

Ministère de l'Education Nationale,
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche.
Secrétariat général, Service de l'Administration et de la Recherche
116 rue de Grenelle - 75357 Paris Cedex

note méthodologique

Remplacement de la façade vitrée type «cascade» du bâtiment Langevin

1 rue Descartes 75005 Paris



Mandataire
Patrice Mottini,
Architecte DPLG
Urbaniste.

1bis cité Griset
75011 Paris
tel : 01 43 38 04 04
fax : 01 43 38 27 38
contact@mottini.fr

Offre du groupement conjoint : Patrice Mottini,
Arnauld de Bussierre, Louis Choulet

31 mars 2008

SOMMAIRE DE LA METHODOLOGIE

*1. Spécificité de la mission :
conception d'une façade à énergie passive,
démontage et montage en site occupé,
accessibilité réduite du chantier.*

0 - Objet

1.1 Principes des façades à énergie passive

111 - Introduction

112 - Bref rappel historique

113 - Applications

- 1131 - Les doubles châssis ou fenêtres doubles
- 1132 - Les châssis ventilés par l'air intérieur
- 1133 - Les façades doubles ventilées sur l'extérieur, ou façades double peau

114 – Analyse des caractéristiques techniques, fonctionnelles et économiques des façades double peau ventilées par l'extérieur

- 1141 - La paroi de protection contre les intempéries
- 1142 - Relation de la lame d'air avec l'extérieur
- 1143 - Efforts de vent
- 1144 - Accès pompiers
- 1145 - Maintenance et nettoyage
- 1146 - Isolation thermique et protection contre l'humidité en hiver
- 1147 - Protection solaire en été
- 1148 - Isolation acoustique
- 1149 - Aération par les fenêtres
- 11410 - Le problème : ventilation et acoustique
- 11411 - Le point critique : la rentabilité

115 – Conclusion

1.2 Un site occupé et d'accessibilité réduite

2. Prestation et répartition des honoraires

2.1 La mission Diagnostic-esquisse

2.2 Les moyens mis en oeuvre

2.3 Méthodologie

2.4 Délai d'étude proposé

2.5 Honoraires

2.6 Prestation entre les cotraitants

1. Spécificité : façade à énergie passive, site occupé et d'accessibilité réduite.

0 - Objet :

La présente note a été élaborée dans le cadre d'une offre ayant pour objet le remplacement de la façade type « cascade » du bâtiment Langevin situé rue Descartes à Paris dans le 5ème arrondissement .

UNE FAÇADE À ÉNERGIE PASSIVE.

Cette note s'inscrit dans une réflexion plus générale dont la finalité est la préconisation d'une façade de type ventilée répondant à une demande d'économie d'énergie basée sur une conception passive.

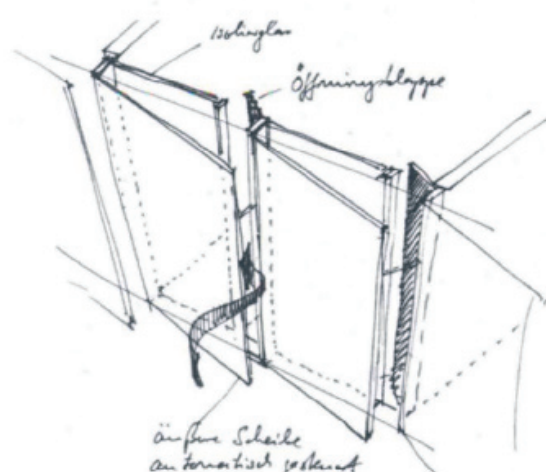
Comme en témoigne les attendus de la programmation, l'intérêt que la Maîtrise d'Ouvrage porte pour ce thème abouti à la nécessité d'un exposé sur les spécificités du travail de conception.

Il sera donc présenté en exposé les principes des façades ventilées qui permettra à la maîtrise d'ouvrage de se faire une idée des capacités de l'équipe à concevoir un tel ouvrage.

D'autre part, la seconde spécificité du projet concerne le site. Le remplacement de la façade Langevin doit, suivant le souhait du maître d'ouvrage être réalisée sans interruption de l'occupation du bâtiment du moins pour les occupants des bureaux installés du côté de la façade du square Langevin, les autres occupant devant être réinstallés dans des locaux provisoires pendant l'intervention.

L'équipe de maîtrise d'oeuvre emmené par Patrice Mottini justifiera de l'organisation et de la méthode de travail, des prestations ainsi que des honoraires au regards des deux spécificités de la conception et du chantier évoqué ci-dessus et présentées ci-après.

Enfin, au cours de cette note, nous présenterons quelques projets illustrant notre propos. Cependant il conviendra de bien se garder de voir en ces documents la moindre intention architecturale au regard du projet que nous serions susceptibles de proposer dans l'éventualité où notre candidature serait retenue. Il s'agit simplement d'exemples illustrant le sujet des façades ventilées.



1.1 Principes des façades à énergie passive

1 1 1 - Introduction :

Aujourd'hui avec la réglementation thermique – la RT 2005 – la conception des immeubles de bureaux, comme d'ailleurs celle de l'habitat, a pour obligation d'être performante sur le plan énergétique. L'un des aspects fondamentaux qui touche bien évidemment à la qualité de ces performances, est celui qui attrait aux façades et plus généralement à l'enveloppe du bâtiment.

D'autre part, il convient d'observer que cette nouvelle génération de bâtiments qui exige la mise en œuvre de parois extérieures qualifiées, de « façades intelligentes », définies par le mode d'exploitation et les équipements du bâtiment, participe également à une politique de respect de l'environnement, et de surcroît confère une image de marque tout à fait positive aux Maîtrises d'Ouvrage institutionnelles.

