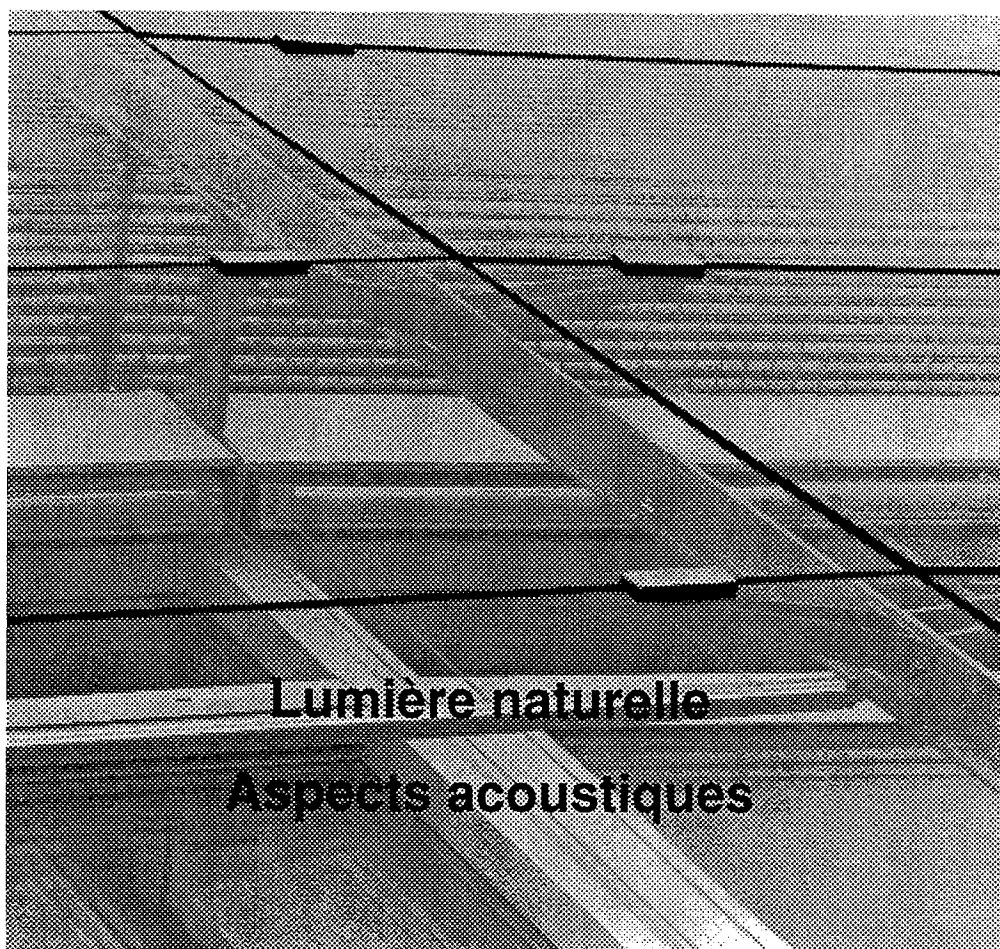


La façade double-peau



Chapitre 10 Dossiers

Liste des collaborateurs et planning

Durée du projet :	mars 1993 – juin 1998 Travail réalisé au Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment de l'Institut de technique du bâtiment – DA – EPFL
Rédaction du rapport :	Prof. André P. Faist
Personnel	Prof. Dr Ing. André P. Faist, chef de projet
Typologie :	Zohreh Zaerpour, architecte EPFL J.-P. Eggimann, Dr es sc. Phys. EPFL Ausilio Bauen, Ing. Phys. EPFL Catherine Merz, architecte EPFL
Mesures :	Stéphane Citherlet, Ing. Phys. EPFL Icham Jaafar, Alexandre Closset, étudiants EPFL Flourentzos Flourentzou, Ing. DEA Pierre Loesch, mécanicien Urs Meierhofer, laborant
Lumière naturelle	Prof. Dr J.-L. Scartezzini, LESO/PB - EPFL Dimitrios Lymberis, ingénieur EINEV
Acoustique	Prof. Dr M. Rossi, DE – LEMA – EPFL W. Koeller, assistant, DE – LEMA - EPFL
Coordination CVSE	Prof. Dr B. Keller, IHB – ETHZ
Techniques constructives	M. Laurent Félix, Edgar Joffre Félix Constructions SA – Bussigny
Théorie, simulations, recommandations, synthèse	Prof. André P. Faist
Secrétariat	Sylvette Renfer, secrétaire



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

La façade double-peau

Lumière naturelle

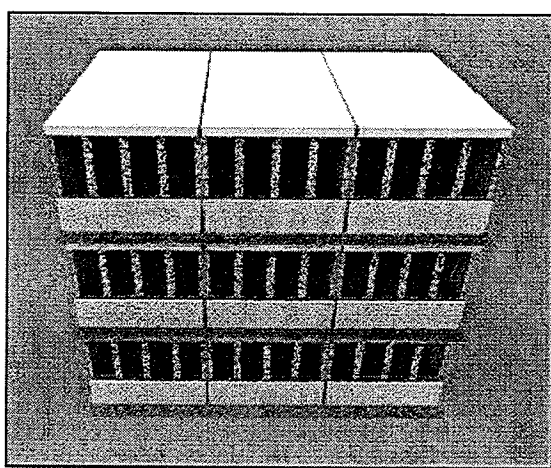


Table des matières

Lumière naturelle

Préface	1
1. Introduction	3
2. Façade double-peau sans contre-cœur	6
3. Façade double-peau avec contre-cœur	15
Conclusion	24
Références	25

Aspects acoustiques

1. Résumé	1
2. Introduction	2
3. Protection contre les bruits extérieurs	3
4. Protection contre les bruits intérieurs	8
5. Annexes	9

La table des matières du rapport complet se trouve à la fin du présent rapport.

Préface

Le rapport "La façade double-peau" rend compte de l'étude de "l'Incidence de la typologie des façades double-peau sur leurs performances énergétiques et en physique du bâtiment". C'est sous ce titre (en allemand "Zusammenhang zwischen der Typologie von Doppelwand-Fassaden und ihrem energetischen und bauphysikalischen Verhalten") qu'une requête déposée auprès de l'Office fédéral de l'énergie en 1993 a permis de mener à bien un travail tant expérimental que théorique.

La première démarche a consisté en un répertoriage et une classification des façades double-peau construites en Europe et dans le monde en vue d'en dégager les principales typologies.

La démarche suivante a consisté à mener en parallèle des mesures en laboratoire sur une maquette de géométrie simple et à établir un modèle mathématique exploitable sur ordinateur. Les mesures en laboratoire (ainsi que des mesures réalisées à Genève par Pahud [1]) ont permis de valider le modèle mathématique qui sera lui-même exploité pour réaliser une série d'études paramétriques.

Finalement des rapports concernant les aspects relatifs à la lumière naturelle et à l'acoustique ont été établis sous la responsabilité des Professeurs J.-L. Scartezini (LESO-PB) et M. Rossi (LEMA).

Le rapport final qui présente l'ensemble du travail réalisé dans le cadre de ce projet est structuré comme suit.

Un premier livret regroupe les chapitres 1 à 4 dans lesquels on trouvera à côté d'une description sommaire des principes physiques qui régissent le fonctionnement d'un système double-peau, l'ensemble des propriétés de tels systèmes accompagnés des considérations pratiques qui en découlent. Ce livret est destiné en priorité aux praticiens architectes et ingénieurs désireux de mettre en œuvre une façade double-peau avec les meilleures chances de succès.

Le second livret (chapitre 5) présente l'ensemble des mesures réalisées in-situ ainsi qu'en laboratoire. Si ce livret retiendra d'emblée l'attention des physiciens et ingénieurs du bâtiment, il intéressera également l'architecte qui y trouvera une analyse de deux réalisations pratiques très différentes tant dans leur expression architecturale que dans leur comportement, analyse riche en leçons pratiques.

Le troisième livret (chapitres 6 à 9) explicite les principes physiques et leurs développements mathématiques sur lesquels reposent les considérations pratiques résumées dans le premier livret. Il contient également les études paramétriques qui ont contribué à établir de nombreuses règles pratiques. Il se termine par les conclusions générales relatives au projet dans son ensemble.

Le dernier livret (chapitre 10) regroupe tous les dossiers établis en soutien au projet. On y trouvera tout d'abord l'étude typologique complétée et remise à jour, puis les dossiers relatifs aux mesures in-situ (immeubles Telecom-PTT et Felimob) et finalement les rapports concernant la lumière naturelle et les études acoustiques.

1. Introduction

1.1 Objectif de l'étude

L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse quantitative et qualitative des performances en lumière naturelle de différentes variantes de façades double-peau. Cette étude concerne principalement les aspects énergétiques de ces performances.

1.2 Démarche adoptée

La gestion et le contrôle de la lumière naturelle sont difficiles à maîtriser. Des paramètres multiples comme l'environnement bâti, l'orientation, les dimensions spatiales et plus particulièrement dans notre cas, la composition de la façade (position de la double peau, vitrage) sont autant de paramètres qui influencent ses performances en lumière naturelle.

Cette étude de lumière naturelle est basée sur une étude typologique portant sur la comparaison de différentes variantes de modélisation d'une façade double peau. Il a été fait appel pour cela à un outil informatique (programme ADELIN/Radiance) permettant de simuler différentes variantes de ces façades.

1.3 Critère d'analyse

Afin de simplifier l'analyse, il a été décidé de prendre en compte un ciel couvert normalisé pour les simulations numériques et l'évaluation du Facteur de Lumière du Jour. La température de couleur des flux de lumière naturelle n'a pas été analysée.

Les données géométriques et photométriques suivantes permettent de caractériser le local considéré :

- Dimension du local et de l'ouverture
- Coefficient de réflexion des matériaux
- Caractéristiques physiques du vitrage et de la double peau
- Coefficient de transmission du vitrage

Condition d'éclairement extérieur

Un ciel couvert diffuse la lumière solaire de façon pratiquement uniforme dans toutes les directions. Tous les ciels couverts ne possèdent toutefois pas la même distribution de luminance. Un ciel couvert normalisé (ciel couvert CIE), considéré comme référence par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), a donc été simulé. Ce type de distribution se rencontre généralement en présence d'une épaisse couverture nuageuse (stratus bas et brouillard en plaine).

La répartition quantitative de la lumière naturelle est exprimée par la notion de Facteur de Lumière du Jour (FLJ, cf fig. 1) . Celle-ci permet d'évaluer la fraction du temps de travail annuel, durant laquelle il est possible de se passer d'éclairage électrique : elle dépend bien entendu du niveau d'éclairement requis pour une tâche donnée (fig. 2).

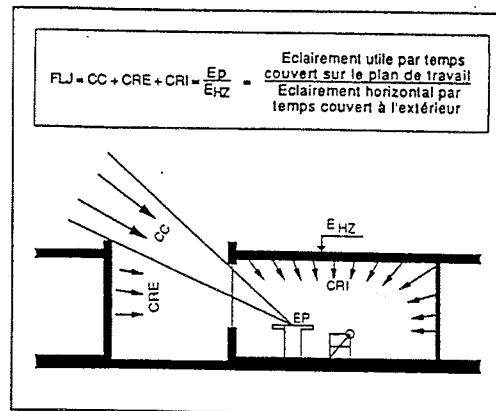


Fig. 1 Définition du Facteur de Lumière du Jour

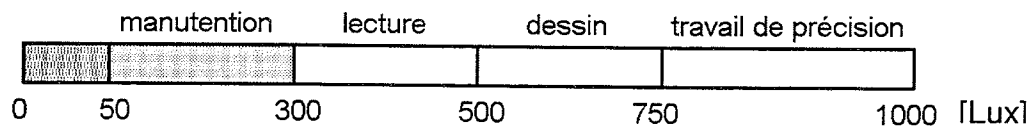


Fig.2 Eclairage requis en fonction de la tâche de travail

1.4 Dépouillement et analyse

Afin de faciliter l'appréciation des résultats de simulation, nous avons utilisé un logiciel permettant de tracer des courbes d'iso-valeurs à partir de résultats ponctuels. Cette forme de présentation permet une lecture rapide et systématique des résultats.

Répartition de l'éclairage

Les facteurs de lumière du jour de 2%, 3% et 5% ont été choisis pour caractériser la répartition de l'éclairage naturel dans le local simulé. Ils correspondent respectivement aux situations suivantes, du point de vue de l'autonomie en éclairage naturel (cf Fig. 3) :

- 2% : fraction annuelle d'autonomie nulle pour 500 Lux (éclairage requis)
- 3% : fraction annuelle d'autonomie de 10% pour 500 Lux
- 5% : fraction annuelle d'autonomie de 50% pour 500 Lux

L'abaque de l'Union Suisse pour la Lumière (USL/SLG), duquel sont tirées ces valeurs, illustre cela [ASE 89].

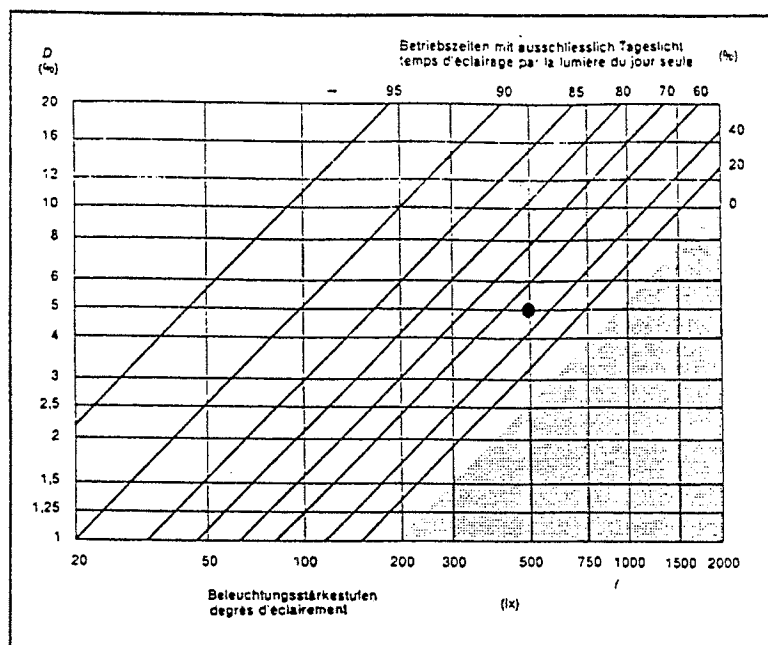


Fig. 3 Autonomie en éclairage

Ces fractions annuelles d'autonomie en éclairage naturel diffèrent pour un éclairage requis de 300 Lux (valeur inférieure de la norme pour le travail de bureau). Elles correspondent alors aux valeurs suivantes :

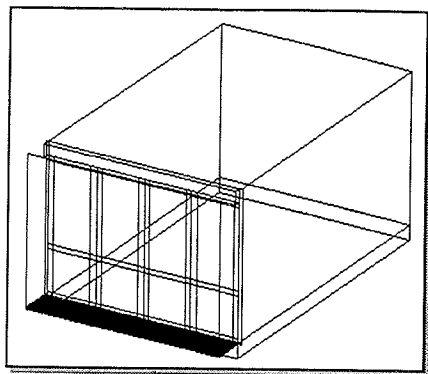
- 2% : fraction annuelle d'autonomie de 20% pour 300 Lux (éclairage requis)
- 3% : fraction annuelle d'autonomie de 60% pour 300 Lux
- 5% : fraction annuelle d'autonomie de 75% pour 300 Lux

La valeur supérieure de la norme (500 Lux) a toutefois été prise en compte dans cette étude.

2. Façade double peau sans contre-cœur

2.1 Local considéré

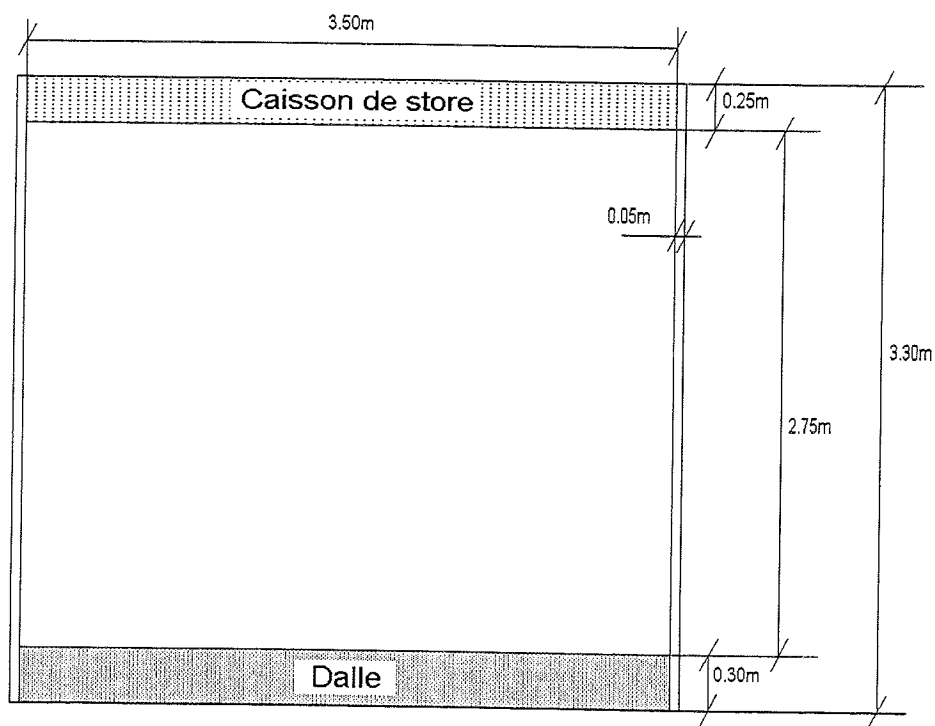
Le local considéré est muni d'une façade double-peau ne comportant pas de contre-cœur, dont nous avons fait varier les paramètres suivants :



Axonométrie

- Distance de l'écran à la façade
- Avec ou sans caillebotis
- Coefficient de transmission lumineuse de l'écran

La figure suivante illustre les dimensions de la façade double-peau sans contre-cœur.



