à une distance inférieure à 100 fois le diamètre apparent des capteurs, car l'intensité de la réflexion diminue au carré de la distance.

d) L'observateur doit être placé à plus de 70° par rapport à la normale du capteur, la réflexion d'une surface vitrée augmentant avec l'angle d'incidence. Par contre la surface apparente du capteur diminue ainsi que la durée d'éblouissement.

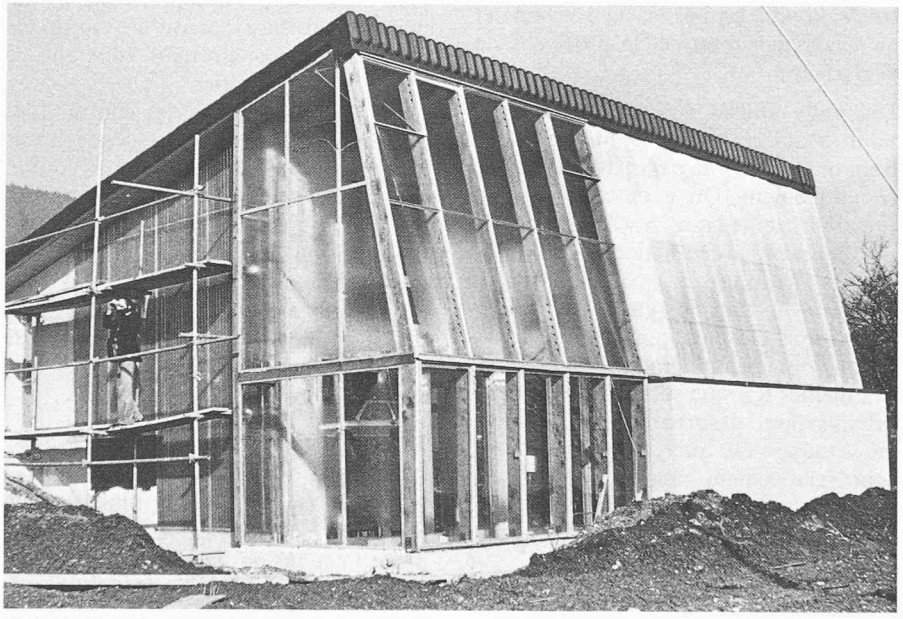

Fig. 10. — Différence de perception du phénomène d'éblouissement entre le verre et le polycarbonate alvéolé.

Ces conditions ne sont bien sûr que des évaluations approximatives. Elles permettent toutefois d'affirmer que l'éblouissement dû aux capteurs solaires est potentiellement beaucoup moins important que celui dû aux façades des bâtiments largement vitrées. Il en résulte que ce potentiel d'éblouissement est plus réduit pour les capteurs actifs que pour les capteurs passifs placés souvent en façade.

Ces divers constats doivent conduire à une clarification tant au niveau des décisions légales qu'à celui directement consécutif des relations entre voisins concernés. Les autorités communales, disposant ainsi de moyens de vérification objectifs, peuvent éviter d'avoir recours à des prescriptions spéciales souvent à caractère provisoire. Elles possèdent également les informations nécessaires pour entreprendre une réflexion fondamentale sur l'utilisation de l'énergie solaire dans la construction et pour définir des objectifs de développement de ces systèmes sur leur territoire communal.

En outre, les professionnels chargés de la conception d'un système solaire trouvent en cette étude un instrument de travail qui peut orienter leur projet et favoriser la recherche des solutions les plus satisfaisantes du point de vue de l'intégration d'une installation solaire à son environnement.

Pour terminer, nous voudrions revenir sur le fait qu'il est impossible dans l'espace d'un article de présenter tous les détails de la méthode d'évaluation, mais que toutes ces informations sont disponibles à l'IREC.

Adresse de l'auteur:
Michèle Antipas-Schmid,
architecte EPFL
IREC-EPFL
14, av. de l'Eglise-Anglaise
1006 Lausanne

Bibliographie

Résistance des matériaux

par *J. P. Larralde.* — Tome I: Sollicitations simples, 320 pages; Tome II: Sollicitations composées et systèmes hyperstatiques, 260 pages. 2 vol. 15,5 × 22 cm, Editions Masson, Paris 1981.

Suite logique de la mécanique du solide indéformable, cet ouvrage a pour but de permettre au concepteur ou à l'étudiant de dimensionner une pièce, de vérifier sa tenue sous charge et de définir les caractéristiques physiques (en statique) nécessaires au choix du matériau dans lequel elle sera réalisée.

L'originalité de l'exposé repose sur trois points fondamentaux: Présentation de la résistance des matériaux ou carrefour de différentes sciences ou différents savoirs tels que: la métallurgie, la technologie de construction, la mécanique du solide indéformable, la mathématique. — Présentation de la résistance des matériaux comme une science en mouvement dont la démarche ne peut être qu'expérimentale. — Présentation de résultats récents de recherches réalisées dans les laboratoires du Centre technique des industries mécaniques (CETIM).

Réalisé par un collectif de neuf professeurs et ingénieurs, cet ouvrage allie les impératifs de la formation à sa finalité, qui est de rendre apte le lecteur à résoudre des problèmes en milieu industriel.

L'ouvrage est composé de trois tomes, dont un d'exercices; le tome I présente en 15 chapitres les éléments suivants:

La matière, sa constitution et les conséquences de son ordonnancement sur ses propriétés physiques. — Les hypothèses de la résistance des matériaux. — Les différents essais mécaniques. — Des tableaux de valeurs des caractéristiques mécaniques des matériaux. — Des tableaux de détermination des coefficients de concentration de contraintes. — L'étude des enveloppes minces et des assemblages boulonnés. — Deux chapitres de calculs mathématiques sur les moments statiques et quadratiques. — Le calcul à la torsion d'une poutre cylindrique. — Le cisaillement, avec l'étude des liaisons par rivets, du clavetage libre (matage), de l'implantation d'une vis dans un trou taraudé... — La flexion pure, la flexion plane avec les calculs de l'effort tranchant, du moment de flexion, des contraintes et des flèches de poutres symétriques. — La détermination graphique des flèches des poutres en flexion plane. — L'étude des poutres soumises à des charges mobiles.

Le tome II traite en 12 chapitres les éléments suivants:

Sollicitations composées. — Flexion déviée et flexion complexe. — Torsion III. — Flambement. — Systèmes hyperstatiques, flexion simple des poutres, poutres continues. — Contraintes d'origine thermique. — Calcul des pièces à la fatigue.