Ces façades ne sont plus des parois extérieures passives, réduites à leur simple image, mais remplissent des fonctions élémentaires comme la ventilation naturelle, la protection solaire et thermique naturellement contrôlable selon les besoins et les saisons, l'isolation acoustique, le désenfumage, etc...

Issues d'une véritable réflexion scientifique sur la notion de confort naturel et sa mise au point sur la base de nouvelles technologies constructives, une nouvelle génération de façades a été développée, avec les façades ventilées double peau. Il s'agit dans le principe d'une façade vitrée avec une glace extérieure en simple vitrage, d'une lame d'air à l'intérieur de laquelle l'air extérieur peut librement circuler, et côté intérieur, d'un double vitrage. Cet ensemble est capable de répondre aux exigences thermiques et acoustiques les plus contraignantes, tout en garantissant une très grande souplesse et modularité d'usage et de confort, non seulement en toutes saisons, mais aussi à différents moments de la journée. Et lorsque que nous parlons de confort, nous y incluons le confort visuel, lié à la qualité de la lumière naturelle pénétrant dans le bâtiment. Ce sont ces différents points que nous allons développer dans le texte qui suit.

1 1 2 - Bref rappel historique :

Jusqu'aux années 1920, presque tous les bâtiments étaient marqués par leur structure en maçonnerie. Les mêmes charges devaient être reprises par les murs extérieurs et par les refends intérieurs. Les façades avec leurs fenêtres étaient déterminées ainsi, de façon primaire, en fonction des exigences statiques.

Ceci s'est modifié avec le système constructif en squelette. Dans ce cas, la façade, presque désaccouplée de la statique du bâtiment, ne reprend que son poids propre et les efforts du vent. Ainsi sont apparues des possibilités nouvelles, presque illimitées, de configuration des façades, parmi lesquelles on peut relever quatre stades d'évolution au cours des années : bâtiments hauts (jusqu'en 1970), bâtiments à faibles besoins énergétiques (jusqu'en 1980), bâtiments optimisés techniquement - bâtiment intelligents (jusqu'en 1990), ainsi que les bâtiments « bioclimatiques » ou « bâtiments propres » orientés vers l'écologie (depuis 1990).

Depuis le début du siècle jusqu'aux années 1970, la conquête de la hauteur était l'exigence première des maîtres d'ouvrage, architectes et ingénieurs. Grâce à de nouvelles technologies comme les ascenseurs mécaniques, les installations de climatisations et les techniques de façades spécifiques (murs-rideaux en grille et en éléments), des tours de plus de 400 m de hauteur ont pu être réalisées.

Sous l'effet de la crise de l'énergie, au milieu des années 1970, on s'est concentré, principalement en Europe, sur les bâtiments efficaces sur le plan énergétique. Le but recherché était la réalisation de bâtiments à faibles besoins énergétiques. Les murs-rideaux en grille ou en éléments furent alors réalisés avec des ruptures de ponts thermiques, en intercalant entre les faces extérieures et intérieures des profilés cadres, une zone thermiquement isolée. Les panneaux-sandwiches ont été conçus avec des couches isolantes performantes, les systèmes de protection solaire ont été optimisés, tandis que les vitrages recevaient des couches de réflexion infrarouge et des lames d'air remplies de gaz. Pour les bâtiments de grande hauteur furent développées des façades doubles, avec des stores incorporés, parcourues par un flux d'air, correspondant à l'air vicié de climatisation des bureaux, repris puis envoyé vers la centrale de traitement d'air entre les deux peaux.

L'avantage décisif de cette construction par rapport à une façade simple conventionnelle est une protection solaire accrue, ainsi qu'une température superficielle du vitrage intérieur comparable en été comme en hiver. Ainsi, on avait réalisé des murs extérieurs thermiquement très bien isolés et étanches, qui n'étaient plus des « ponts thermiques » mais permettaient une utilisation passive de l'énergie solaire avec une déperdition thermique moindre.

Pour obtenir des bâtiments encore plus efficaces, on a alors essayé, avec l'aide de la microélectronique, de piloter tous les dispositifs à partir de l'intérieur et sur l'ensemble du bâtiment. Le « bâtiment intelligent » était proclamé, un ouvrage optimisé techniquement avec des systèmes plus ou moins sophistiqués de régulation et de mesure, susceptibles de réagir à toute éventualité, de façon efficace sur le plan énergétique et épaulé par de nouveaux produits et composants du bâtiment.



Malheureusement, les besoins individuels et les souhaits de chacun ne pouvaient être suffisamment pris en considération, le bâtiment fonctionnant dans une globalisation des besoins qui bien souvent allait à l'encontre des usages spécifiques à l'intérieur même du bâtiments. Si bien qu'un refus et une résistance contre la tutelle technique se développa chez les utilisateurs.

Ajoutons à cela, que dans un certain nombre de pays anglo-saxons et germaniques, différentes études médicales menées dans le monde du travail ont révélé l'apparition de nouveaux symptômes et maladies comme le « Sick Building Syndrom (SBS) » et le « Building Related Illness (BRI) » qui sont des maladies affectant très sérieusement les poumons et les voies respiratoires. A tel point par exemple, qu'en Allemagne depuis 1988, il s'agit d'une maladie professionnelle faisant l'objet d'une lourde indemnisation.

C'est pourquoi les architectes concepteurs et maîtres d'ouvrages se sont donnés comme but depuis les années 1990, de ne pas construire seulement des bâtiments économiques et efficaces sur le plan énergétique, mais également de prendre en compte comme il se doit, dès le stade de la conception, le confort et la santé des utilisateurs.