2.2 Variantes considérées

Les différentes variantes de simulation considérées sont décrites dans les tables suivantes :

Local

Géométrie		Coefficient de réflexion	
Largeur (m)	3.5 int. 3.6 ext.	Environnement (%)	10
Profondeur (m)	5.4	Parois (%)	50
Hauteur (m)	3.0	Plafond (%)	70
Hauteur dalle (m)	0.3	Sol (%)	15
Hauteur d'étage (m)	3.3		
Caisson de store (m)	0.25		
Surface sol (m ²)	18.9 int		
Surface en façade (m ²)	10.8		
Surface vitrée sans c.c.(m ²)	7.43		
Volume (m ³)	56.7		

Cadres de fenêtres

Fraction f_{ca} (%)	25
Coef. de réflexion (%)	47.9

Vitrage V1

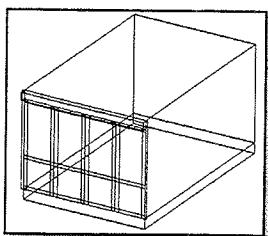
V1 : - Glace claire	
Epaisseur (mm)	4 / 12 / 4
Lame d'air	
Epaisseur (m)	0.012
Visible τ_{vis}	0.83

Ecran E1

E1 : - Glace claire (87/78)		E2 : - blue (40/50)	
Epaisseur (mm)	6	Epaisseur (mm)	6
Avec caillebotis	7 / 35 / 58 // 89	Avec caillebotis	10 / 66 / 24 // 89
Visible τ_{vis}	0.87	Visible τ_{vis}	0.40

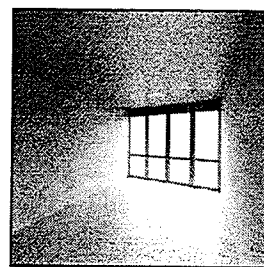
Ecran E2

2.3 Cas de référence



Le cas de référence est représenté par une façade double-peau (écran E1) collée contre la fenêtre et la menuiserie. Les points considérés sont placés au niveau du plan de travail (80 cm du sol) et ceci jusqu'à une distance de 50 cm de la fenêtre.

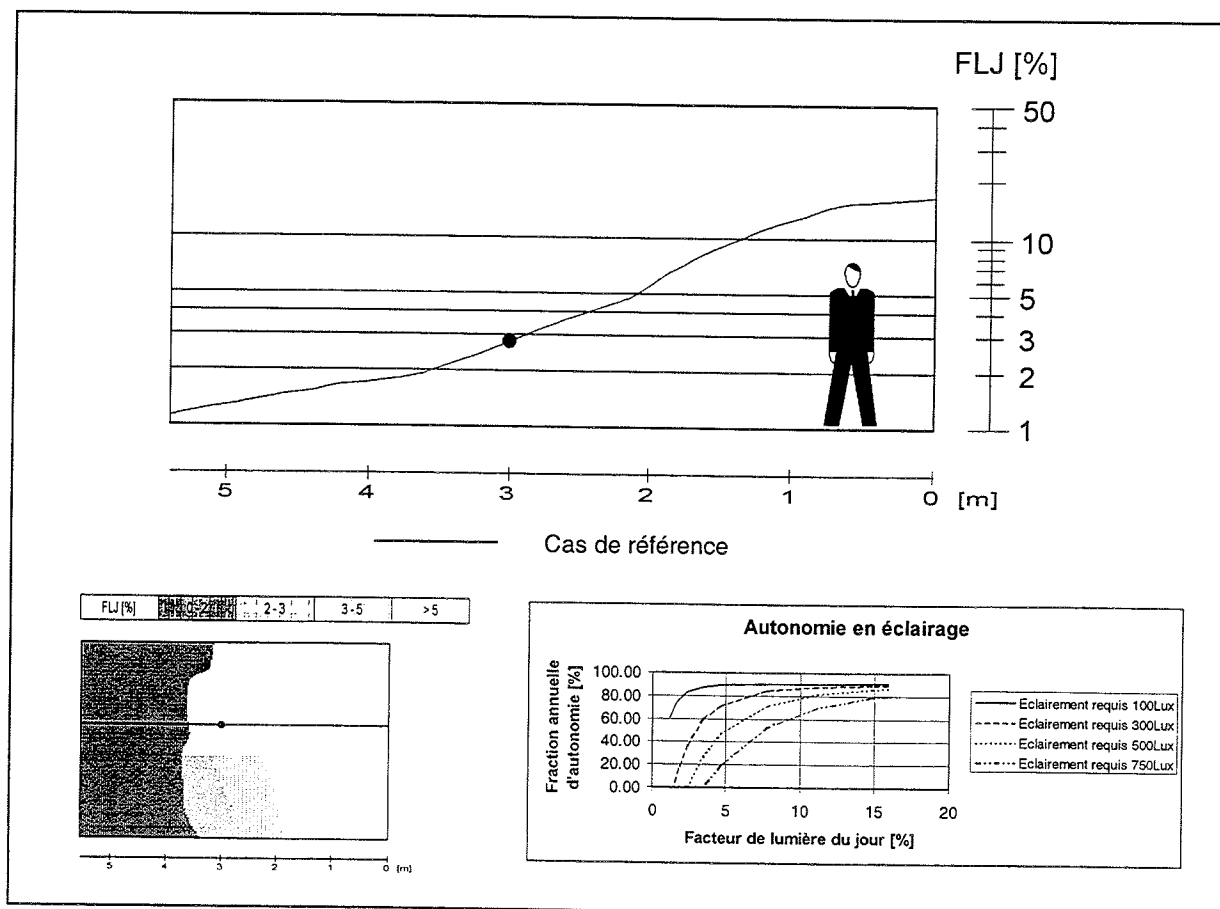
Vue intérieure du local



Facteur de Lumière du Jour

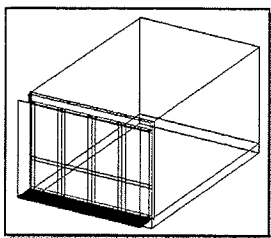
Maximum : 15.3% à 0.7m de la fenêtre
 Minimum : 1.2% à 0.7m du fond du local
 FLJ à 3m : 2.4% représenté par un point noir

L'allure de la courbe du facteur de lumière du jour est caractéristique d'un local éclairé monolatéralement, se distinguant par une importante variation du facteur de lumière du jour en fonction de la distance au vitrage. De faibles variations, dues aux cadres de fenêtres, sont perceptibles.



La figure ci-dessus montre l'autonomie en éclairage pour le cas de référence. Dans le cas d'un éclairage requis de 500 Lux pour un poste de travail placé à l'endroit indiqué par un point noir, il est nécessaire d'enclencher l'éclairage électrique en permanence.

2.4 Double-peau avec écran à 60 cm



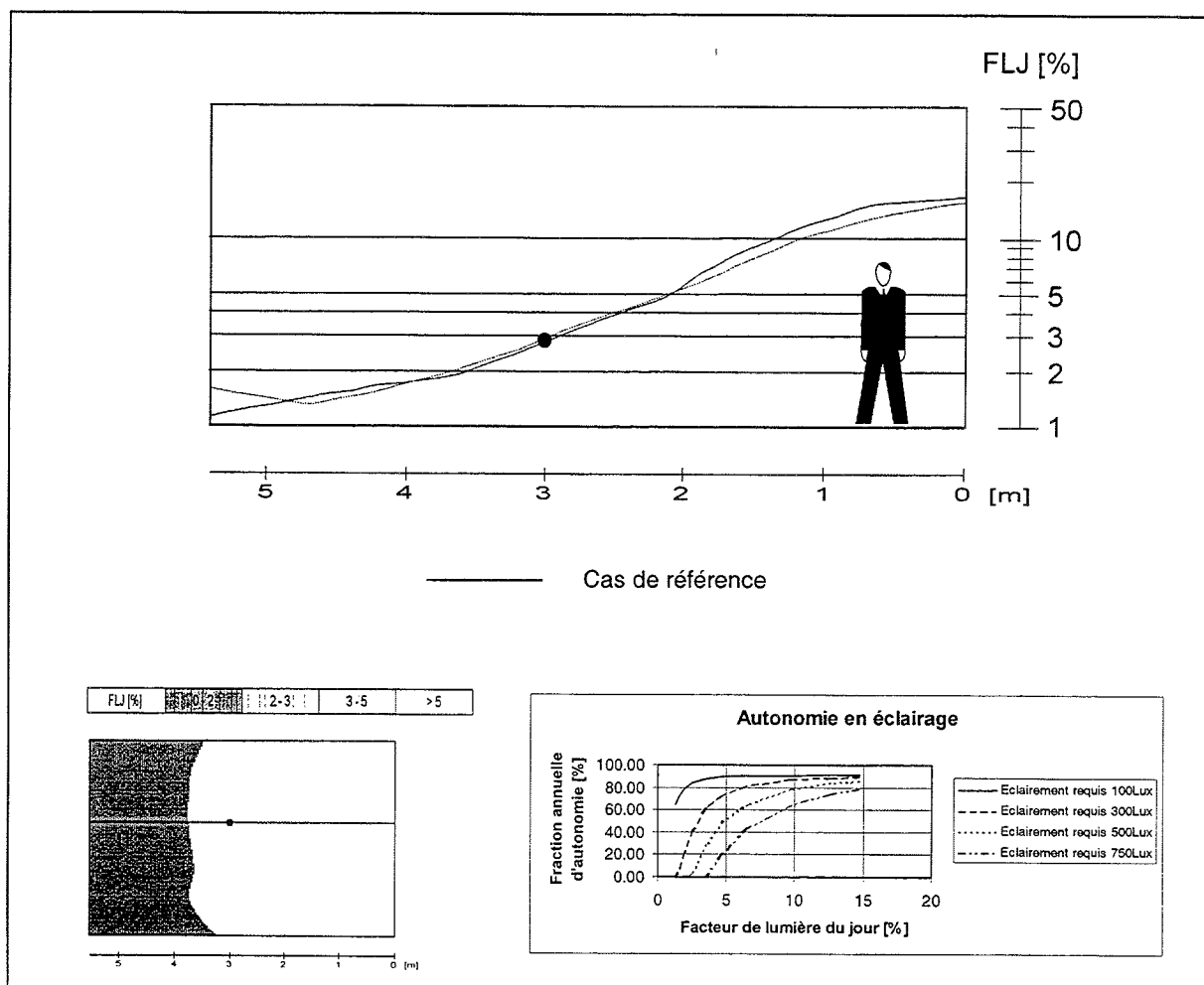
Cette variante est basée sur les hypothèses suivantes :

- Vitrage V1 ($\tau = 83\%$) et Ecran E1 ($\tau = 87\%$)
- Ecran placé à 60 cm de la fenêtre
- Présence d'un caillebotis

Facteur de Lumière du Jour

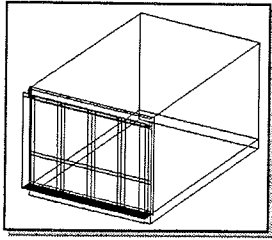
Maximum : **13.5%** à 0.8m de la fenêtre
 Minimum : **0.9%** à 0.7m du fond du local
 FLJ à 3m : **2.6%** représenté par un point noir

La courbe de facteur de lumière du jour est pratiquement identique à celle du cas de référence. L'effet d'atténuation du vitrage est toutefois, perceptible près de la fenêtre, de même que celui du caillebotis au fond de la pièce (influence faible).



L'autonomie en éclairage pour le cas double-peau avec écran à 60 cm est identique à celle du cas de référence. Pour obtenir une autonomie d'éclairage de 50% pour un éclairage de 500 Lux, il faut se placer au maximum à 2m de la fenêtre.

2.5 Double peau avec écran à 18 cm



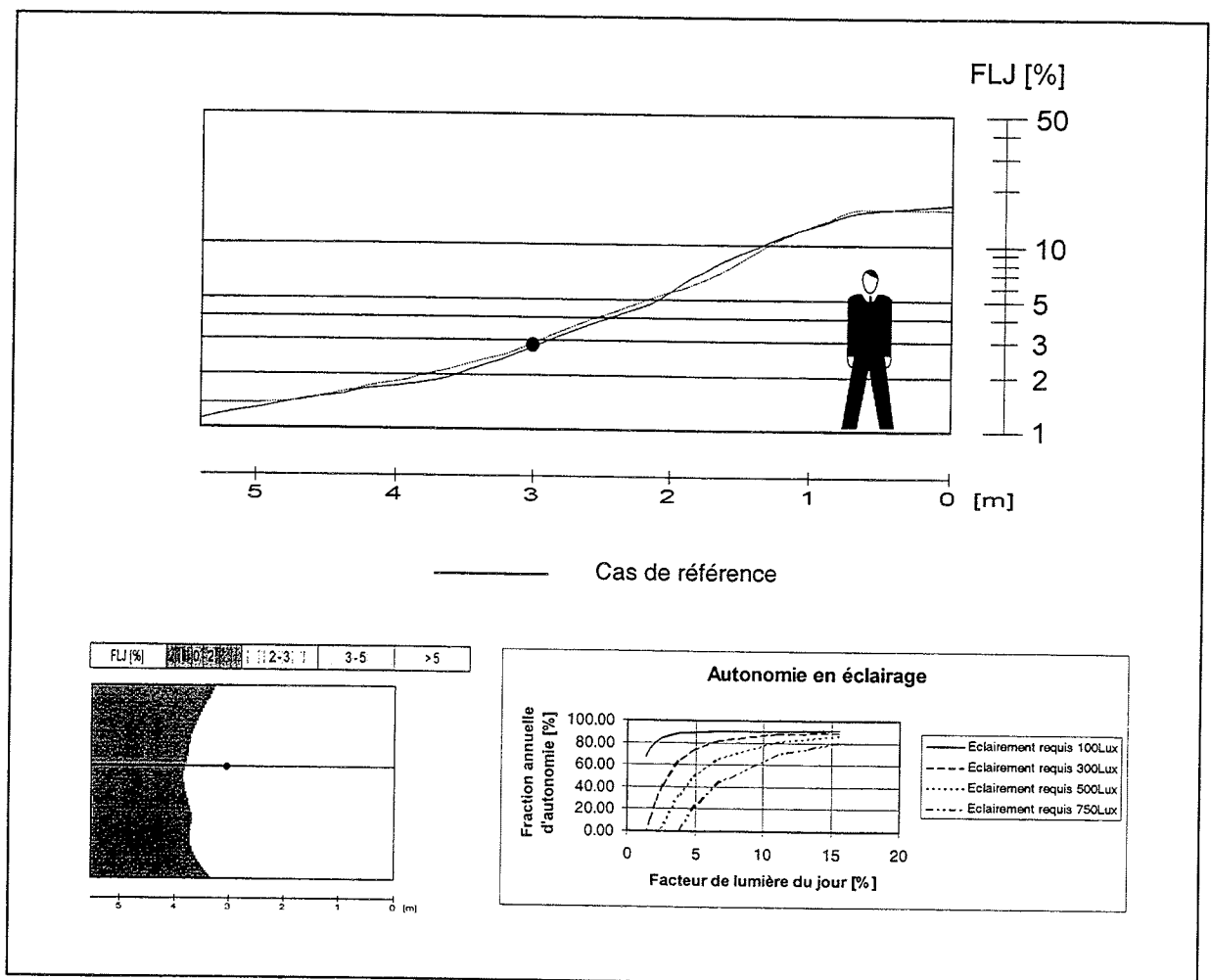
Cette variante est basée sur les hypothèses suivantes :

- Vitrage V1 ($\tau = 83\%$) et Ecran E1 ($\tau = 87\%$)
- Ecran placé à 18 cm de la fenêtre
- Présence d'un caillebotis.

Facteur de Lumière du Jour

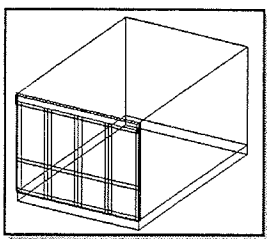
Maximum : 15.6% à 0.8m de la fenêtre
 Minimum : 1.3% à 0.7m du fond du local
 FLJ à 3m : 2.6% représenté par un point noir

La courbe du facteur de lumière du jour est identique à celle du cas précédent (double peau avec écran à 60 cm): la distance de la peau extérieure à la façade n'exerce aucune influence significative sur la propagation de la lumière naturelle. Cette courbe est, par ailleurs, pratiquement identique à celle du cas de référence.



Les courbes facteur de lumière du jour étant quasiment identiques, l'autonomie en éclairage naturel est inchangée.

2.6 Double peau avec écran à 5 cm



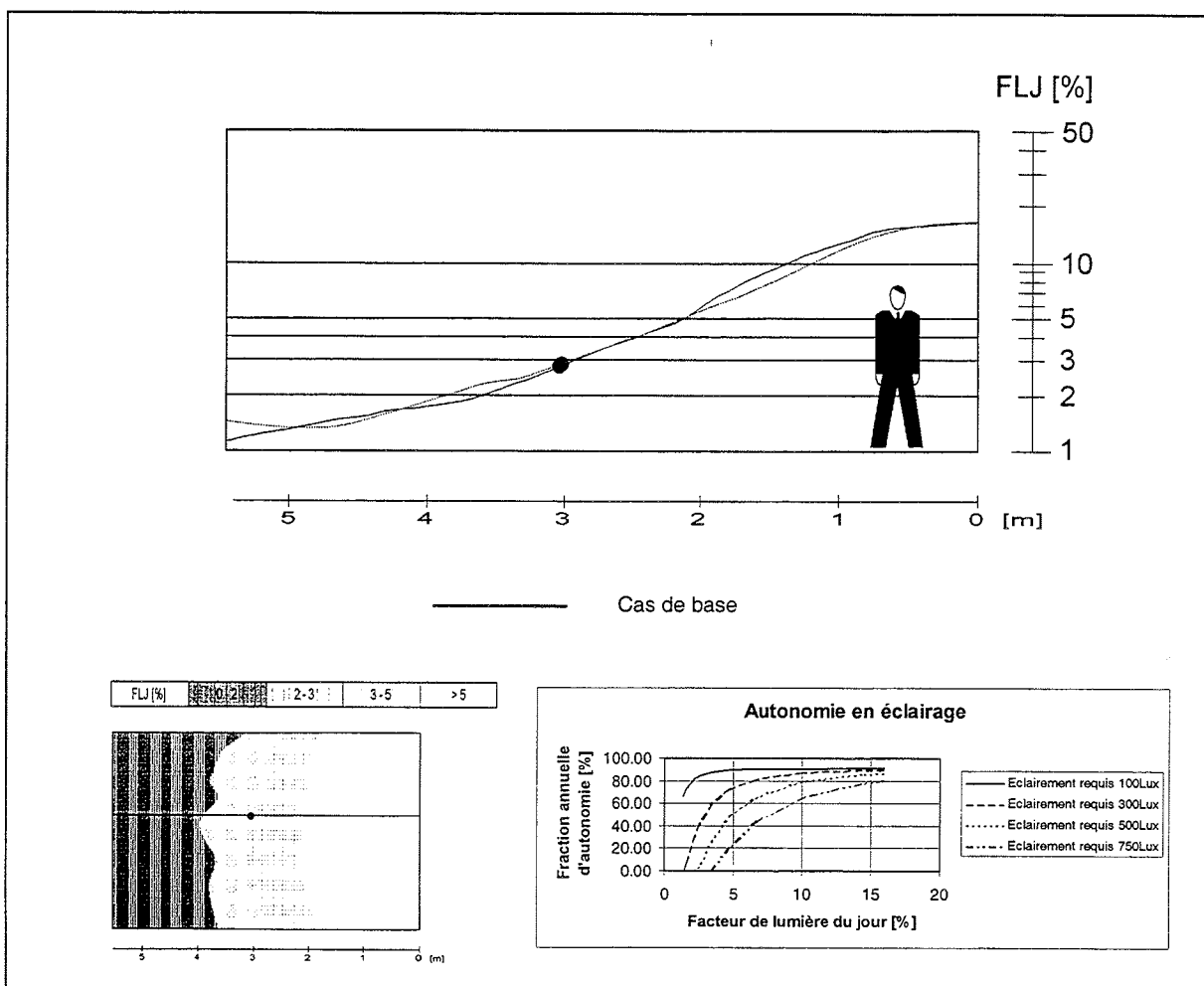
Cette variante est basée sur les hypothèses suivantes :

- Vitrage V1 ($\tau = 83\%$) et Ecran E1 ($\tau = 87\%$)
- Ecran placé à 5 cm de la fenêtre
- Pas de caillebotis.

Facteur de Lumière du Jour

Maximum : **15.0%** à 0.8m de la fenêtre
 Minimum : **1.3%** à 0.7m du fond du local
 FLJ à 3m : **2.6%** représenté par un point noir

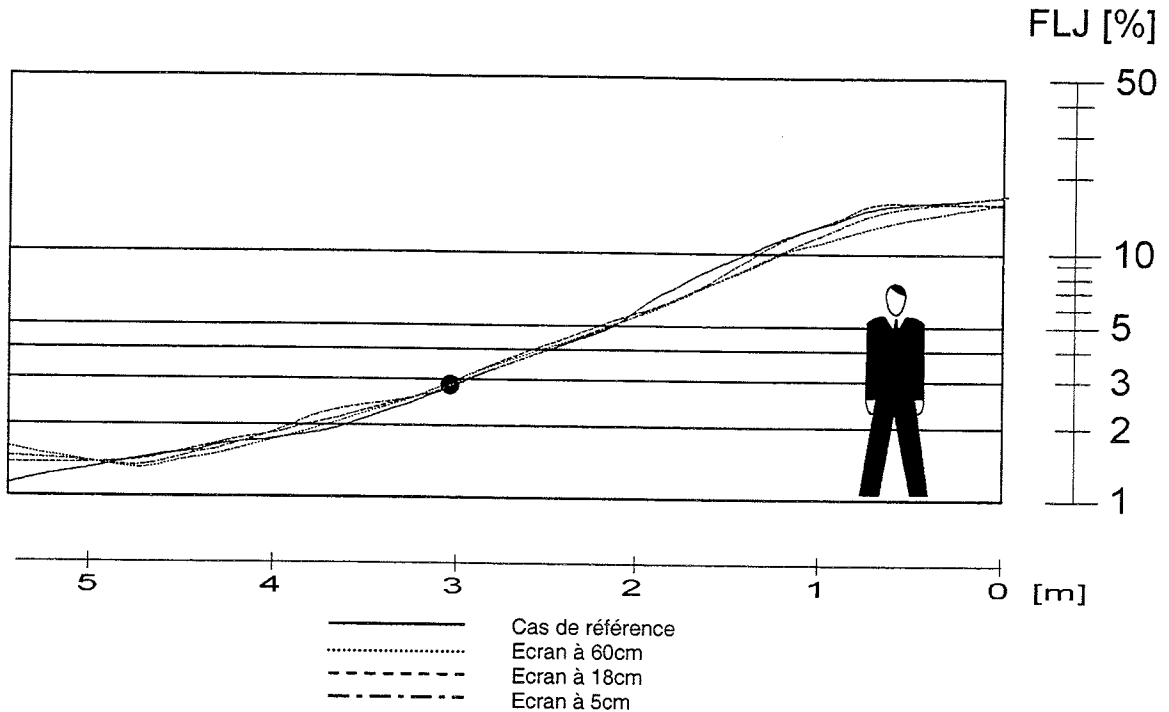
Les mêmes remarques s'appliquent à ce cas, qui présente lui-aussi pratiquement la même courbe que le cas de référence.



On remarque toutefois que plus l'on rapproche la double-peau de la façade, plus les résultats sont semblables à ceux du cas de référence : l'explication physique est évidente.

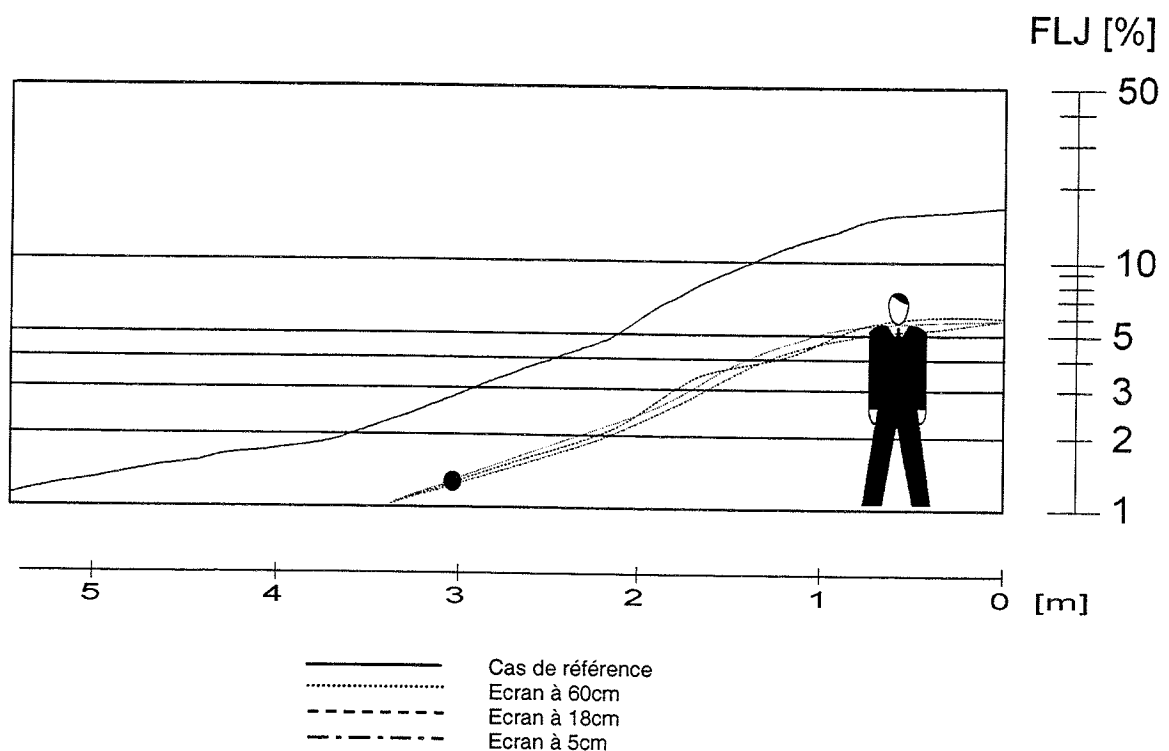
2.7 Impact de la distance de l'écran

La figure suivante illustre les 3 cas considérés aux paragraphes 2.4 à 2.6. Celle-ci montre que l'influence de la distance de l'écran à la façade est négligeable. La présence de l'écran ne modifie, par ailleurs, que très faiblement la répartition du facteur de lumière du jour dans le local (allure des courbes semblable).

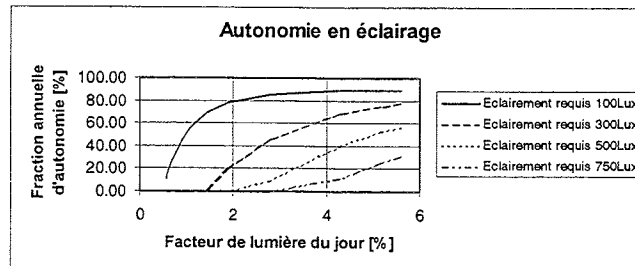


2.8 Impact du coefficient de transmission de l'écran

Des simulations basées sur les configurations des paragraphes 2.4 à 2.6, ont été réalisées en modifiant toutefois le coefficient de transmission de l'écran (cas E2, $\tau = 40\%$).



Les valeurs absolues du facteur de lumière du jour sont ainsi, considérablement plus faible dans le cas de l'écran E2 (effet dû à la diminution de la transmission de l'écran). Ces valeurs n'atteignent que 1.1% à une distance de 3m du vitrage contre 2.6% pour l'écran E1. Elles sont réduites proportionnellement à la diminution du flux de lumière naturelle dans le local imputable à l'écran (facteur de réduction de 2.2).

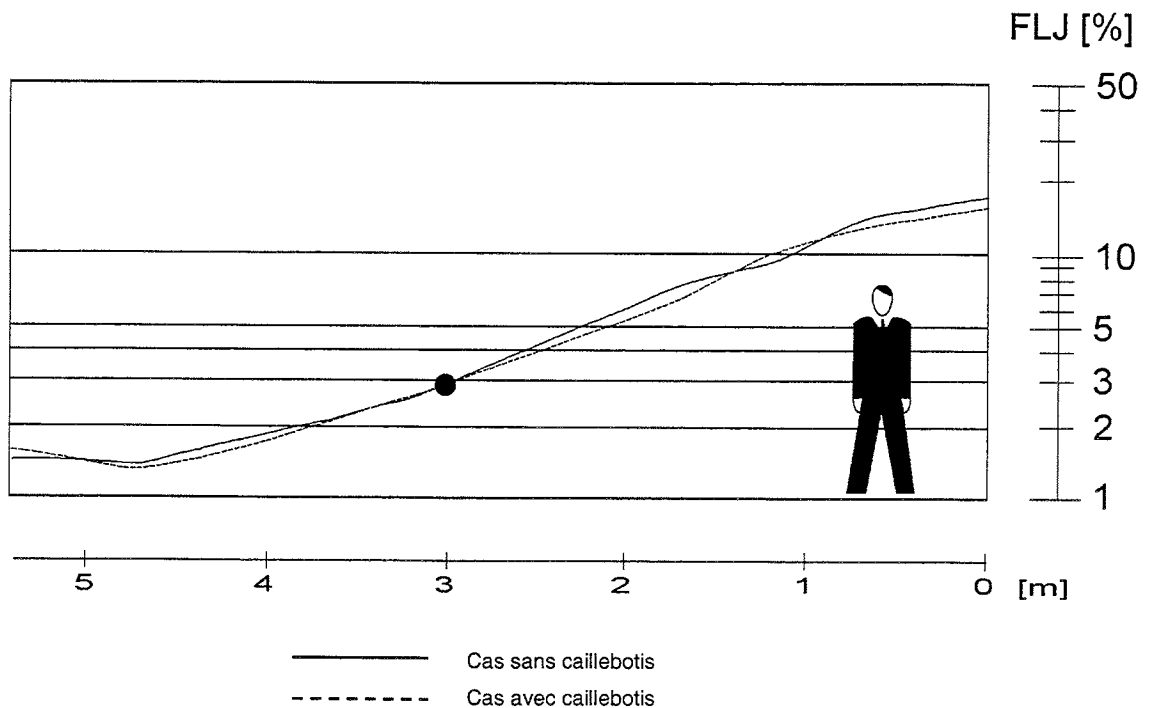


La figure ci-dessus représente l'autonomie en éclairage naturel pour le cas de la double-peau avec écran E2 à 60 cm. On remarque une autonomie en éclairage naturel négligeable due à des valeurs de facteur de lumière du jour très faibles. A nouveau, dans le cas d'un éclairage requis de 500 Lux, il est pratiquement nécessaire d'enclencher en permanence l'éclairage électrique.

2.9 Impact du caillebotis

La figure suivante illustre les 2 cas différents concernant le caillebotis :

- Ecran placé à 60 cm de la fenêtre avec caillebotis
- Ecran placé à 60 cm de la fenêtre sans caillebotis



Facteur de Lumière du Jour FLJ avec caillebotis

Maximum : **13.5%** à 0.8m de la fenêtre
Minimum : **0.9%** à 0.7m du fond du local
FLJ à 3m : **2.6%** représenté par un point noir

Facteur de Lumière du Jour FLJ sans caillebotis

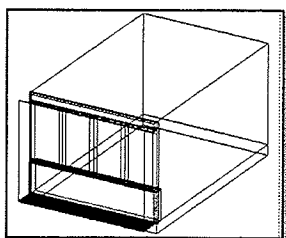
Maximum : **15.2%** à 0.8m de la fenêtre
Minimum : **1.3%** à 0.7m du fond du local
FLJ à 3m : **2.6%** représenté par un point noir

Bien que la valeur du facteur de lumière du jour ne varie pratiquement pas à 3 m, on peut constater une légère modification de celui-ci au voisinage de la fenêtre : cela est vraisemblablement dû à la diminution de la composante directe du facteur de lumière du jour imputable à la présence du caillebotis.

3. Façade double peau avec contre-cœur

3.1 Local considéré

Le local considéré est muni d'une façade double-peau pourvue d'un contre-cœur, dont nous avons fait varier les paramètres suivants :



- Distance de l'écran à la façade
- Avec ou sans caillebotis
- Coefficient de transmission lumineuse de l'écran

Axonométrie

3.2 Variantes considérées

Les variantes considérées sont semblables à celles décrites au chapitre 2; seul le contre-cœur, inexistant pour la façade précédente, est décrit dans les tables suivantes.

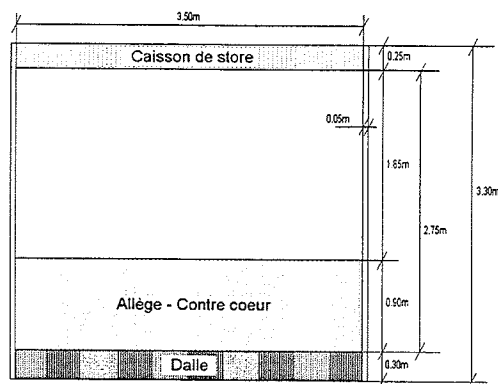
Géométrie

Surface vitrée avec c.c.(m ²)	5.00
---	------

Contrecœur

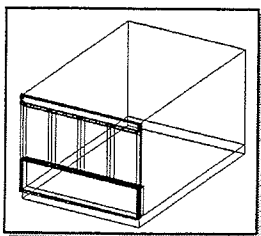
Fraction fcc	0.36 ext. / 0.3 int.
Hauteur (m)	1.2 ext. / 0.9 int.
Coef. de réflexion (%)	47.9

Les dimensions de la façade sont données ci-après par l'intermédiaire d'une coupe.



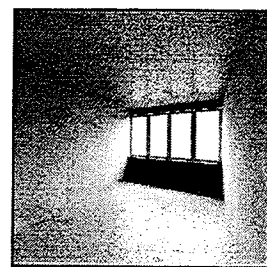
Coupe de la façade double-peau avec contre-cœur

3.3 Cas de référence



Le cas de référence est représenté par une façade double-peau collée contre la fenêtre et la menuiserie. Les points considérés sont placés au niveau du plan de travail (80 cm du sol) et ceci jusqu'à une distance de 50 cm de la fenêtre.