Ces exigences généralement multifonctionnelles ne peuvent être satisfaites au niveau des parois extérieures qu'avec l'aide d'un système de façades spécifiques. C'est pourquoi l'attention s'est portée principalement des façades doubles peau ventilées, qui sont le sujet principal de ce propos, puisque ce sont des façades de ce type que nous souhaitons proposer à la Maîtrise d'Ouvrage. La caractéristique de cette construction est une façade intérieure assurant le clos du bâtiment, devant laquelle est placée une paroi vitrée fortement ventilée. En tant qu'enveloppe dynamique, elle joue le rôle, en fonction des conditions climatiques, d'un imperméable, d'un duvet ou d'une ombrelle.

113 - Applications :

On peut distinguer trois typologies de parois extérieures doubles :

- les doubles châssis, ou double fenêtre,
- les châssis ventilés par l'air intérieur,
- les façades double-peau ou façades ventilées par l'extérieur.

Naturellement, le principe fonctionnel d'une fenêtre double ou d'une fenêtre ventilée se laisse transposer sur des éléments de hauteur d'étage comparables. Aussi dans la suite, quand on utilise le concept de « fenêtre double » ou « fenêtre ventilée par l'intérieur », on pense naturellement en même temps « façade double » ou « façade ventilée par l'intérieur ».

1131 - Les doubles châssis ou fenêtres doubles :

Constituées d'un cadre avec deux ouvrants, des orifices d'équilibrage des pressions de vapeur d'eau, disposés sur l'ouvrant extérieur, assurent la liberté des condensats de la lame d'air. L'échange d'air avec l'extérieur est ainsi bien plus faible qu'avec une façade froide ventilée sur l'extérieur, ce qui conduit à placer de préférence les protections solaires à l'extérieur.

Patrice



1132 - Les châssis ventilés par l'air intérieur :

Conçus plus particulièrement pour des bâtiments élevés, les stores ne sont pas placés à l'extérieur, mais dans le corridor de façade ventilé, qui se trouve entre le vitrage extérieur et l'ouvrant de nettoyage intérieur. Le plan de coupure thermique et d'étanchéité se trouve au niveau du vitrage extérieur. Contrairement à la fenêtre double, conçue généralement avec deux ouvrants, une fenêtre ventilée comporte en principe un vitrage fixe extérieur. Le vantail interne sert exclusivement au nettoyage et à la maintenance.

1133 - Les façades doubles ventilées sur l'extérieur, ou façades double peau :

Elles allient les avantages des doubles châssis et des châssis ventilés par l'intérieur. Elles peuvent être conçues avec des ouvrants et des protections solaires protégées du vent, intégrées à la façade. Leur conception nécessite une ventilation efficace sur l'extérieur du vide d'air intermédiaire. La peau intérieure assure le clos du bâtiment avec les fonctions de coupure thermique et d'étanchéité, tandis que le vitrage extérieur assure le rôle d'une paroi de protection contre les intempéries, perméable à l'air, telle une paroi froide.

Malgré leur conception complexe, tous les types de façades doubles peuvent être réalisés en éléments. Cette option nécessite certes un besoin en fournitures et en heures de travail en atelier légèrement plus importants par rapport à un mur rideau conventionnel, ainsi que des poseurs qualifiés. Elle permet par ailleurs des temps d'intervention sur le chantier plus courts, des possibilités de dilatation plus satisfaisantes et la livraison sur le chantier d'éléments de grandes dimensions. Le recours à une préfabrication importante en usine diminue le risque des travaux de reprise sur le chantier, augmente la qualité de la façade, et allonge ainsi sensiblement sa durée de vie. Dans le cas des façades doubles réalisées en éléments, une attention toute particulière est à apporter aux joints de dilatation et aux attaches de façade, pour éviter que les dilatations de la construction dues aux températures, n'entraînent des crépitements, voir même des désordres.

114 - Analyse des caractéristiques techniques, fonctionnelles et économiques des façades double peau ventilées par l'extérieur :

1141 - La paroi de protection contre les intempéries :

Lorsque les façades double-peau sont ventilées en permanence, la peau extérieure doit protéger, en premier lieu, la façade assurant le clos, des influences climatiques non souhaitées. Dans la plupart des cas, un simple vitrage est suffisant. Tous les procédés courants de fixation de vitrage sont appropriés. La prise en feuillure des vitrages est, du point de vue financier et fonctionnel, la meilleure solution. La mise en oeuvre d'un vitrage agrafé sur la peau extérieure est plus coûteuse, dans la mesure où elle nécessite généralement la mise en oeuvre de vitrage trempé.

1142 - Relation de la lame d'air avec l'extérieur :

La ventilation de la lame d'air est déterminée par le dimensionnement et le positionnement des orifices d'aération ; c'est pourquoi ceux-ci sont très importants dans la conception et la construction de la façade. Il est important de déterminer si les orifices peuvent rester ouverts en permanence, ce qui représente de loin la solution la moins onéreuse,

ou bien si la mise en œuvre de ventilations munies de clapets est nécessaire. Ces dernières peuvent devenir nécessaires, lorsque des exigences d'isolement acoustique par rapport aux bruits extérieurs sont formulées, ou quand certaines températures doivent être maintenues dans la lame d'air. Le nombre, les dimensions et le détail des orifices de ventilation sont à déterminer en fonction du concept d'aération prévu, des efforts de vent spécifiques au bâtiment, de la conception intérieure, ainsi que de la position du bâtiment.

Ainsi, des orifices d'aération de grandes dimensions avec une perte de charge réduite sont particulièrement appropriés pour des locaux équipés d'ouvrants réglables. La peau extérieure peut être également conçue avec des orifices de grandes dimensions, lorsque les fenêtres sont motorisées et donc réglables avec précision. Par contre des petits orifices de ventilation, dont la résistance à la convection doit être adaptée en fonction des conditions de pressions, doivent être prévus plus particulièrement pour les bâtiments de grande hauteur avec une architecture intérieure ouverte, notamment lorsque la convection traversante de l'air doit être limitée.

En plus de leur nombre, de leurs dimensions et de leur forme, le détail des orifices de ventilation est lié à la définition des besoins. Il doit également permettre le drainage et la protection contre les oiseaux et les insectes, et empêcher toute pénétration des eaux de pluie.

Le point le plus controversé reste le nombre de niveaux, qu'il est possible de ventiler sans recoupement. Ce nombre de niveaux est aussi sujet à des réglementations diverses selon les pays. Cependant, dans l'ensemble, des recherches théoriques et expérimentales ont démontré qu'une façade double peau ventilée, avec des ouvrants, doit être ventilée niveau par niveau pour des considérations réglementaires, physiques et hygiéniques. Chaque élément de façade de hauteur d'étage peut être conçu comme une entité d'aération fermée, pour laquelle il convient d'éviter les court-circuits de flux d'air (l'air sortant n'étant pas « dilué » dans l'air ambiant, mais est absorbé dans l'orifice supérieur), soit en éloignant suffisamment les aérations, soit en les plaçant en quinconce. Dans le cas où aucun ouvrant d'aération n'est prévu, il est possible de ventiler la lame d'air intermédiaire sur plusieurs niveaux, sans influence néfaste sur l'air intérieur.

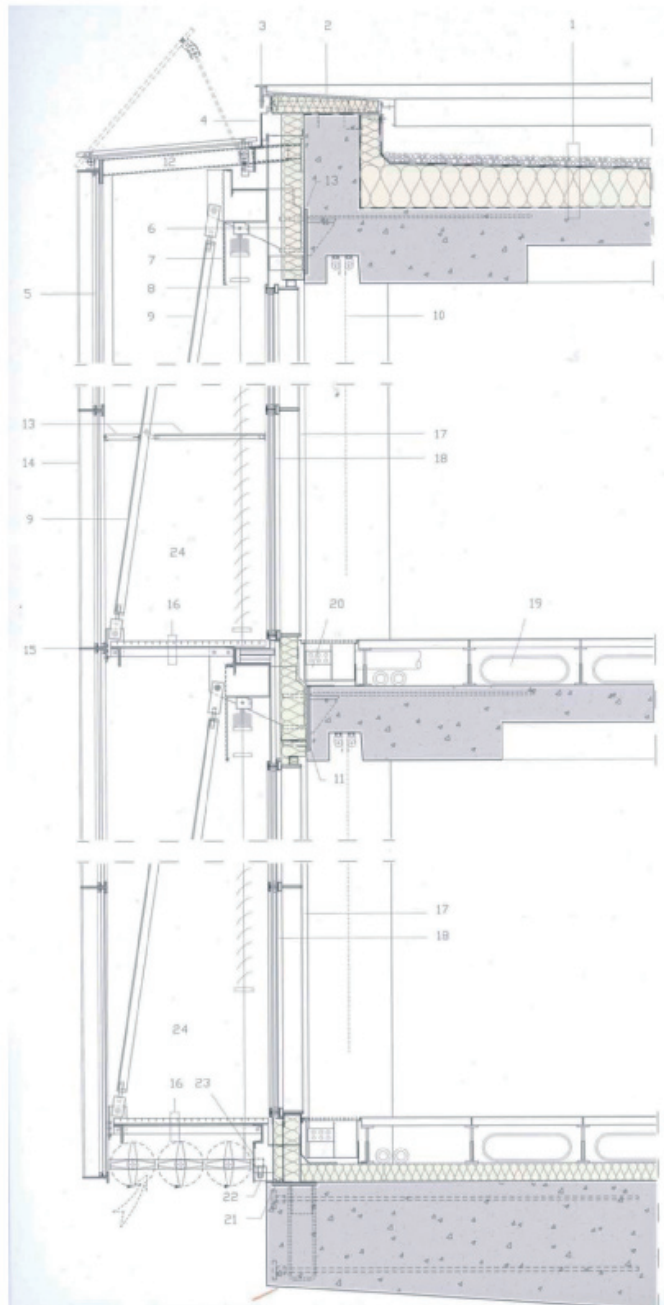
1143 - Efforts de vent :

La membrane extérieure, tout comme un mur rideau type grille ou une façade par éléments, est dimensionnée en fonction des efforts de vent et du poids propre. C'est également le cas pour la membrane intérieure d'une façade double peau ventilée en permanence.

Si la peau extérieure possède des orifices d'aération suffisamment importants pour permettre un équilibrage de pression entre l'environnement et l'espace intermédiaire, celle-ci peut être dimensionnée avec des efforts de vent réduits. En fonction du degré de ventilation et de la géométrie, le coefficient réducteur sur la pression peut atteindre 40 %. Comme l'épaisseur de vitrage nécessaire est moins importante pour des pressions moindres, la construction devient à la fois plus légère, plus filigrane et finalement moins onéreuse.

1144 - Accès pompiers :

L'accès des pompiers se fera par un double ouvrant à la française, commandé de l'extérieur par une seule manœuvre.