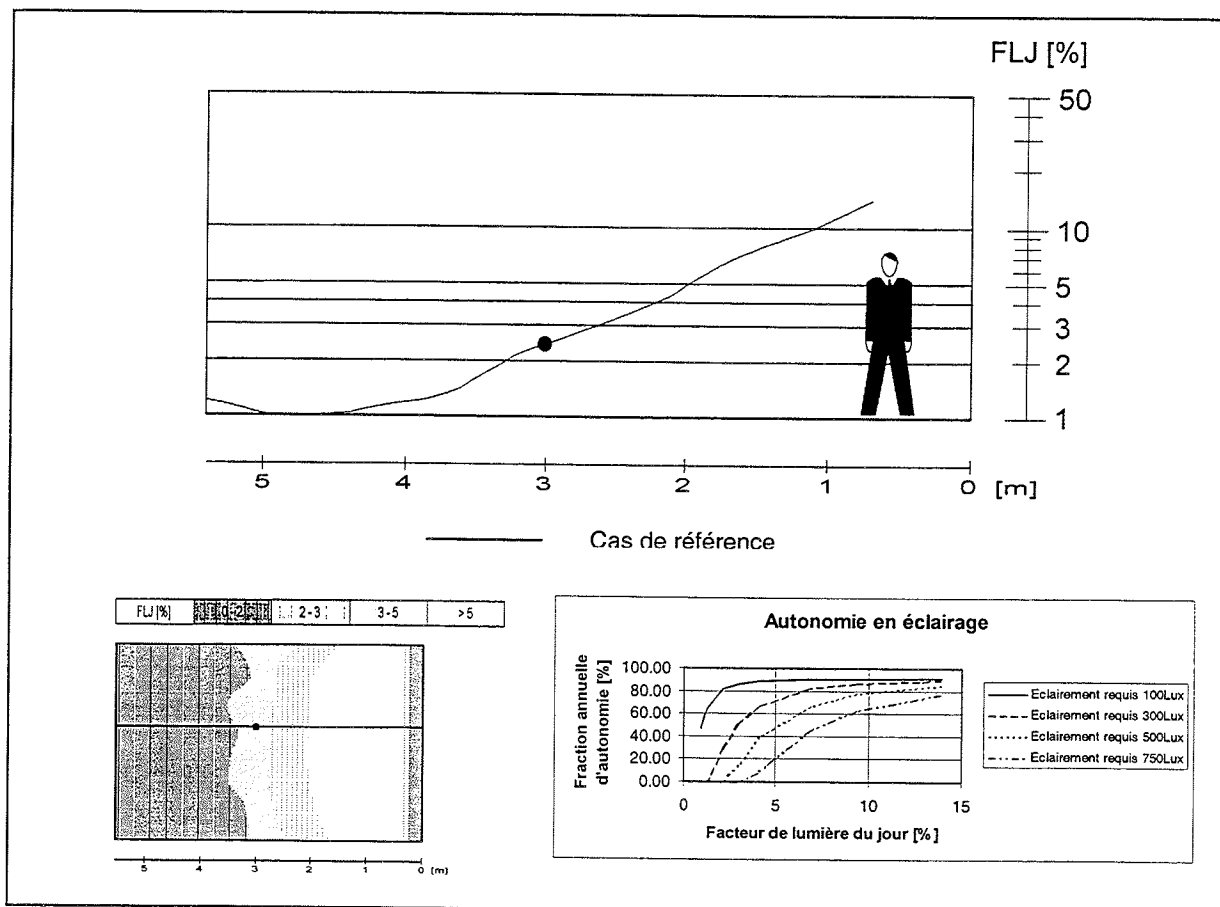
Vue intérieure du local



Facteur de Lumière du Jour

Maximum : 14% à 0.7m de la fenêtre
Minimum : 0.9% à 0.7m du fond du local
FLJ à 3m : 2.2% représenté par un point noir

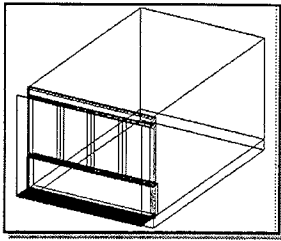
Le comportement du facteur de lumière du jour est caractéristique d'un local éclairé monolatéralement (important gradient sur la profondeur du local).



Les valeurs absolues du facteur de lumière du jour sont inférieures à celles du cas sans contre-cœur, particulièrement près du vitrage (effet d'écran du contre-cœur sur le plan de travail). La diminution du flux lumineux par rapport à ce même cas est responsable des valeurs plus faibles observées au fond de la pièce (2.2% au lieu de 2.4% à 3 m de la façade).

Comme pour le cas de référence sans contre-cœur, il est nécessaire d'être placé à moins de 2.5 m de la fenêtre pour obtenir une autonomie en éclairage naturel satisfaisante pour un éclairage requis de 500 Lux (autonomie de 20 à 40%).

3.4 Double-peau avec écran à 60 cm



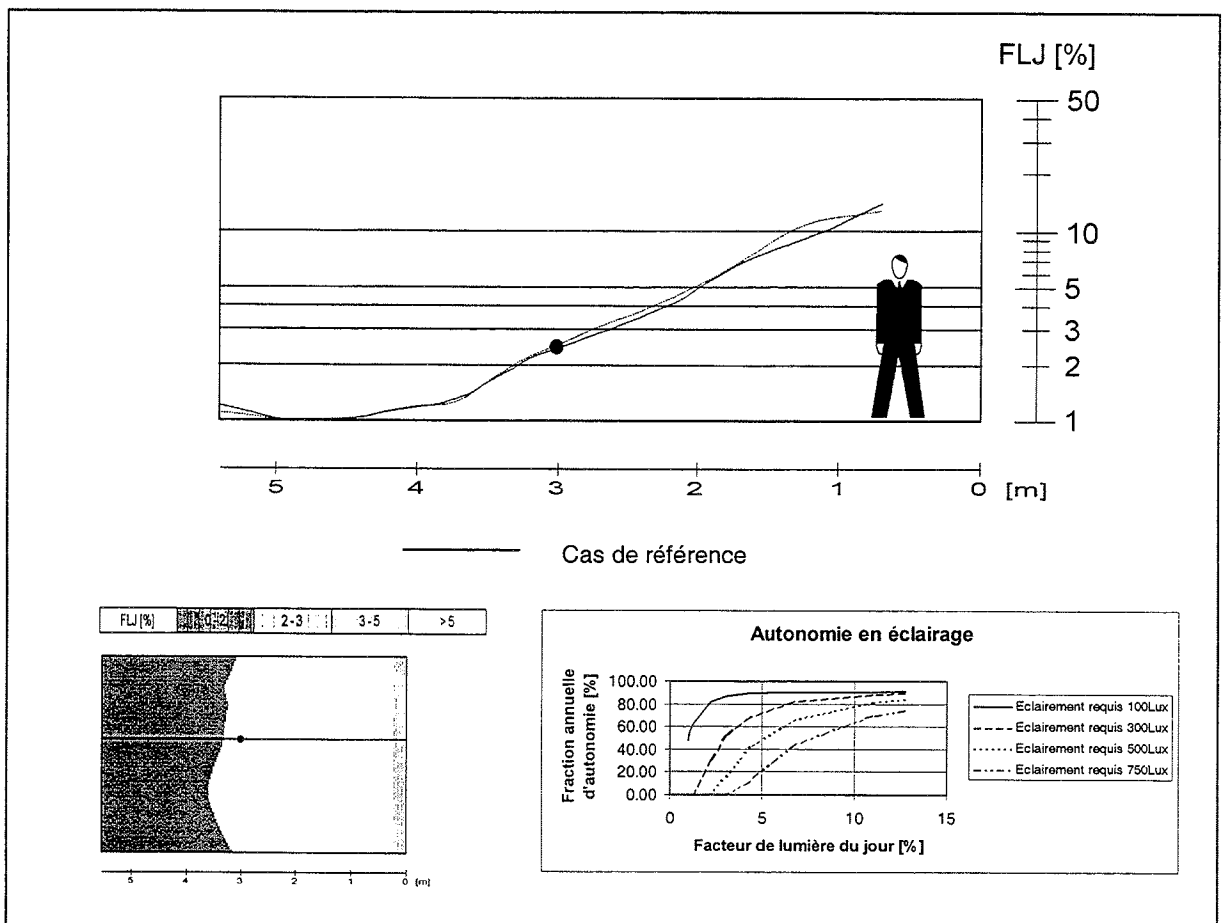
Cette variante est basée sur les hypothèses suivantes :

- Vitrage V1 ($\tau = 83\%$) et Ecran E1 ($\tau = 87\%$)
- Ecran placé à 60 cm de la fenêtre
- Présence d'un caillebotis

Facteur de Lumière du Jour

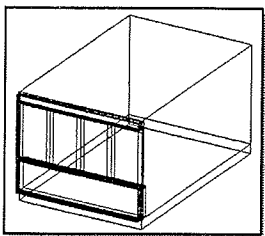
Maximum : **13.2%** à 0.8m de la fenêtre
 Minimum : **0.9%** à 0.7m du fond du local
 FLJ à 3m : **2.2%** représenté par un point noir

La courbe de facteur de lumière du jour est pratiquement identique à celle du cas de référence: un léger accroissement est perceptible près du vitrage. Ces valeurs sont bien entendu plus faibles que celles de la double-peau sans contre-cœur (paragraphe 2.4).



Les courbes étant pratiquement identiques, les remarques sur l'autonomie en éclairage sont les mêmes que pour le cas de référence.

3.5 Double-peau avec écran à 18 cm



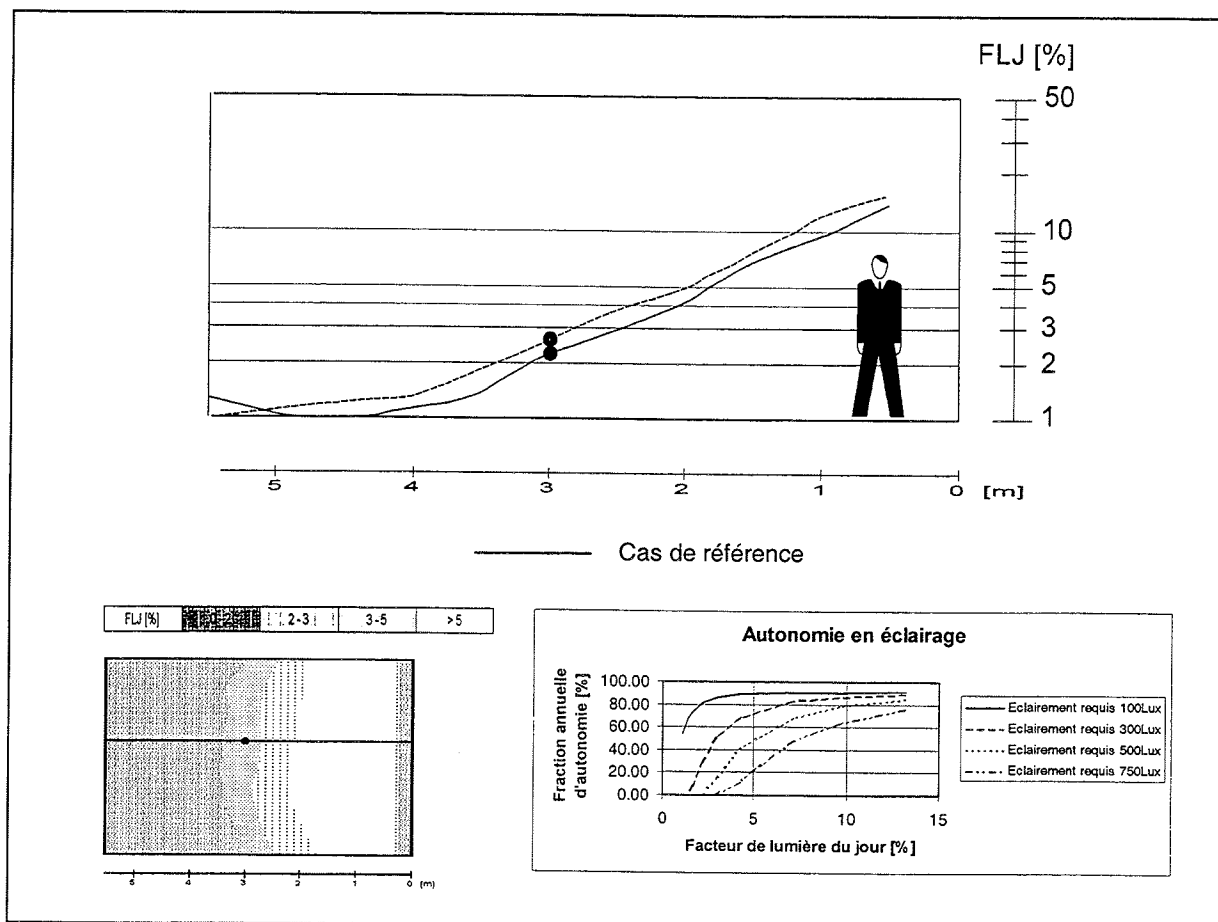
Cette variante est basée sur les hypothèses suivantes :

- Vitrage V1 ($\tau = 83\%$) et Ecran E1 ($\tau = 87\%$)
- Ecran placé à 18 cm de la fenêtre
- Présence d'un caillebotis

Facteur de Lumière du Jour

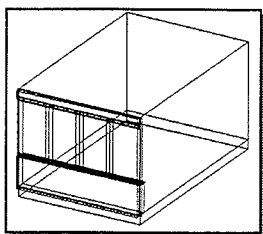
Maximum : 11.4% à 0.8m de la fenêtre
 Minimum : 1.0% à 0.7m du fond du local
 FLJ à 3m : 2.4% représenté par un point noir

La courbe de facteur de lumière du jour est supérieure dans l'ensemble du local en comparaison avec le cas de référence.



Il est vraisemblable, toutefois, que cette augmentation relative du facteur de lumière du jour soit imputable à la modélisation numérique de la façade double-peau, qui se caractérise dans cette configuration par un grand nombre d'inter-réflexions (entre la peau et le vitrage). Au-delà de 4 m du vitrage, le facteur de lumière du jour est si faible que l'autonomie en éclairage naturel est quasiment nulle pour un éclairage requis de 500 Lux.

3.6 Double-peau avec écran à 5 cm



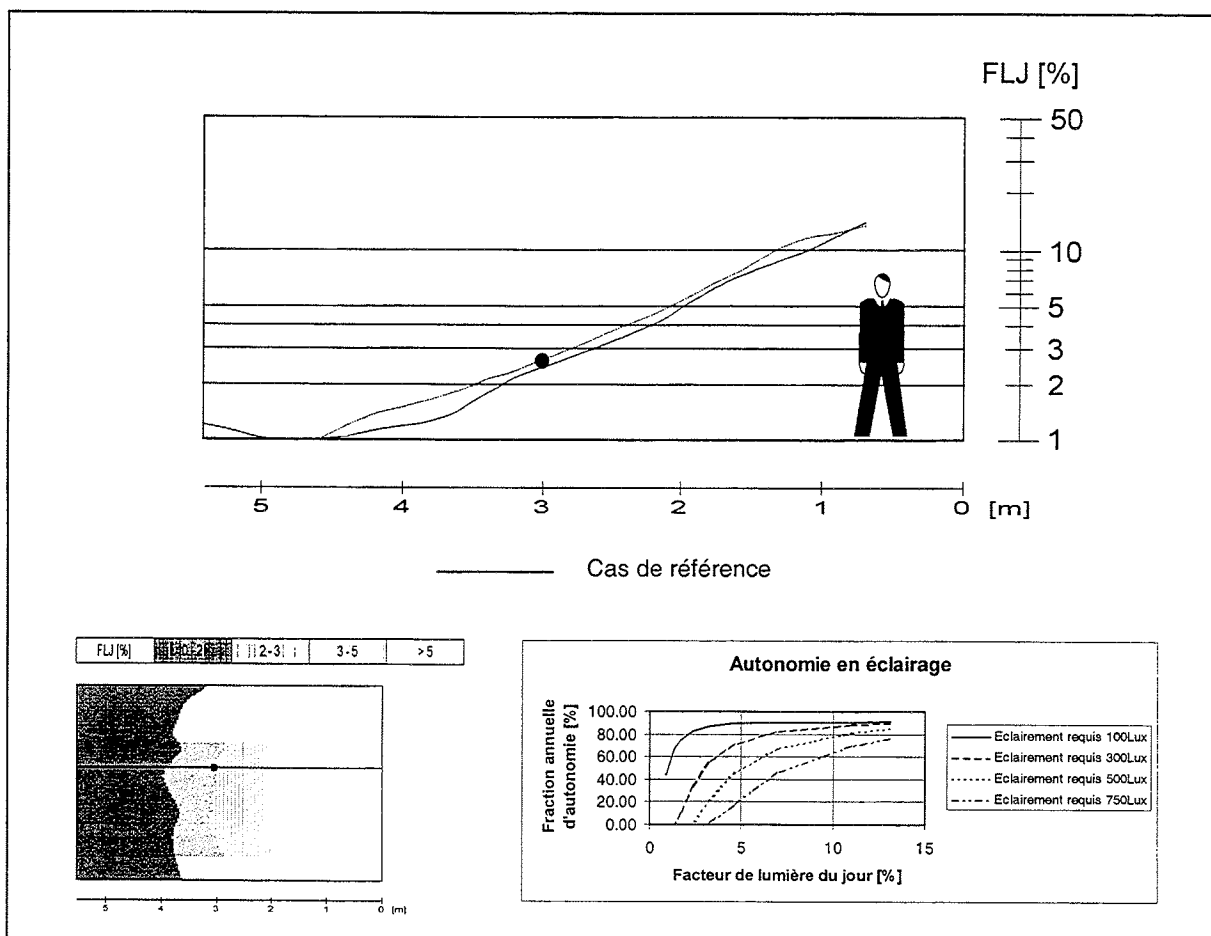
Cette variante est basée sur les hypothèses suivantes :

- Vitrage V1 ($\tau = 83\%$) et Ecran E1 ($\tau = 87\%$)
- Ecran placé à 5 cm de la fenêtre
- Présence d'un caillebotis

Facteur de Lumière du Jour

Maximum : **14.2%** à 0.8m de la fenêtre
 Minimum : **0.9%** à 0.7m du fond du local
 FLJ à 3m : **2.3%** représenté par un point noir