1145 - Maintenance et nettoyage :

A première vue, c'est le point faible de ce type de conception, car la simple logique consiste à dire que le système ayant une glace supplémentaire engendre automatiquement un surcoût équivalent en entretien. Cependant, il ne faut pas seulement juger l'entretien par le simple temps de nettoyage. En effet, il a été démontré qu'une façade de ce type était beaucoup plus pérenne qu'une façade conventionnelle, du fait que l'ensemble de ses composants sensibles (stores, joints, etc...) se trouvant naturellement protégé, avait une durée de vie nettement supérieure que dans le cadre d'une mise en œuvre traditionnelle.

D'autre part, des façades économiques dans le temps ne se caractérisent pas uniquement par un rapport coût prestation initial. Elles économisent également les frais de nettoyage et de maintenance, si les dispositions satisfaisantes sont prises au stade de la concep-

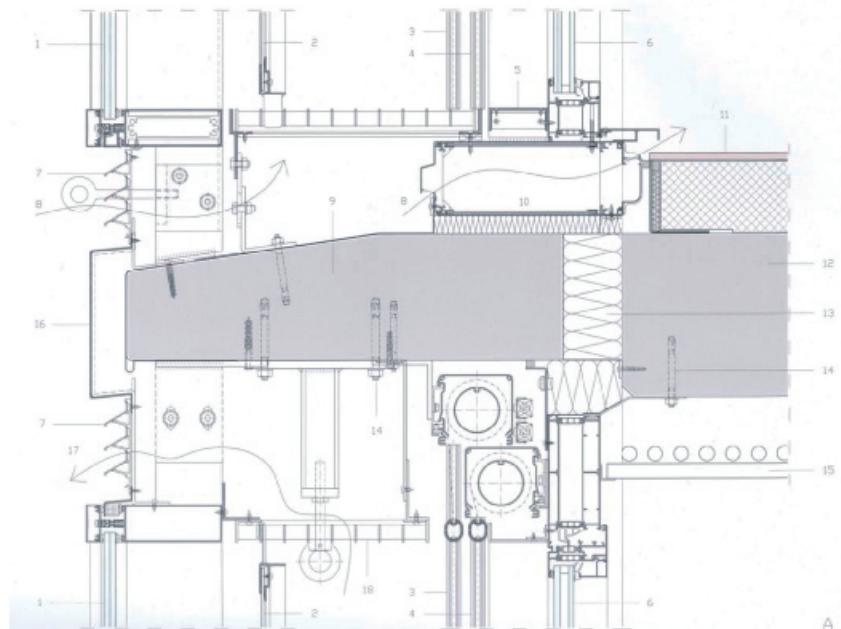
tion. Ainsi, les frais de nettoyage peuvent être réduits par des formes simples (si possible des surfaces importantes et planes), par un système de drainage efficace (absence de traînées), par des surfaces résistantes (absence de décoloration et de rugosité), et par un choix approprié de matériaux (contractuel). Les travaux de maintenance inutiles peuvent être évités, quand toutes les parties fixes et mobiles sont suffisamment dimensionnées, et quand on renonce aux mécanisations qui peuvent être évitées.

Dans la mesure du possible, il convient d'intégrer les parties mobiles ou pouvant être hors service dans la construction, de telle sorte qu'elles soient protégées des influences extérieures. Ceci est appliqué dans les façades doubles peaux ventilées sur l'extérieur, dans lesquelles les systèmes de protection solaire sont placés à l'intérieur. Ainsi, ils sont protégés du vent, de la pluie et de la neige, et ont, par rapport aux protections solaires extérieures même simples, une durée de vie sensiblement plus importante et une tendance moindre aux salissures.

A côté des mesures préventives, on doit aussi prendre des mesures pour minimiser au maximum les travaux de maintenance et de nettoyage nécessaires. Ainsi, les pièces mobiles nécessitant une maintenance doivent être facilement accessibles, et des moyens appropriés doivent être utilisés pour le nettoyage. Ceci est réalisable pour tous les types de façade double peau, dans la mesure où la façade intérieure est munie d'ouvrants à la française utilisables pour le nettoyage de la face interne de la glace extérieure. Pour une façade double, le nettoyage peut être réalisé par la lame d'air accessible à partir d'une profondeur de 60 cm.

1146 - Isolation thermique et protection contre l'humidité en hiver :

L'isolation thermique peut devenir un critère écologique et économique au stade de la conception, quand les quantités de chaleur transmises par la façade sont importantes, par rapport à la puissance de chauffe intérieure et aux pertes de chaleur par ventilation.



Les immeubles de logement et les hôtels sont des exemples représentatifs de ce type de bâtiments. Par une très bonne isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment, l'installation de chauffage peut être réduite, et les frais d'investissement diminués.

Parallèlement, la bonne isolation thermique conduit à une augmentation de la température de surface dans la pièce, ce qui augmente sensiblement le confort thermique. Les recherches théoriques et expérimentales ont montré qu'une façade double peau ventilée sur l'extérieur a un coefficient de transmission thermique K nettement inférieur à celui d'une façade simple, la valeur du coefficient K étant liée à la forme et à la dimension des orifices de ventilation.

L'isolation thermique des parois extérieures en hiver est étroitement liée à la protection contre l'humidité des composants du bâtiment. Chacun sait que des condensations ou du givre peuvent se former sur la face extérieure de toute paroi bien isolée thermiquement, dans des conditions climatiques défavorables, en période hivernale. On doit naturellement compter aussi avec ce phénomène pour les façades doubles, car celles-ci offrent une isolation thermique renforcée en hiver, par rapport à des constructions comparables à simple peau. Le risque de formation de vapeur d'eau sur la paroi extérieure d'une façade double a été estimé avec une probabilité de 1:122, dans le cadre de mesures expérimentales et de recherches théoriques pour une façade test ; cela signifie que la formation de vapeur d'eau sur la façade se produit en moyenne 3 jours par an.

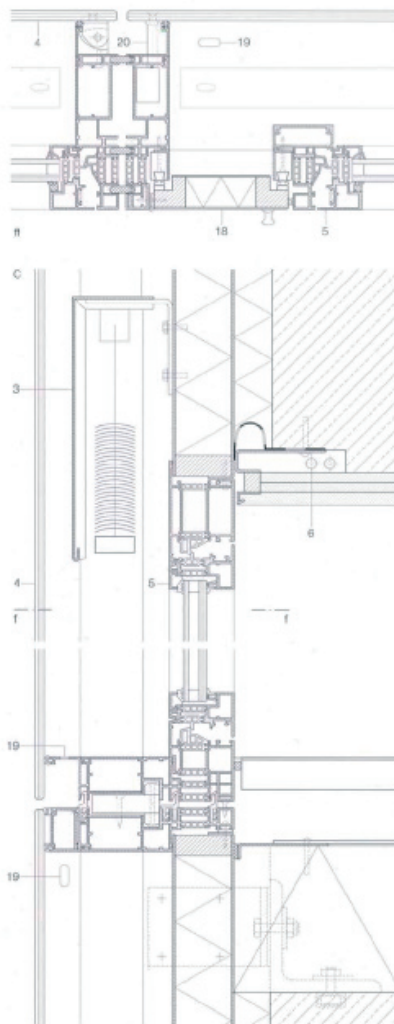
En comparaison, le risque de formation de vapeur d'eau sur des panneaux isolés traditionnels est au moins trois fois plus important. Naturellement, ces chiffres ne sont à considérer que comme des ordres de grandeur, et sont à déterminer pour chaque projet, dès le stade de la conception, en fonction des composants choisis et de la zone climatique correspondante. En dehors des influences du temps orageux, il faut compter aussi le risque de formation de givre sur la paroi extérieure, lors de l'ouverture accidentelle d'un ouvrant. Cet effet est comparable à celui du givre sur une fenêtre ouverte vers l'intérieur par temps froid. Le degré de condensation dépend des conditions climatiques et de la durée d'ouverture de la fenêtre. Il convient ensuite d'analyser la durée nécessaire à la disparition des condensats, une fois la fenêtre refermée. Les recherches ont montré que les condensats sur la paroi extérieure vitrée disparaissent quelques minutes après la fermeture de la fenêtre, les jours ensoleillés, et après 10 à 20 minutes par temps couvert.

1 147 - Protection solaire en été :

Pour empêcher que la charge de froid soit trop élevée dans les bâtiments climatisés, ou bien pour limiter la température des locaux dans les bâtiments non conditionnés, les zones transparentes et ensoleillées des parois extérieures doivent être équipées d'une protection solaire « prévue pour l'habitabilité » suivant la norme DIN 5034. Ceci s'applique en particulier pour les façades vitrées de hauteur d'étage.

Les bâtiments de faible hauteur (jusqu'à 22m) avec des systèmes de façades conventionnels sont équipés de préférence avec des protections solaires extérieurs. On réalise ainsi une protection solaire efficace qui est cependant soumise directement aux intempéries et donc très vite dégradée, et qui, de plus, est d'un usage limité lorsque les stores doivent être manœuvrés par vent fort.

L'expérimentation a montré que la durée de mise hors service (des stores extérieurs) en raison du vent, était d'environ 8 %. Aucun store extérieur ne peut être mis en oeuvre sur les bâtiments de grande hauteur à cause des efforts de vent appliqués. Ainsi, pour les façades simples conventionnelles, la seule solution est d'installer les stores côté intérieur, mais avec toutes les conséquences négatives concernant la consommation d'énergie, l'augmentation de température dans les pièces et un moindre confort thermique.



Les façades doubles ventilées et les façades double peau, avec des stores intégrés, sont une solution à ce problème.

Tandis que dans les années 1970-80, on a construit des systèmes ventilés, dont la lame d'air est parcourue par un flux d'air correspondant à l'air vicié de climatisation des bureaux, repris puis renvoyé vers la centrale de traitement d'air, les tentatives actuelles consistent à prévoir une lame d'air avec des orifices sur l'extérieur, et à la ventiler comme une paroi froide. La membrane extérieure agit comme une protection contre les intempéries, comme nous l'avons déjà évoqué, tant pour la membrane vitrée intérieure que pour les stores mis en oeuvre dans la lame d'air, qui sont ainsi protégés des efforts du vent et utilisables toute l'année. Le positionnement dans la lame d'air ventilée, si possible près de la paroi extérieure, apporte une protection solaire dont l'efficacité est comparable à un positionnement extérieur.

Dans le cas de stores vénitiens clairs et réfléchissant, orientés à 45°, on atteint un coefficient de transmission énergétique de 15 % environ, même avec un vitrage isolant intérieur et un simple vitrage extérieur. Avec des lames complètement fermées, on peut atteindre des valeurs de 10 % et moins, avec toutefois l'inconvénient d'un éclairage complémentaire éventuellement nécessaire.

1148 - Isolation acoustique :

Par rapport aux façades simples, les systèmes constructifs à double peau, offrent en règle générale, une meilleure isolation acoustique aux bruits extérieurs. Ceci est également valable pour les façades double peau ventilées sur l'extérieur, qui atteignent un affaiblissement acoustique de 25 dB et plus, même dans le cas où les fenêtres de la peau intérieure sont ouvertes.