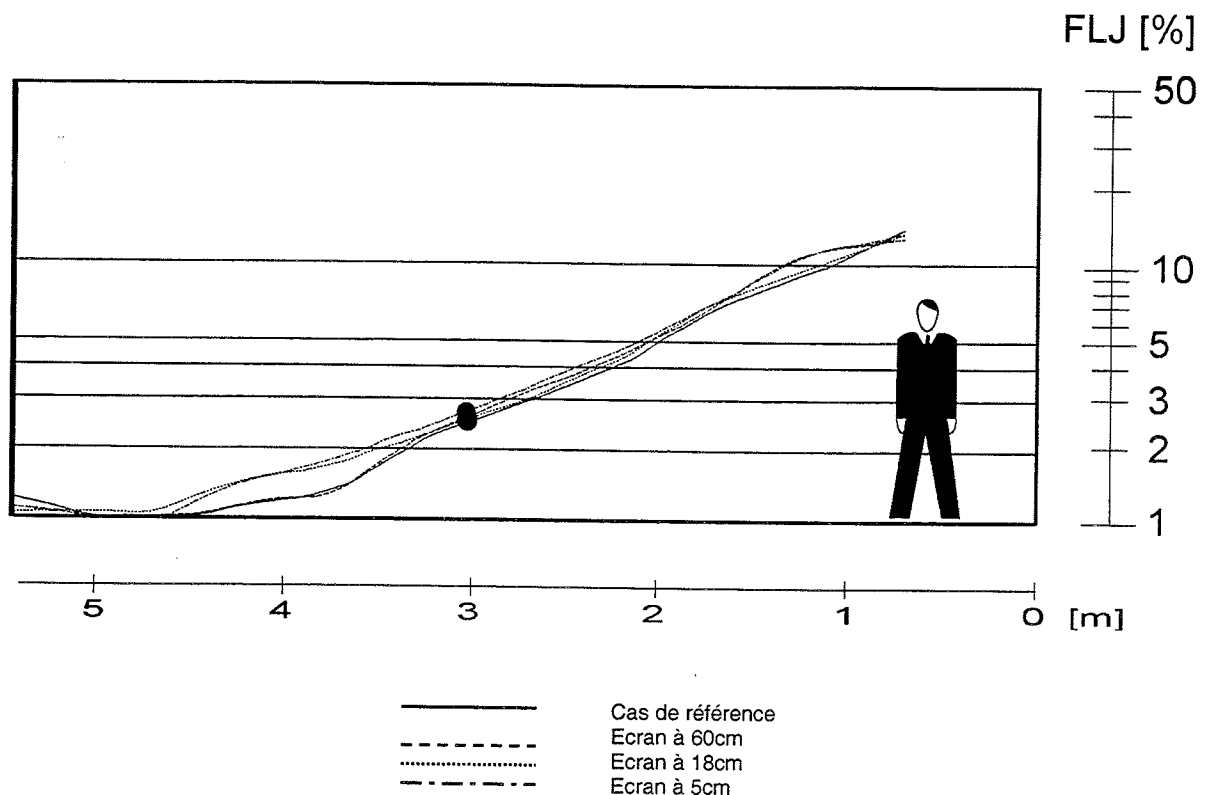
Le facteur de lumière du jour est légèrement supérieur au cas de référence dans l'ensemble de la pièce. Ceci peut s'expliquer en partie par les inter-réflexions entre l'écran et la façade; cette amélioration est, toutefois, probablement imputable à la modélisation numérique (difficultés de prise en compte des inter-réflexions).



Bien que le facteur de lumière du jour soit supérieur au cas de référence, celui-ci reste toutefois dans de faibles proportions en regard de l'autonomie en éclairage naturel.

3.7 Impact de la distance de l'écran

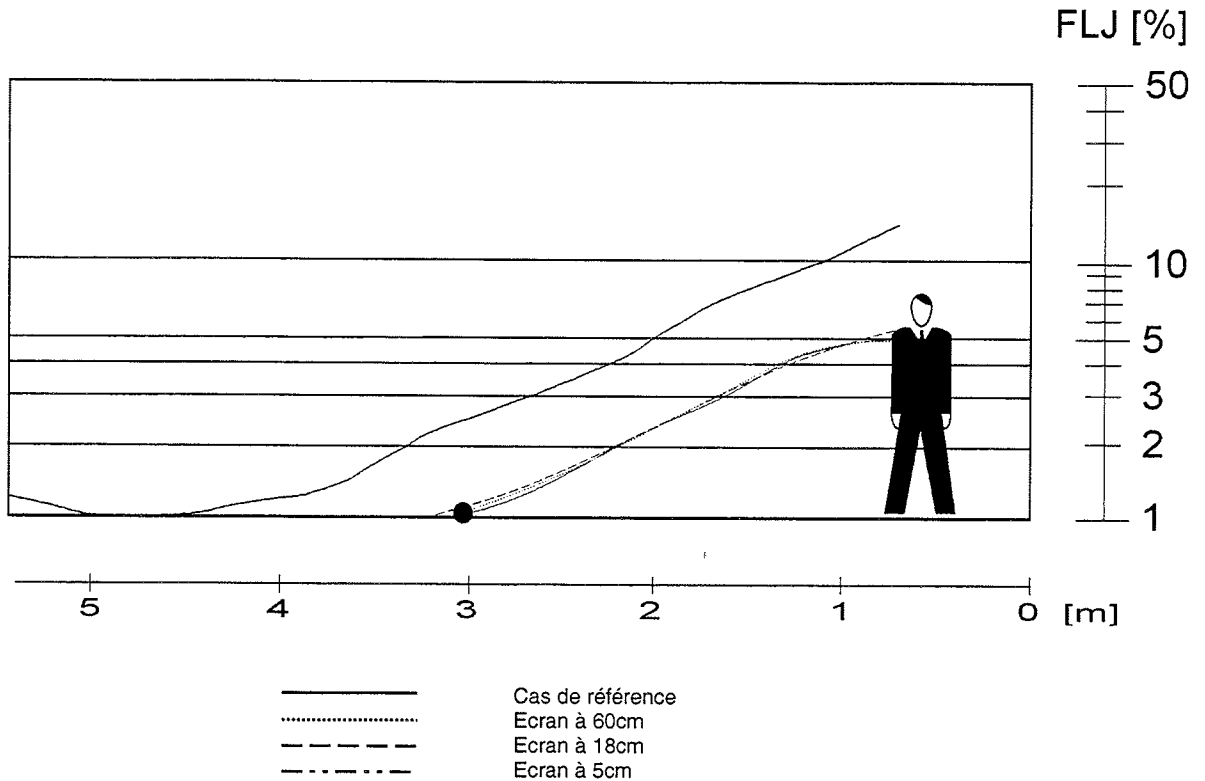
Les simulations numériques, portant sur la distance de l'écran à la façade, se caractérisent par certaines variations des courbes de facteur de lumière du jour. Ces dernières sont vraisemblablement imputables à la modélisation numérique des inter-réflexions entre la double-peau et la façade. Leur prise en compte est difficile, puisque le nombre de ces inter-réflexions est limité dans le programme.



Les limites des possibilités de simulation numérique de l'éclairage naturel sont ainsi mises en évidence par cette étude, en ce qui concerne les inter-réflexions.

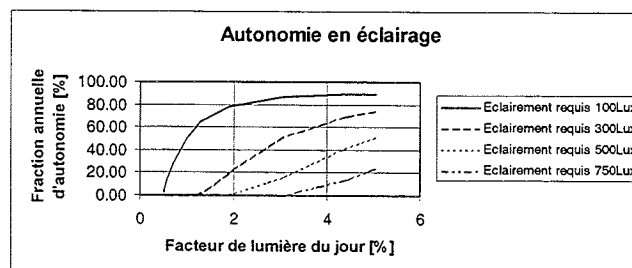
3.8 Impact du coefficient de transmission de l'écran

Des simulations basées sur les mêmes configurations que celles des paragraphes 3.4 à 3.6, ont été réalisées en modifiant toutefois le coefficient de transmission de l'écran (cas E2, $\tau = 40\%$).



La figure confirme l'absence d'influence significative de la distance de l'écran à la façade sur la distribution de l'éclairage naturel dans le local. L'amélioration du facteur de lumière du jour constatée dans le paragraphe 3.7 pour le cas avec écran placé à 5cm de la fenêtre n'est ainsi pas aussi prononcée dans le cas d'un écran de 40% de transmission.

Les valeurs absolues de facteur de lumière de jour sont considérablement inférieures pour ce type d'écran (cas E2), du fait de sa transmission plus faible (1% à 3 m du vitrage au lieu de 2.2%).

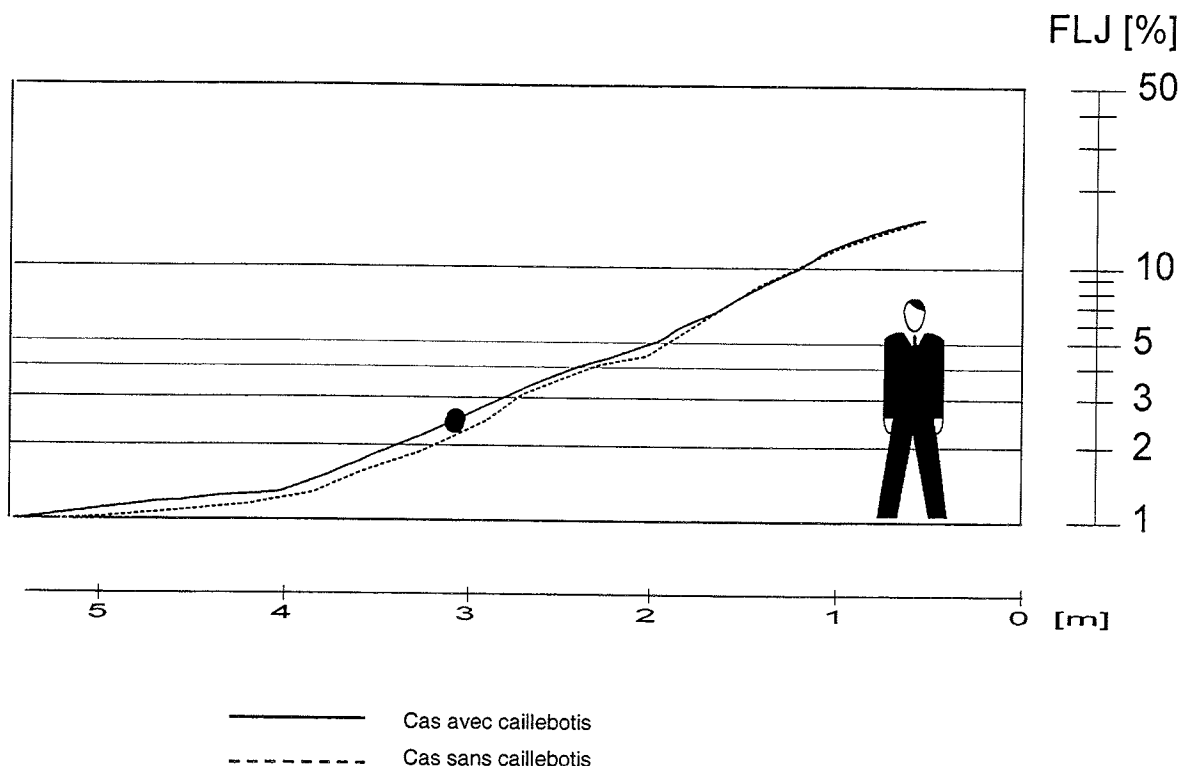


La figure ci-dessus représente l'autonomie en éclairage pour le cas double-peau avec écran E2 à 60 cm. On remarque une autonomie en éclairage négligeable due à des valeurs de facteur de lumière du jour très faibles. A nouveau, dans le cas d'un éclairage requis de 500 Lux, il est nécessaire d'enclencher en permanence l'éclairage électrique à l'endroit indiqué par un point noir.

3.9 Impact du caillebotis

La figure illustre les cas suivants :

- Ecran placé à 18 cm de la fenêtre avec caillebotis
- Ecran placé à 18 cm de la fenêtre sans caillebotis



Facteur de Lumière du Jour avec caillebotis

Maximum : 11.4% à 0.8m de la fenêtre
Minimum : 1.0% à 0.7m du fond du local
FLJ à 3m : 2.4% représenté par un point noir

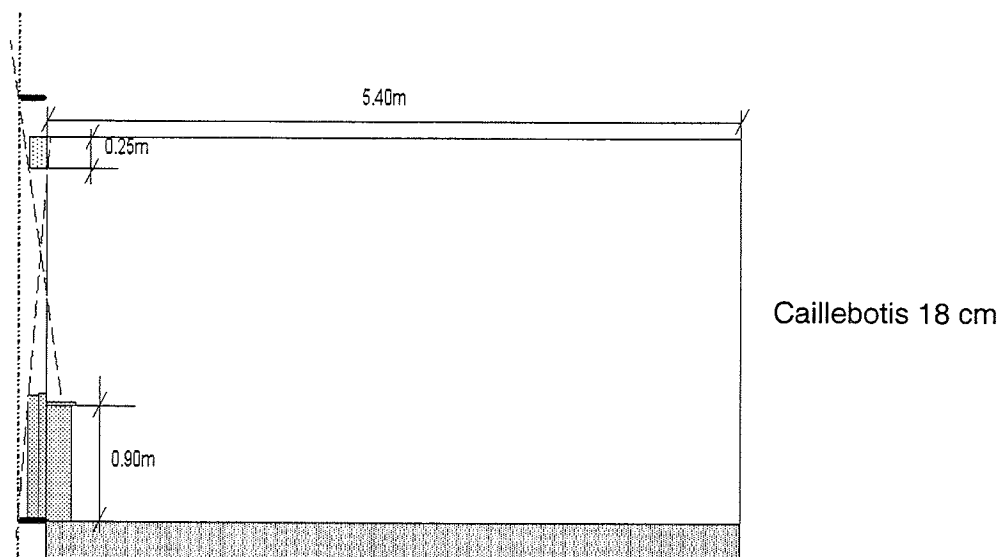
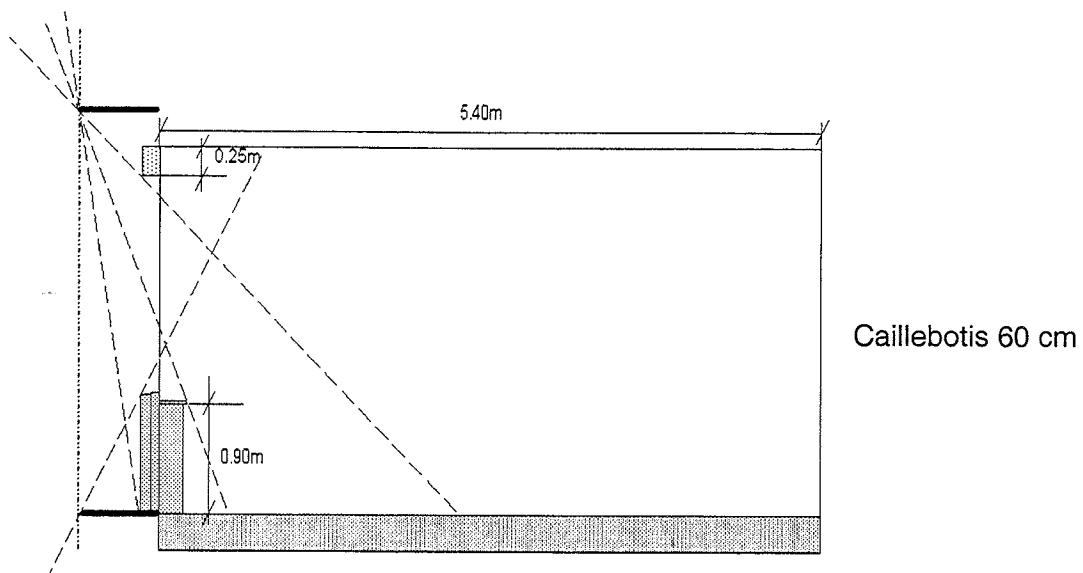
Facteur de Lumière du Jour sans caillebotis

Maximum : 12% à 0.8m de la fenêtre
Minimum : 1.1% à 0.7m du fond du local
FLJ à 3m : 2.2% représenté par un point noir

Les courbes sont quasiment identiques jusqu'à 3 m de la fenêtre. Une différence est toutefois perceptible au fond de la pièce : elle est vraisemblablement imputable aux effets de la modélisation numérique et non à une réalité physique (problème des inter-réflexions).

Le faible impact du caillebotis sur la pénétration de la lumière naturelle dans le local (même pour un caillebotis de 60 cm) s'explique par la hauteur du linteau (25 cm). Ce dernier, bien que représentatif d'une réalité constructive (caisson de store, cadre métallique), contribue à réduire la composante directe du facteur de lumière du jour

sur la presque totalité du local. Il "atténue" de ce fait l'impact du caillebotis (voir figures suivantes), qui n'est perceptible que pour le caillebotis le plus profond (60 cm) sur la première moitié du local.



Conclusion

L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse quantitative et qualitative des performances en lumière naturelle de différentes variantes de façade double-peau, appliquées à des bâtiments administratifs.

L'étude a porté sur des variantes caractéristiques du point de vue de l'éclairage naturel de la façade double-peau, choisies parmi une description typologique plus générale; un local-type de bureau, de dimensions et de caractéristiques photométriques usuelles, a été considéré dans ce travail.

L'analyse des performances en éclairage naturel a été menée à bien à l'aide du programme de simulation numérique ADELIN/Radiance, basé sur la technique du lancer de rayons, à partir de :

- la répartition du facteur de lumière du jour dans le local,
- la fraction annuelle d'autonomie en éclairage naturel,
- la visualisation numérique du local.

Les données numériques suivantes ont été utilisées pour caractériser les différentes variantes considérées :

- Dimensions géométriques du local et de l'ouverture
- Coefficient de réflexion des matériaux
- Caractéristiques physiques du vitrage et de la double-peau
- Coefficient de transmission des différents verres.

Deux catégories principales de double-peau ont été prises en compte :

- Façade double-peau sans contre-cœur
- Façade double-peau avec contre-cœur.

Pour chacune de ces catégories, les paramètres principaux suivants ont été variés :

- Distance de l'écran à la façade
- Présence ou absence de caillebotis
- Coefficient de transmission lumineuse de l'écran.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- **Présence d'un contre-cœur**

La présence d'un contre-cœur en partie basse de la façade (allège) contribue à réduire sensiblement la pénétration de lumière naturelle dans le local (facteur de lumière du jour de 2.4% au lieu de 2.2% à 3 m du vitrage). Sa position en partie basse limite, toutefois, cette influence (effet d'un linteau bien plus important).

- **Distance de l'écran à la façade**

La distance écran-façade n'a aucune influence significative sur la pénétration de la lumière naturelle dans le local. L'accroissement probable des inter-réflexions pour de faibles distances écran-façade (5 à 18 cm par ex.), ne peut toutefois pas être mis en évidence de façon rigoureuse par la technique de simulation numérique utilisée (lancer de rayons).

- **Présence d'un caillebotis**

La présence d'un caillebotis (même de 60 cm de profondeur) n'exerce que peu d'influence sur la répartition du facteur de lumière du jour dans le local. La hauteur du linteau considérée (25 cm) explique cela, dans la mesure où celui-ci contribue à réduire la composante directe du facteur de lumière du jour dans toute la profondeur du local, bien au-delà du caillebotis.

- **Coefficient de transmission lumineuse de l'écran**

Le coefficient de transmission lumineuse de l'écran exerce une influence considérable sur la pénétration de lumière naturelle dans le local. L'utilisation d'un écran de faible transmission lumineuse (verre teinté $\tau = 40\%$ par ex.) réduit ainsi considérablement les valeurs de facteur de lumière du jour par comparaison avec un vitrage clair (1% à une distance de 3 m du vitrage au lieu de 2.2%).

Dans tous les cas de figures, on constate que l'autonomie en éclairage du local reste très limitée. Seule la première moitié du local bénéficie d'une fraction d'autonomie non nulle dans le cas d'un écran de vitrage clair ($\tau = 80\%$); moins d'un tiers du local bénéficie d'une autonomie non nulle dans le cas d'un verre teinté ($\tau = 40\%$).

Ces mêmes conclusions s'appliquent à une façade conventionnelle non équipée d'une double-peau, mais munie d'un même linteau et du même contre-cœur. Cela découle bien évidemment des impacts physiques de ces éléments de façade sur le flux de lumière naturelle pénétrant dans le local.

Références

- [OFQ 95] OFQC, "La lumière naturelle à bon escient", R. Miloni (Ed.)
Programme d'action RAVEL, OCFIM (1995).
- [OFQ 94] OFQC, "Eclairage des bureaux", J.-L. Scartezzini (Ed.)
Programme d'action RAVEL, OCFIM (1994).
- [Sca 94] J.-L. Scartezzini, R. Compagnon, G. Ward et B. Paule, "Outils informatiques en lumière naturelle", CUEPE/Uni Genève, LESO-PB/EPFL (1994).
- [War 92] G.J. Ward, "The Radiance Lighting Simulation System", LBL, Berkeley, USA (1992).
- [ASE 89] Association Suisse des Electriciens, "Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht", Norme suisse SEV 8911 (1985).



Laboratoire d'ElectroMagnétisme et d'Acoustique

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Département
d'Electricité, Laboratoire d'Electromagnétisme et d'Acoustique (LEMA),
CH-1015 Lausanne tél. + 41 21 693 26 69 fax + 41 21 693 26 73



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Façade double peau

Aspects acoustiques

Mandant

Document

Le : 12 / 11 / 97

Etabli par : W. Köller

Réf. : n° FDP-01

Exemplaire n°

Visa: EPFL, le 12 / 11 / 97

W. Köller

1. Résumé

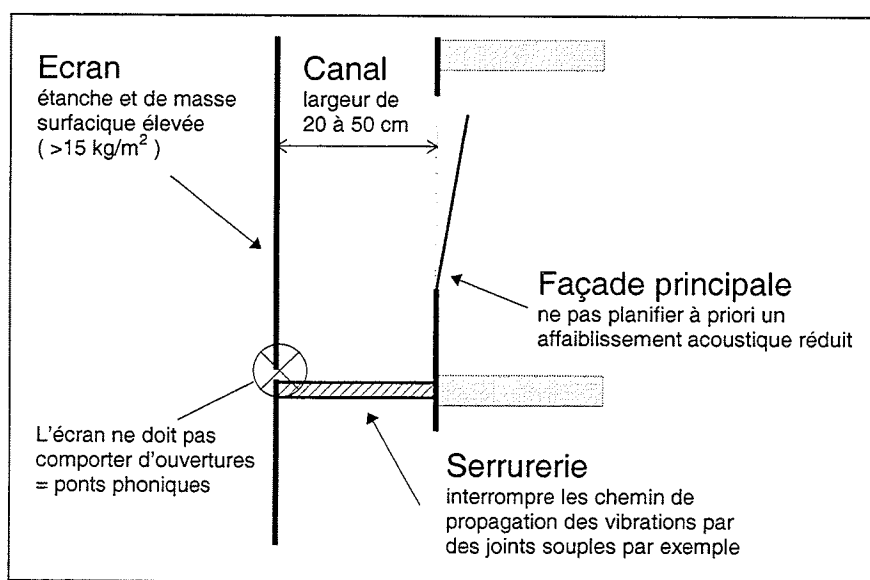
Une façade double peau correctement réalisée permet d'obtenir une amélioration de protection contre les bruits extérieurs. Elle peut aussi maintenir une protection appréciable lorsque les fenêtres sont ouvertes. Cependant, selon sa mise en oeuvre, l'écran extérieur de la façade double peau peut très bien n'apporter aucune protection supplémentaire contre les bruits extérieurs.

La prévision de l'affaiblissement acoustique d'une façade double peau est complexe car intégrant de nombreux paramètres. Il est erroné de croire que l'affaiblissement acoustique de la façade double peau est la somme de ceux de la façade principale et de l'écran.

Pour ces raisons, il est risqué de planifier des performances d'affaiblissement réduites pour la façade principale sans consulter un acousticien.

Les directives générales pour qu'une façade double peau améliore la protection contre les bruits extérieurs sont :

- prévoir un écran étanche, c'est à dire qu'il ne doit y avoir aucun chemin direct de propagation du son entre l'extérieur et le canal : ouvertures dans l'écran, fentes entre éléments etc., lesquels constitueraient autant de ponts phoniques
- adopter, pour l'écran, un matériau assez lourd et/ou épais afin d'obtenir une masse surfacique la plus élevée possible - typiquement supérieure à 15 kg/m^2 ; cependant, si l'épaisseur dépasse 5 mm, une structure stratifiée est préférable
- fixer la largeur du canal entre l'écran étanche et la façade principale entre 20 et 50 cm prévoir, dans la serrurerie, des joints souples afin que celle-ci ne propage pas les vibrations de l'écran à la façade principale.



Comme toute médaille a son revers, la façade double peau peut favoriser la propagation des bruits d'une unité du bâtiment à une autre lorsque leurs fenêtres sont ouvertes. Pour éviter ce phénomène il convient de cloisonner le canal aux limites des unités, horizontalement et verticalement.

2. Introduction

Une des fonctions d'une façade est une contribution à la protection contre les bruits extérieurs. Cette protection est non seulement un gage de confort pour les occupants du bâtiment, mais elle s'inscrit avant tout dans un cadre légal à respecter impérativement (Art. 32 de l'ordonnance sur la protection contre le bruit OPB).

Les performances minimales de protection contre les bruits extérieurs sont clairement définies par la norme SIA-181-1988 (§ 3.13). La protection y est caractérisée par l'isolation acoustique $D_{nT,w}$ qui est calculée à partir du volume du local, de la surface des éléments exposés aux bruits et de leurs indices d'affaiblissement acoustique R'_w .

Un soin particulier doit être accordé à cette protection si la façade est exposée à des bruits extérieurs élevés (exploitations industrielles, axes routiers très fréquentés...) ou si le projet doit respecter les exigences accrues en matière d'isolation acoustique. Dans ces cas, il est nécessaire de consulter un acousticien.

Exemples :

La performance d'isolation acoustique $D_{nT,w}$ requise pour les locaux de bureaux est de 35 dB si la nuisance des bruits extérieurs est modérée. L'affaiblissement acoustique R'_w de la façade à planifier dans ce cas est de l'ordre de 30 à 35 dB.

La performance d'isolation acoustique accrue $D_{nT,w}$ requise pour les locaux de bureaux est de 45 dB si la nuisance des bruits extérieurs est élevée. L'affaiblissement acoustique R'_w de la façade à planifier dans ce cas est de l'ordre de 40 à 45 dB.

L'annexe A2 de la norme SIA-181-1988 détaille les différents calculs permettant de déterminer les isolations acoustiques $D_{nT,w}$.

2.1 Façades double peau

On parle de "façade double peau" lorsque la façade principale - par exemple maçonnerie et vitrage - est doublée d'un écran extérieur, avec un canal d'air plus ou moins large.

Une façade double peau correctement conçue du point de vue acoustique améliore la protection contre les bruits extérieurs. En particulier, une façade double peau peut répondre à deux exigences apparemment contradictoires: le maintien d'une protection appréciable alors que des fenêtres ouvertes assurent une ventilation naturelle.

Par contre, lorsque les fenêtres sont ouvertes, une façade double peau peut favoriser la propagation des bruits intérieurs d'une unité du bâtiment à une autre.

Les aspects acoustiques déterminant dans la conception d'une façade double peau sont donc :

- la protection contre les bruits extérieurs avec les fenêtres fermées - contrainte légale - (figure 1a)
- la protection contre les bruits extérieurs avec les fenêtres ouvertes - apport de confort - (figure 1b)
- la protection contre la propagation des bruits aériens intérieurs, d'une unité du bâtiment à une autre, lorsque les fenêtres sont ouvertes (figure 1c).

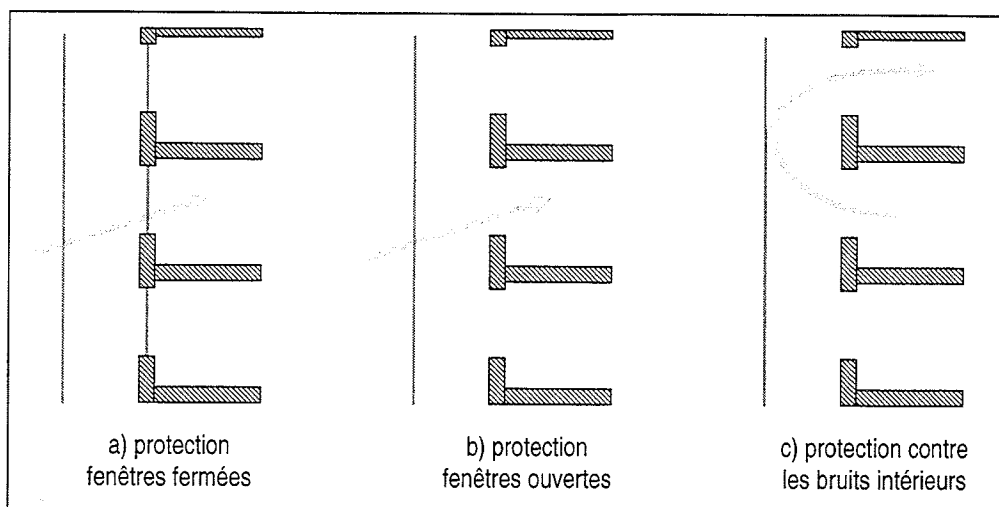


Figure 1

3. Protection contre les bruits extérieurs

3.1 Introduction

L'écran d'une façade double peau a, entre autres objectifs, celui d'augmenter la protection contre les bruits extérieurs. Cependant, un écran mal conçu peut très bien n'apporter aucune protection supplémentaire.

Parmi les conceptions de façade double peau possibles, c'est celle avec un écran acoustiquement étanche (figure 2a) qui présente la meilleure protection contre les bruits extérieurs (§ 3.3). Toute ouverture pratiquée dans l'écran (figure 2b) constitue un pont phonique qui pénalise cette protection (§ 3.4). La conception la moins intéressante est une façade double peau dont l'écran est interrompu (figure 2c) car celui-ci n'apporte quasi plus de protection supplémentaire (§ 3.5).

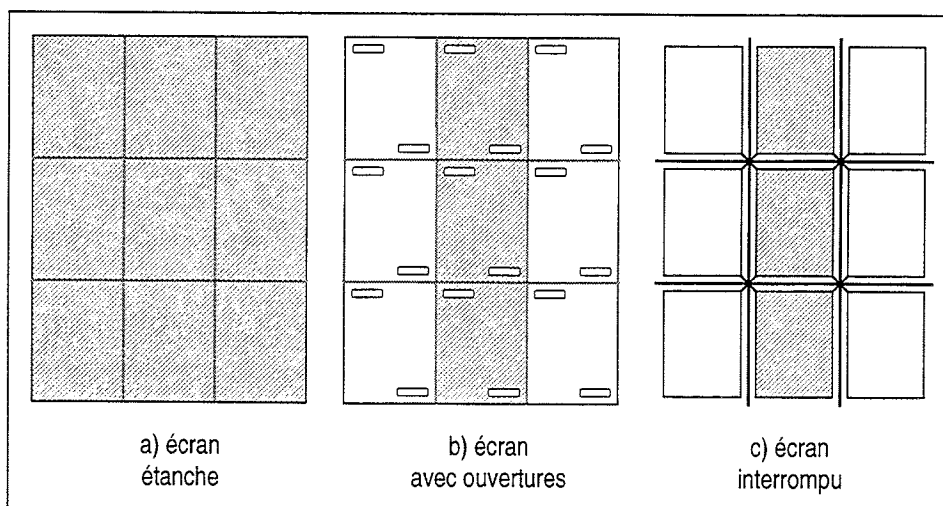


Figure 2

La protection contre les bruits extérieurs des façades double peau s'avère complexe à calculer. En particulier, il est erroné de croire que l'affaiblissement acoustique d'une façade double peau se calcule en sommant ceux de la façade principale et de l'écran.

Les paragraphes suivants donnent des directives générales pour optimiser cette protection.

3.2 Façade principale

Il convient de ne pas sous-estimer à priori l'affaiblissement acoustique nécessaire pour les éléments de la façade principale - en particulier les vitrages. L'écran, qui ne peut pas être trop lourd pour des raisons de charge admissible par la structure porteuse, ne présente généralement pas, à lui seul, une protection suffisante contre les bruits extérieurs (voir § 3.3.1).

L'affaiblissement acoustique planifié pour la façade principale peut uniquement être réduit de 5 à 10 dB que lorsque l'écran est étanche et correctement conçu pour la protection contre les bruits extérieurs.

Par contre, lorsque l'écran comporte des ouvertures ou est interrompu, il est risqué de planifier un affaiblissement acoustique réduit pour façade principale. Il est alors conseillé de se conformer aux prescriptions légales, comme si l'écran ne contribuait aucunement à la protection.

3.3 Façade double peau avec un écran étanche

Cette conception est celle à retenir lorsque la protection contre les bruits extérieurs doit être élevée ou si l'on souhaite répartir la protection légale entre l'écran et la façade principale. Par ailleurs, seul un écran étanche offre une protection appréciable lorsque les fenêtres sont ouvertes.

3.3.1 Matériau de l'écran

L'affaiblissement acoustique d'un élément augmente avec sa masse. Cela implique qu'il convient de choisir pour l'écran un matériau et une épaisseur permettant d'obtenir une masse surfacique la plus importante possible - typiquement supérieure à 15 kg/m². Un écran en verre est à cet égard plus intéressant qu'un écran synthétique.

L'affaiblissement acoustique d'un élément présente un minimum à une fréquence de coïncidence dont la valeur dépend du matériau et de son épaisseur. Pour ne pas pénaliser la protection contre les bruits extérieurs, l'écran devrait être dimensionné de manière à situer la fréquence de coïncidence au-dessus de 2.5 kHz.

Ainsi, si l'écran est réalisé en verre, son épaisseur ne devrait pas dépasser 5 mm. Pour des épaisseurs plus importantes, il convient d'utiliser un matériau stratifié (verre-résine-verre).

Exemples :

- écran étanche en verre simple de 5 mm - 12.5 kg/m² - $R'_w \approx 29$ dB - fréq. de coïncidence à 2.4 kHz
- écran étanche en verre simple de 10 mm - 25 kg/m² - $R'_w \approx 30$ dB - fréq. de coïncidence à 1.2 kHz

3.3.2 Construction

La protection contre les bruits extérieurs augmente avec la largeur du canal séparant l'écran étanche et la façade principale. Mais un espace supérieur à 50 cm peut entrer en résonance avec certains bruits extérieurs - trafic par exemple - résonance qui pénalise la protection.

Les largeurs adéquates vont de 20 à 50 cm. Une façade double peau n'améliore la protection que si les vibrations de l'écran, dues aux bruits extérieurs, ne sont pas transmises par la structure aux éléments légers de la façade principale qui vont rayonner ces vibrations - vitrages, tôles métalliques. L'écran ou la serrurerie de la structure doit être correctement désolidarisé du corps principal de la façade en prévoyant, par exemple, des joints souples pour la fixation des verres.

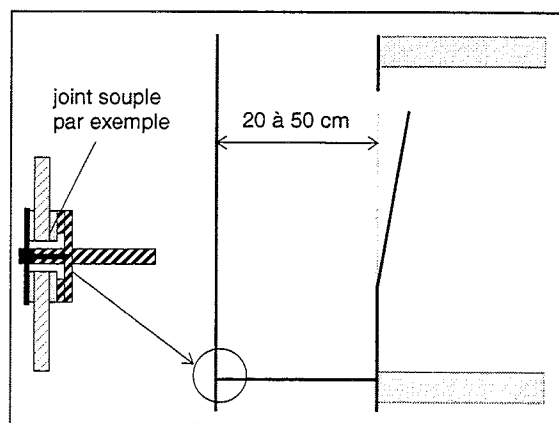


Figure 3

3.3.3 Exemples de façade double peau

La 4 donne les valeurs théoriques d'affaiblissement acoustique R'_w de deux exemples de façade double peau :

- a) une façade principale, dont les fenêtres sont fermées avec un vitrage 4-12-5 mm, doublée d'un écran étanche en verre de 5 mm
- b) une façade principale, dont les fenêtres sont fermées avec un vitrage 4-12-5 mm, doublée d'un écran étanche en stratifié verre-résine-verre de 9 mm.