Lorsque les ventilations sont ouvertes en permanence sur l'extérieur, l'affaiblissement acoustique est évidemment directement lié au rapport entre les surfaces des ventilations et les surfaces des façades. Le degré d'ouverture des fenêtres, ainsi que la forme et le choix des matériaux, influencent de façon connue l'affaiblissement acoustique. Les effets de résonance, apparaissant dans une moindre mesure dans le cas des vitrages multiples, ne sont pas critiques pour les montages de vitrages courants, des façades double peau ventilées en permanence ou bien fermées, lorsque la largeur de la lame d'air dépasse 10 cm.

A côté de l'isolation acoustique par rapport aux bruits de l'extérieur, se pose le problème de la transmission sonore de niveau à niveau, dans le cas des façades doubles ventilées sur plusieurs niveaux. Sans recoupement vertical, les bruits (de conversation par exemple) communiquent par les fenêtres ouvertes de deux pièces superposées, par effet de cheminée (effet de téléphonie). Ceci est également valable horizontalement pour les pièces contiguës. Il ressort clairement de ces considérations, qu'il convient de ventiler niveau par niveau les façades double peau lorsqu'elles sont munies de châssis ouvrants, et de prévoir des recouvrements horizontaux dans la lame d'air, positionnés au droit des cloisons intérieures.

1149 - Aération par les fenêtres :

A la lumière des conséquences du « Sick Building Syndrom (SBS) », la ventilation purement mécanique des pièces est considérée de façon toujours plus critique, et la ventilation naturelle par les fenêtres a une renommée toujours plus grande. Ceci reflète le résultat d'un sondage d'INFRATEST, selon lequel 38 % des employés travaillant dans des bureaux climatisés déclarent être insatisfaits de ne pas pouvoir aérer par les fenêtres. Tandis que l'on peut mettre en oeuvre sans problème des châssis ouvrants, pour l'aération et le refroidissement individuels ou groupés, dans le cas des bâtiments bas et peu exposés, ceci n'est possible dans le cas des immeubles de grande hauteur ou exposés (niveau sonore ambiant, effets du vent, etc...) qu'avec des dispositifs complémentaires appropriés.

Comme nous l'avons déjà évoqué, les façades double peau ventilées sur l'extérieur possèdent un plan de façade extérieur qui agit comme une enveloppe de protection contre les intempéries, et qui protège efficacement le plan de façade intérieur et ses fenêtres des effets du vent. Quand la façade et le concept des équipements techniques sont planifiés l'un avec l'autre, on obtient une relation bien équilibrée entre la ventilation de la façade, l'aération des pièces et la ventilation traversante du bâtiment. Le dimensionnement et la forme des orifices de ventilation, dans le plan de façade extérieur et dans les fenêtres, prennent ici un rôle clé. Les valeurs attendues du renouvellement horaire de l'air dans le local, avec une ventilation par les ouvrants d'une façade double peau ventilée sur une hauteur d'étage, et avec des orifices de ventilation dont la convection mécanique est optimisée, se situent entre 1 et 1,5 [1/h] [8,10].

Il y a naturellement des conditions climatiques pour lesquelles l'aération des locaux par les fenêtres ouvertes est limitée. Chacun sait que les fenêtres doivent être fermées en cas de tempête, sinon des phénomènes de dépression se manifestent dans le bâtiment, les portes ouvertes claquent ou les portes fermées sont simplement difficiles à ouvrir. Cependant, les vitesses limites de vent pour lesquelles ces effets se produisent sont nettement plus élevées pour les façades double-peau que pour les systèmes constructifs à simple peau, en raison de l'enveloppe de protection contre les intempéries, située en avant (de la façade).

Alors que pour les fenêtres courantes, des phénomènes de dépression se manifestent déjà pour des vitesses de vent d'environ 4 m/s, des situations similaires n'interviennent pour les façades double-peau ventilées sur l'extérieur qu'à partir de 8m/s environ. Ces valeurs limites dépendent naturellement du rapport entre les surfaces des orifices de ventilation et de la façade, de la forme des orifices de ventilation, de la grandeur et du type d'ouvrants, ainsi que de la géométrie du bâtiment. Les moyens techniques pour empêcher les conséquences non désirables des phénomènes de dépression sont des fenêtres à fermeture automatique, ainsi que des systèmes d'alarme optiques ou acoustiques, qui indiquent à l'utilisateur quand il doit fermer ses fenêtres et quand l'ouverture est souhaitable.

Bien que de tels équipement ont indéniablement leur qualité, on ne doit pas oublier que l'utilisateur sera très probablement en mesure de les contourner, en ouvrant la fenêtre de façon réfléchie. Quand l'aération par les fenêtres est offerte comme un moyen individuel pour couvrir les besoins spontanés en air frais, cette conquête pour le bonheur de l'utilisateur ne doit pas être à nouveau anéantie par une tutelle technique.

Un renouvellement d'air trop important n'est pas seul à porter préjudice à l'efficacité de l'aération par les fenêtres. Un renouvellement d'air trop faible est néfaste également, car dans ce cas, l'amenée d'air frais nécessaire au maintien d'un air intérieur hygiénique n'est pas garantie. Ceci peut se produire en cas d'absence de vent, ou bien lorsque la température intérieure et celle de l'environnement sont sensiblement égales. La période pendant laquelle l'aération par les fenêtres est conditionnelle, à cause d'un renouvellement d'air trop faible ou trop important, a été obtenue par une méthode statistique, pour un projet concret d'une hauteur de 70 m. Pour la façade double-peau considérée, l'aération par les fenêtres était possible pendant 80% de la durée d'utilisation. Pour une façade simple comparable, le pourcentage correspondant était de 63 %. De telles valeurs caractéristiques spécifiques à un projet sont un outil éprouvé pour l'optimisation des systèmes constructifs de façades et des équipements des bâtiments. Elles sont même une graduation pour l'analyse de la rentabilité des différents concepts de façades et d'équipements, reliées avec les valeur pronostiquées de consommation énergétique.