Les courbes montrent l'évolution de cet affaiblissement en fonction de la largeur du canal.

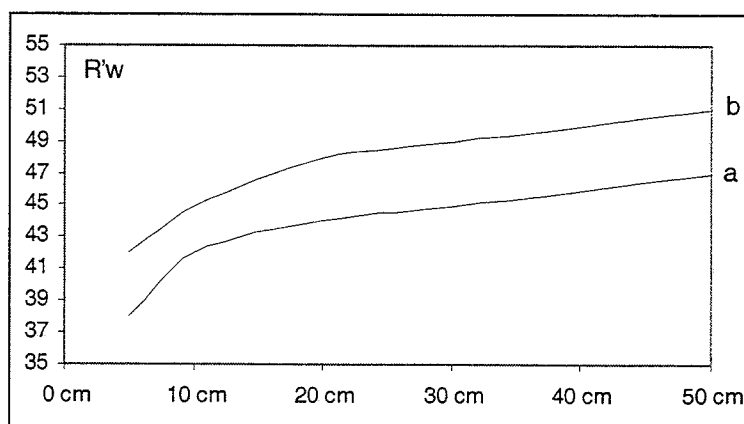


Figure 4

L'affaiblissement acoustique de l'écran seul, c'est à dire avec les fenêtres de la façade principale ouvertes, serait de l'ordre de 25 à 30 dB.

Les exemples ci-dessus constituent des cas idéaux où tout a été mis en oeuvre en vue de la protection contre les bruits extérieurs. Les compromis à la conception, les transmissions latérales, les défauts d'exécution et le vieillissement vont diminuer ces performances (norme SIA-181-1988, annexe A1 1 4).

3.4 Façade double peau avec un écran comportant des ouvertures

Toute ouverture dans l'écran pénalise de manière importante l'amélioration de la protection contre les bruits extérieurs. Ces ouvertures sont à proscrire lorsque la protection contre les bruits extérieurs doit être élevée ou lorsqu'une protection avec les fenêtres ouvertes est souhaitée; le concept de ventilation est alors à modifier.

3.4.1 Exemple

La figure 5 montre l'influence des ouvertures sur la courbe de l'affaiblissement acoustique. Celles-ci créent un résonateur acoustique qui pénalise l'affaiblissement autour de la fréquence de résonance.

Les courbes de la Figure sont des résultats de mesure d'une façade avec des doubles vitrages :

- avec un défaut d'étanchéité des joints des ouvrants totalisant moins de 1% d'ouverture (courbe a), $R'_w = 23$ dB
- après remplacement des joints (courbe b), $R'_w = 39$ dB

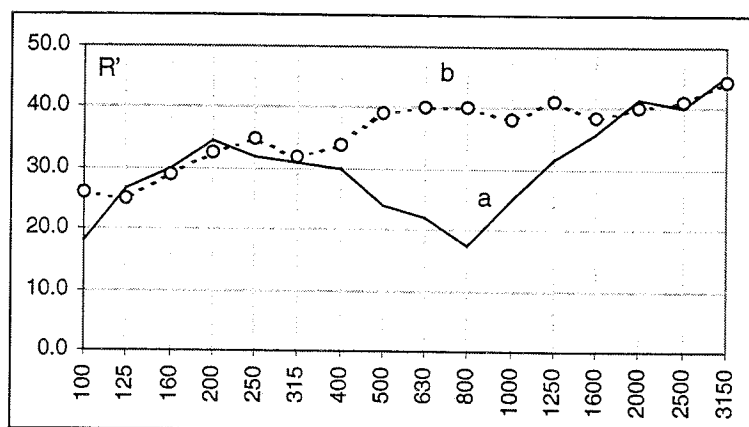


Figure 5

3.4.2 Exemple de façade double peau

Les façades de l'exemple 0, avec une largeur de canal de 30 cm, n'auraient plus qu'un affaiblissement acoustique d'environ 38 dB si l'écran comportait des ouvertures (>1% de la surface).

L'affaiblissement acoustique de l'écran seul, c'est à dire avec les fenêtres de la façade principale ouvertes, serait de l'ordre de :

- $R'_w = 20$ dB lorsqu'il comporte 1% d'ouverture
- $R'_w = 10$ dB lorsqu'il comporte 10% d'ouverture.

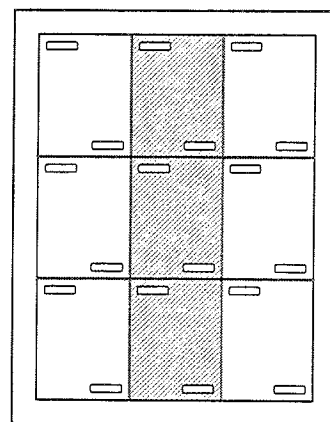


Figure 6

3.5 Façade double peau avec un écran interrompu

Lorsque les éléments de l'écran sont distants les uns des autres de plusieurs centimètres horizontalement et/ou verticalement, comme représenté à la figure 2 et à la figure 7, une importante partie du bruit contourne ces éléments. Cela est également le cas en extrémité de façade si le canal n'est pas fermé.

Un écran ainsi interrompu ne contribue quasi plus à la protection contre les bruits extérieurs. La façade principale doit alors assurer, à elle seule, cette protection.

3.5.1 Construction

Contrairement à ce qui se passe lorsque l'écran est étanche, la faible contribution à la protection apportée par un écran interrompu, diminue avec la largeur du canal. Cette largeur ne devrait alors pas excéder 5 à 10 cm.

3.5.2 Exemple de façade double peau

Les façades de l'exemple 0, avec une largeur de canal de 10 cm, n'auraient plus qu'un affaiblissement acoustique d'environ 35 dB si l'écran était interrompu sur deux côtés.

L'affaiblissement acoustique de l'écran seul, c'est à dire avec les fenêtres de la façade principale ouvertes, serait dans ce cas inférieur à 10 dB.

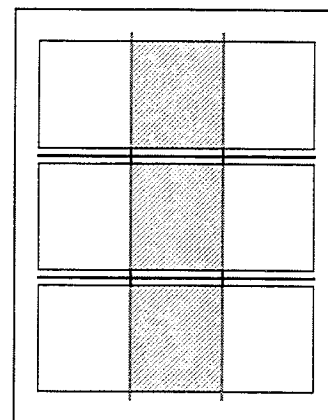


Figure 7

3.6 Cas particulier

Selon sa conception, l'écran peut être acoustiquement étanche au milieu de la façade et interrompu aux extrémités - angle du bâtiment, canal ouvert en bas et en haut... Ces singularités doivent être étudiées à part.

4. Protection contre les bruits intérieurs

Lorsque les fenêtres sont ouvertes, l'écran peut favoriser la propagation des bruits d'une unité du bâtiment à une autre. Ce phénomène, parfois appelé "effet téléphone", peut être vertical et/ou horizontal selon la conception du canal.

Pour éviter que cette propagation des bruits devienne gênante, il convient de cloisonner verticalement et horizontalement le canal au niveau des unités du bâtiment.

Ce cloisonnement peut contraindre de pratiquer des ouvertures dans l'écran pour assurer la ventilation, ouvertures qui pénalisent la protection contre les bruits extérieurs (voir § 3.4). Une structure de façade double peau avec des cheminées intermédiaires - tel que représentée à la figure 9 - est, sans doute, un compromis acceptable.

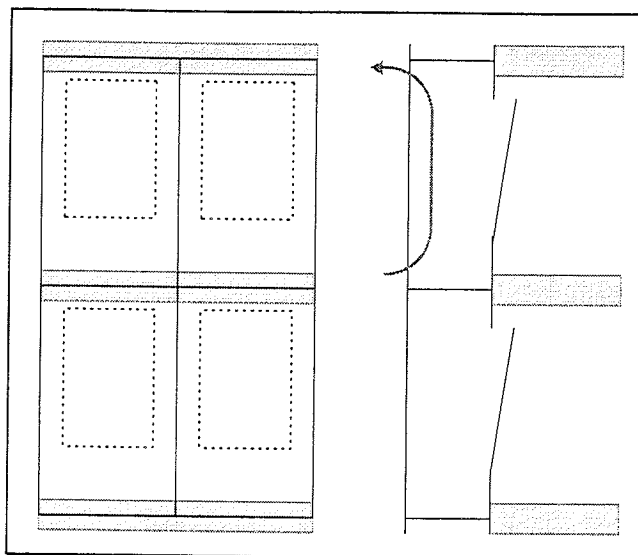


Figure 8

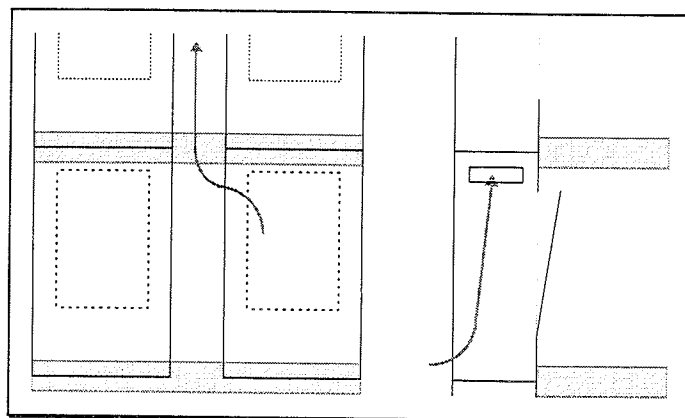


Figure 9

5. Annexes

5.1 Définitions

5.1.1 Références

OPB Ordonnance de Protection contre le Bruit (entrée en vigueur le 1er avril 1987)
SIA-181 Norme SIA-181 sur la protection contre le bruit dans le bâtiment, édition de 1988, qui s'applique à tout bâtiment construit ou rénové après le 1er octobre 1988.

5.1.2 Grandeurs acoustiques

L_r Niveau d'évaluation, en dB(A). Cette grandeur correspond au niveau sonore du bruit extérieur évalué conformément à l'OPB (Annexes 3 à 7)
 R'_w Indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré, en dB. Cette grandeur caractérise l'affaiblissement acoustique d'un élément de construction.
 $D_{nT,w}$ Isolation acoustique normalisée pondérée, en dB. Cette grandeur caractérise l'isolation acoustique globale de l'extérieur vers l'intérieur d'un local ou entre deux locaux.

Les relations entre ces grandeurs acoustiques sont décrites dans l'annexe A2 de la norme SIA-181-1988.

5.2 Performances de protection requises

A titre indicatif, les deux tableaux suivants donnent les performances de protection contre les bruits extérieurs requises.

Le tableau 1 indique l'isolation acoustique contre les bruits extérieurs $D_{nT,w}$ minimale à respecter, selon la norme SIA -181-1988 § 3 1.

Les performances d'affaiblissement acoustique R'_w requises pour chacun des éléments de construction doivent être calculées à partir de ces valeurs.

Environnement	tranquille	bruyant	très bruyant	industriel
	$L_r < 60 \text{ dB(A)}$	$L_r > 60 \text{ dB(A)}$	$L_r > 65 \text{ dB(A)}$	$L_r > 70 \text{ dB(A)}$
faible	> 25 dB	> 30 dB	> 35 dB	> 40 dB
moyenne	> 30 dB	> 35 dB	> 40 dB	> 45 dB
élevée	> 35 dB	> 40 dB	> 45 dB	> 50 dB

Tableau 1

Le tableau 2 indique l'affaiblissement acoustique R'_w minimal requis pour les fenêtres, selon l'OPB Annexe 1.

Jour	Nuit	R'_w
$L_r < 65 \text{ dB(A)}$	$L_r < 60 \text{ dB(A)}$	> 30 dB
$L_r < 75 \text{ dB(A)}$	$L_r < 70 \text{ dB(A)}$	> 35 dB
$L_r > 75 \text{ dB(A)}$	$L_r > 70 \text{ dB(A)}$	> 40 dB

Tableau 2

5.3 Comportement acoustique d'une façade double peau avec un écran étanche

La façade double peau peut être modélisée par une structure comportant deux parois - écran et façade principale - séparées par un espace d'air. Des prévisions de comportement acoustique peuvent être faites sur la base de ce modèle de "paroi double".

5.3.1 Prédiction de la courbe d'affaiblissement acoustique de la paroi double

La comportement acoustique d'une paroi double dépend principalement:

- de la masse surfacique (m' en kg/m^2) et de l'épaisseur (e en m) du matériau de chaque paroi
- de l'espace d'air (d en m) entre les parois.

La 10 montre l'allure générale de la courbe d'affaiblissement acoustique d'une paroi double en fonction de la fréquence.

On y remarque divers points singuliers dus à des phénomènes acoustiques qui tendent à diminuer l'affaiblissement acoustique, principalement :

- la fréquence de résonance de la paroi double f_d
- les fréquences de coïncidence de chacun des éléments constituant la paroi double f_c
- les fréquences propres de la cavité f_r

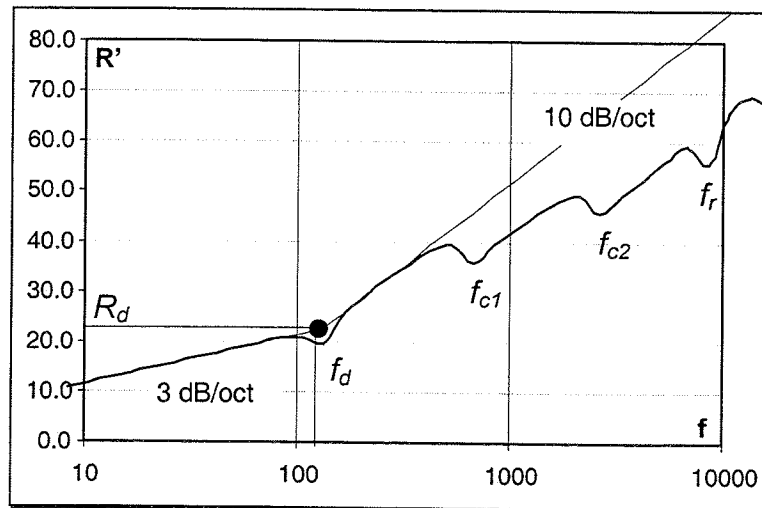


Figure 10

L'indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré R'_w est déduit de cette courbe selon la méthode décrite dans la norme ISO 717/1 reprise dans l'annexe A3 1 2 de la norme SIA-181-1988.

Fréquence de résonance de la paroi double

La fréquence de résonance d'une paroi double constituée de deux éléments de masse surfacique m'_1 et m'_2 (en kg/m^2) séparés par un espace d'air de largeur d (en m) se calcule par :

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{140 \cdot 10^3}{d} \cdot \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}$$

Indice d'affaiblissement à la fréquence de résonance

L'indice d'affaiblissement à la fréquence de résonance est estimé à l'aide de la formule de Marsch :

$$R_d = X_1 + X_2 - 20 \cdot \log\left(\frac{c}{4\pi \cdot f_d \cdot d}\right)$$

avec, pour m'_i inférieure à 150 kg/m^2 :

$$X_i = 15 \cdot \log(m'_i) + 16.7 \cdot \log(f_d) - 35$$

pour m'_i supérieure à 150 kg/m^2 :

$$X_i = 33.3 \cdot \log(m'_i) + 16.7 \cdot \log(f_d) - 74.9$$

Pente théorique de la courbe d'affaiblissement acoustique

En deçà de la fréquence de résonance, la pente de la courbe de l'affaiblissement acoustique est d'environ 3 dB par octave.

Au-delà de la fréquence de résonance, la pente de la courbe de l'affaiblissement acoustique est d'environ 10 dB par octave.

Calcul des fréquences de coïncidences

$$f_c = \frac{f_{c0}}{e}$$

avec $f_{c0} = 12$ pour le verre

L'affaiblissement acoustique chute de 1 à 10 dB à chacune des fréquences de coïncidence selon que le matériau présente un fort ou faible facteur de pertes internes.

Calcul des fréquences propres de la cavité entre les éléments

$$f_r = N \cdot \frac{c}{2d}$$

L'affaiblissement acoustique est plus faible de quelques dB à chacune des fréquences propres de la cavité.

5.3.2 Exemples de courbes d'affaiblissement acoustique de la paroi double

Afin de valider la théorie avec des exemples, les deux figures ci-après comparent chacune une courbe d'affaiblissement acoustique théorique à des données mesurées.

- Vitrage double 4/12/4 mm [réf.: journal suisse de la technique pour fenêtres et façades 3/97 p.17]

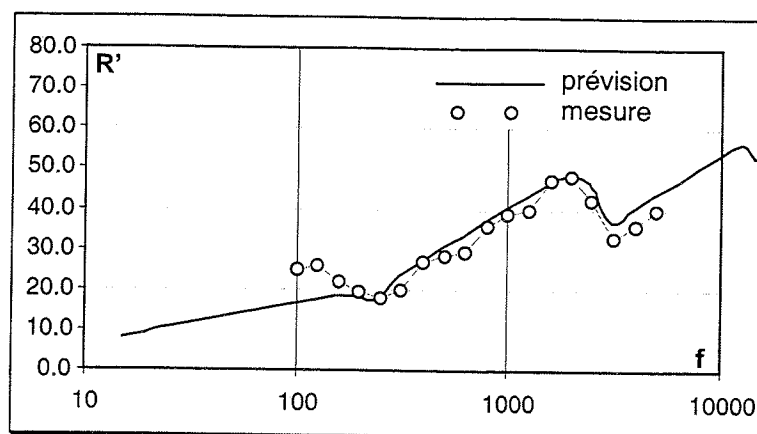


Figure 11

- Vitrage triple 4.5+4.5/20/6 mm [réf.: mesures EMPA 139595.15]

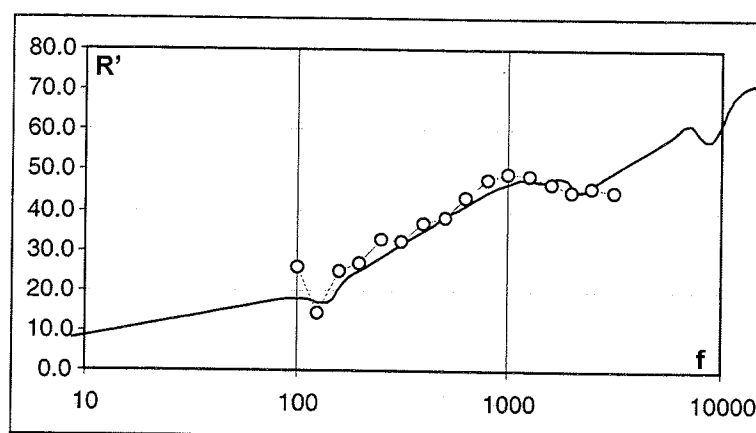


Figure 12

5.3.3 Remarque sur le comportement acoustique de la façade principale

La façade principale est habituellement composée d'une partie en maçonnerie et d'une partie vitrée, ceci dans diverses proportions. Comme, les performances d'isolation des vitrages sont le plus souvent, bien inférieures à celles de la partie en maçonnerie, l'affaiblissement acoustique résultant de l'ensemble de la façade principale est uniquement caractérisé par celui de la partie en vitrage.

Les exemples de comportement acoustique des façades double peau décrits dans cette annexe, ne prennent dès lors en compte que la partie vitrée de la façade principale.

L'annexe A2 2 de la norme SIA-181-1988 donne la définition de l'affaiblissement acoustique résultant et détaille les différents calculs permettant de le déterminer.

5.3.4 Exemples de comportement acoustique de façades double peau avec un écran étanche

La courbe a de la figure 13 montre l'affaiblissement acoustique R' en fonction de la fréquence d'un double vitrage 4/12/5 mm.

La courbe b de la figure 13 montre ce que devient l'affaiblissement lorsque ce vitrage est doublé d'un écran étanche de verre de 5 mm avec une largeur de canal de 50 cm.

Les indices d'affaiblissement acoustique apparent pondéré correspondants sont :

- pour le double vitrage 4/12/5 mm (déterminé¹ à partir de la courbe a): $R'_w \sim 32$ dB
- pour l'écran en vitrage simple de 5 mm: $R'_w \sim 28$ dB
- pour façade double peau (déterminé à partir de la courbe b): $R'_w \sim 48$ dB

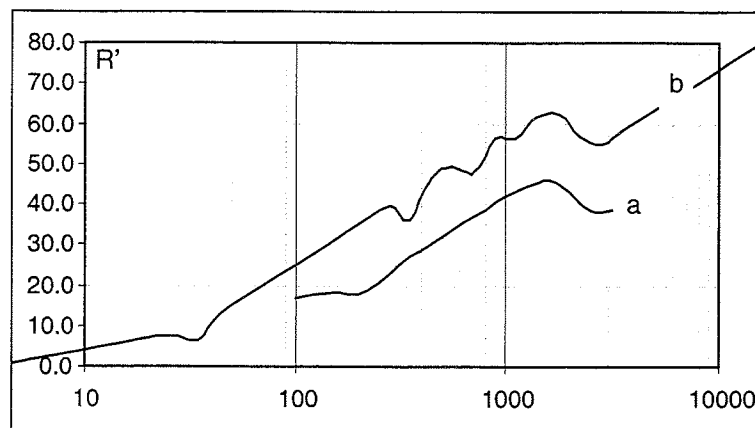


Figure 13

La courbe a de la 14 montre l'affaiblissement acoustique R' en fonction de la fréquence d'un vitrage simple de 5 mm.

La courbe b de la 14 montre ce que devient l'affaiblissement lorsque ce vitrage est doublé d'un écran stratifié (deux verres de 4.5 mm séparés par une couche de matériau résilient) avec une largeur de canal de 50 cm.

Les indices d'affaiblissement acoustique apparent pondéré correspondants sont :

- pour le vitrage simple de 5 mm (déterminé à partir de la courbe a): $R'_w \sim 28$ dB
- pour l'écran stratifié de 9 mm: $R'_w \sim 31$ dB
- pour façade double peau (déterminé à partir de la courbe b): $R'_w \sim 50$ dB

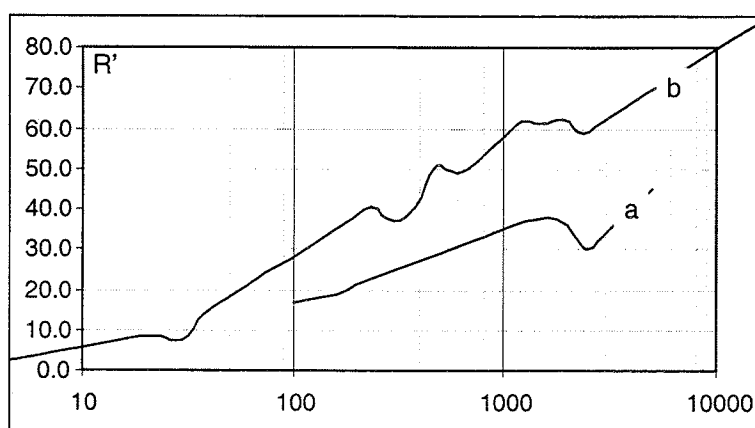


Figure 14

¹ Selon la norme ISO 717/1

5.4 Comportement acoustique d'une façade double peau avec un écran comportant des ouvertures

5.4.1 Affaiblissement acoustique d'un élément comportant des ouvertures

Une ouverture dans un élément de construction et une partie du volume d'air couplé à cet élément créent un résonateur acoustique qui pénalise l'affaiblissement autour de la fréquence de résonance. La valeur de cette fréquence dépend de la géométrie de l'ouverture et de celle du volume couplé.

Globalement, l'indice d'affaiblissement acoustique d'un élément de construction comportant des ouvertures est inférieur à 20 dB. La figure 15 donne l'ordre de grandeur de l'affaiblissement en fonction de la proportion d'ouverture dans l'élément.

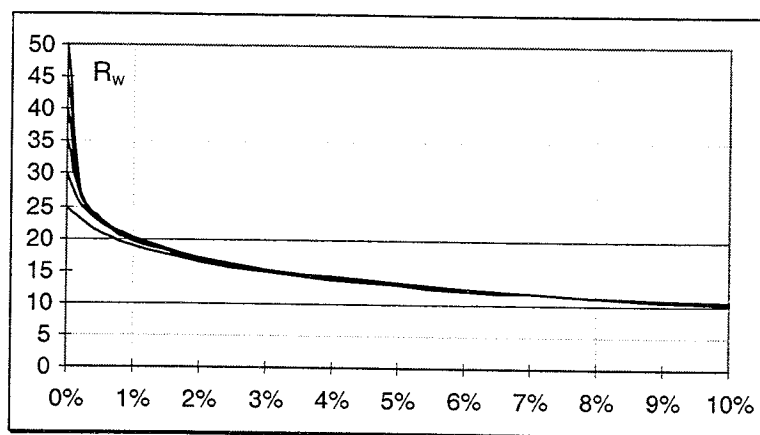


Figure 15

5.4.2 Exemples de comportement acoustique de façades double peau avec un écran comportant des ouvertures

La courbe a de la figure 16 montre l'affaiblissement acoustique R' en fonction de la fréquence d'un vitrage simple de 5 mm.

La courbe b de la figure 16 montre ce que devient l'affaiblissement lorsque la façade principale est doublée d'un écran comportant 4% d'ouverture avec une largeur de canal de 50 cm. La constitution de l'écran n'influence que très peu ce résultat.

L'indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré de la façade double peau (déterminé à partir de la courbe b) est de $R'_w \sim 40$ dB, soit 8 à 10 dB de moins que les exemples avec un écran étanche du paragraphe 0.3.4.

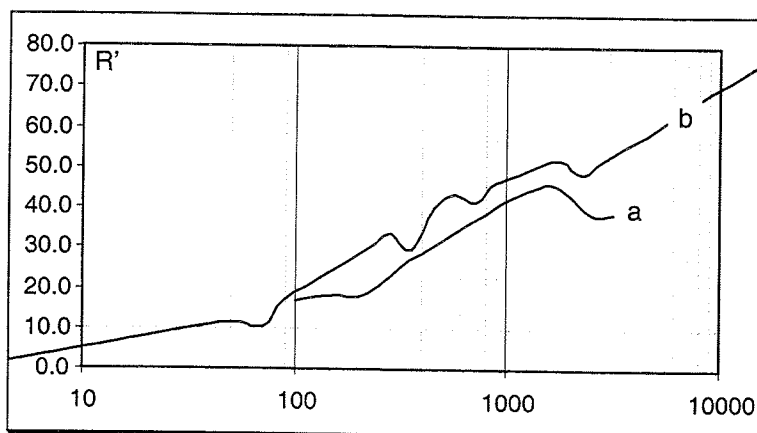


Figure 16

5.5 Comportement acoustique d'une façade double peau avec un écran interrompu

Dès que l'écran est interrompu sur un ou plusieurs cotés, les bruits contournent celui-ci. La protection contre les bruits doit être alors déterminée avec une méthode analogue à celle utilisée pour calculer l'efficacité des parois anti-bruit. Appliquée aux façades double peau, cette méthode n'est qu'une première approximation permettant de situer des ordres de grandeur.

5.5.1 Effet d'écran

La formule de Maekawa permet d'estimer la diminution des bruits L_a par contournement d'un obstacle "appelé effet d'écran", et ainsi de déterminer le niveau d'intensité moyen L_r' auquel est exposée la façade principale et l'amélioration théorique de la protection contre les bruits extérieurs.

$$L_r' = L_r - L_a$$

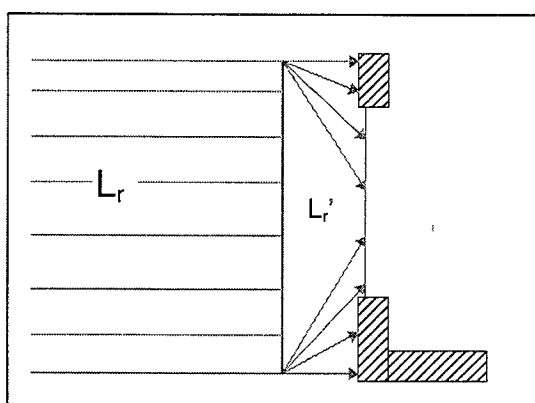


Figure 17

Le tableau 3 donne des ordres de grandeur théoriques de la diminution par effet d'écran L_a à 500 Hz en fonction de la taille de l'écran et de la largeur du canal.

Le tableau 4 donne les valeurs à ajouter ou à retrancher - si possible - pour estimer la diminution par effet d'écran à une autre fréquence.

Ces ordres de grandeurs sont donnés à titre d'exemple et ne doivent être interprétés qu'avec prudence.

d=0.2m	7.5 dB	9.0 dB	10.5 dB	11.5 dB	12.5 dB	13.0 dB
d=0.4m	4.5 dB	6.5 dB	8.0 dB	9.0 dB	10.5 dB	11.0 dB
d=0.6m	3.0 dB	5.0 dB	6.5 dB	7.5 dB	9.0 dB	10.0 dB
d=0.8m	2.0 dB	3.5 dB	5.5 dB	6.5 dB	7.5 dB	8.5 dB
d=1.0m	1.0 dB	3.0 dB	4.5 dB	5.5 dB	7.0 dB	8.0 dB
	2x2 m ²	2.5x2.5 m ²	3x3 m ²	3.5x3.5 m ²	4x4 m ²	4.5x4.5 m ²

Tableau 3 : Ordres de grandeur de L_a à 500 Hz pour diverses surfaces et distances entre peaux

125	250	500	1 kHz	2kHz	4kHz
- 2 dB	- 1dB	- -	+ 2 dB	+ 4 dB	+ 7 dB

Tableau 4

5.5.2 *Exemples de comportement acoustique de façades double peau avec un écran interrompu*

Des mesures sur une façade double peau constituée

- d'une façade principale dont les fenêtres sont fermées avec un double vitrage 6/12/8 mm
- d'un écran de verre de 8 mm, interrompu sur quatre côtés
- d'un canal de 8 cm de largeur

montrent qu'un écran interrompu n'améliore guère la protection contre les bruits extérieurs.

Table des matières

Préface

1. Introduction
2. Typologie
 - 2.1 Typologie en coupe
 - 2.2 Typologie en élévation
3. Principe de fonctionnement
 - 3.1 Double-peau contre façade étanche
 - 3.2 Ventilation des locaux à travers la double-peau
 - 3.2.1 Double-peau assurant la ventilation des locaux
Façade ombragée
Façade uniformément ensoleillée
 - 3.2.2 Un modèle thermodynamique de la façade double-peau
 - 3.3 Bilan thermique
 - 3.3.1 De nuit (absence de rayonnement solaire)
 - 3.3.2 De jour
4. Propriétés et considérations pratiques
 - 4.1 Double-peau contre façade étanche
 - 4.2 Recommandations : Double-peau contre façade étanche
 - 4.3 Double-peau assurant la ventilation des locaux
 - 4.4 Recommandations : Double-peau assurant la ventilation des locaux
 - 4.5 Bibliographie
 - 4.5.1 Compte-rendus de conférences
 - 4.5.2 Revues
 - 4.5.3 Etudes et rapports
 - 4.5.4 Livres
5. Mesures in-situ et en laboratoire
 - 5.1 Exploitation de mesures existantes
 - 5.1.1 Calage du modèle TQV sur les mesures
 - 5.2 Mesures en laboratoire
 - 5.2.1 Résultats : profondeur du canal $d = 0,6$ m
 - 5.2.2 Profondeur du canal $d = 0,15$ m
 - 5.3 Mesures in-situ
 - 5.3.1 Bâtiment des Telecom-PTT
 - 5.3.2 Bâtiment Felimob
 - 5.4 Annexes
 - 5.4.1 Centre industriel et artisanal "Marcinhès" Meyrin (GE)
 - 5.4.2 Modèle de laboratoire
 - 5.4.3 Bâtiment des Telecom-PTT
 - 5.4.4 Bâtiment Felimob
6. Principes physiques
 - 6.1 Mise sur pied d'un modèle simplifié
 - 6.1.1 Modèle élémentaire : effet de cheminée
 - 6.1.2 Echauffement global par des plans parallèles
 - 6.1.3 Echauffement local le long de plans parallèles
 - 6.2 Description du système
 - 6.2.1 Ecran
 - 6.2.2 Caillebotis, éléments de liaison
 - 6.2.3 Canal
 - 6.2.4 Paroi

- 6.3 Principe de fonctionnement du programme TQV
- 6.4 Algorithmes de calcul
 - 6.4.1 Transfert de chaleur écran-paroi
 - 6.4.2 Températures hors rayonnement
 - 6.4.3 Intensités réfléchies, absorbées et transmises
 - 6.4.4 Augmentation de la température de l'air
 - 6.4.5 Intensité thermique transmise à l'air
 - 6.4.6 Echauffement des vitrages, store et contre-cœur
 - 6.4.7 Intensités cédées à l'air
 - 6.4.8 Vitesses de contrôle
- 7. Etablissement des considérations pratiques
 - 7.1 Façade double-peau étanche par rapport aux locaux
 - 7.1.1 Niveau neutre
 - 7.1.2 Débit du canal
 - 7.1.3 Echauffement de l'air
 - 7.1.4 Conclusions pratiques
 - 7.2 Ventilation de locaux par le canal de la double-peau
 - 7.2.1 Façade ombragée
 - 7.2.2 Façade uniformément éclairée
 - 7.2.3 Conclusions pratiques
 - 7.3 Déperditions thermiques hivernales
 - 7.3.1 Rayonnement en direction du ciel
 - 7.3.2 Estimation de l'effet sur les déperditions
 - 7.3.3 Conclusions pratiques
 - 7.3.4 Annexe : calcul des pertes vers l'air extérieur et le ciel
- 8. Etudes paramétriques
 - 8.1 Buts et moyens
 - 8.2 Critères de choix
 - 8.2.1 Vitrage de l'écran
 - 8.2.2 Vitrage de la paroi intérieure
 - 8.2.3 Store
 - 8.2.4 Résultats et conclusions
 - 8.3 Coefficient de transfert de chaleur apparent du canal
 - 8.4 Annexe : définition des données de base
 - 8.4.1 Façade et local type
 - 8.4.2 Cadres de fenêtres et vitrages
 - 8.4.3 Contre-cœur (allège)
 - 8.4.4 Stores
 - 8.4.5 Energie
 - 8.4.6 Canal de la double-peau
 - 8.4.7 Ecran
 - 8.4.8 Coefficients de transfert surfacique de chaleur
 - 8.4.9 Conditions météorologiques
- 9. Conclusions
- 10. Dossiers
 - Typologie et réalisations
 - Bâtiment Telecom-PTT
 - Bâtiment Felimob
 - Lumière naturelle
 - Aspects acoustiques

Remerciements

Ce travail de recherche a été rendu possible grâce au soutien des organismes et personnes suivantes :

- l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN), qui a assuré le financement des ressources humaines du projet,
- l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), qui a mis son infrastructure à disposition,
- M. R. Hastings (OFEN), qui a assuré le rôle de parrain,

ainsi que tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à ce travail,

.... qu'ils soient ici tous sincèrement remerciés.

Tirage : 100 exemplaires
Lausanne, juin 1998