Enfin, des façades double-peau permettent une aération nocturne efficace pendant les mois d'été. Quand les fenêtres restent ouvertes la nuit, l'enveloppe de protection contre les intempéries protège les locaux des actions climatiques non souhaitées, et protège en particulier les niveaux bas des effractions.

11410 - Le problème : ventilation et acoustique :

Comme nous l'avons déjà mentionné, il y a une série de solutions pour empêcher efficacement la transmission sonore d'une pièce à une autre, ou d'un étage à l'autre, pour les façades double-peau ventilées sur l'extérieur. Elles présentent aussi une isolation aux bruits extérieurs renforcée par rapport aux façades simples, même pour des orifices de ventilation ouverts. Elles sont aussi remarquablement bien adaptées, lorsque l'on doit réaliser une aération par les fenêtres d'un bâtiment exposé à un niveau sonore élevé.

La condition pour cela est avant tout un dimensionnement adapté de ventilation de la peau extérieure. Parce que des ouvertures trop grandes affaiblissent l'isolement acoustique, et que des ouvertures trop petites diminuent l'efficacité de la ventilation, **les orifices de ventilation doivent garantir aussi bien une protection acoustique qu'une aération appropriée des locaux.**

Pour obtenir la dimension convenable et la géométrie des orifices de ventilation, on établit l'indice d'affaiblissement acoustique et le taux de renouvellement d'air moyen dans les locaux, en fonction du coefficient de perméabilité sans dimension, qui décrit la perméabilité à l'air de la façade et de la fenêtre. L'utilisation pratique de ce procédé peut être illustrée par l'exemple simplifié suivant :

On prend pour hypothèse un renouvellement d'air moyen dans le local $n = 1 \text{ l/h}$. Si maintenant un isolement acoustique par rapport aux bruits extérieurs de 23 dB est exigé, la façade doit être dimensionnée pour que le coefficient de perméabilité ne dépasse pas 0,7.

Ceci pourrait être réalisé par exemple avec des châssis à soufflet et des orifices de ventilation à faible débit ($cv = 0,4$), représentant 2% de la surface de la façade ventilée à chaque niveau.

Si on préférerait des châssis à ouverture plus importante, il faudrait réduire de façon appropriée la section libre des orifices de ventilation, ou bien augmenter en conséquence leur résistance hydraulique, pour que la perméabilité globale de la façade reste constante, égale à 0,7.

11411 - Le point critique : la rentabilité :

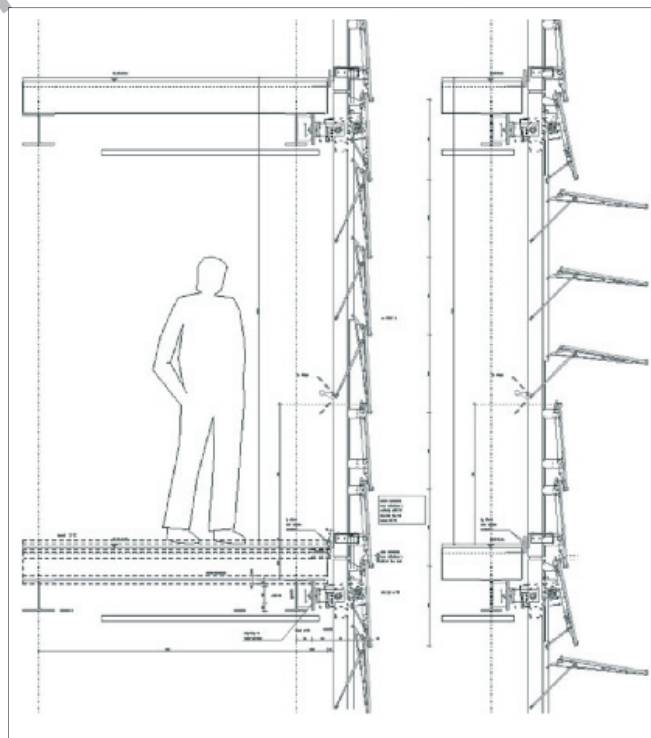
Il est clair que les façades doubles sont plus chères à l'achat que les façades simples. Mais **l'investissement financier pour l'enveloppe extérieure de protection apporte des économies dans de multiples domaines rentables, dues à l'augmentation de productivité liée au confort accru.**



Dans le domaine du chauffage, de la climatisation et de la ventilation, les économies sur les frais de fonctionnement, grâce à une consommation énergétique plus faible, peuvent aller jusqu'à 40%. En raison des coûts d'énergie encore faibles jusqu'à maintenant (2008), l'économie, pour une installation de climatisation est de seulement 58 environ, par poste de travail (12m²) et par année. Il en est autrement pour les frais d'installation pour la ventilation et le froid. Par une utilisation efficace du refroidissement nocturne en été, de protections solaires efficaces, ainsi que par l'aération et le refroidissement par les fenêtres, ceux-ci peuvent être réduits jusqu'à 20 %. Pour une installation de climatisation, l'économie sur l'installation est d'environ 600 par poste de travail (12m²).

Un autre aspect important de l'appréciation de la rentabilité des façades double-peau est son influence positive sur la productivité. Cela vaut en priorité pour les bâtiments à usage de bureaux, pour lesquels la motivation des collaborateurs nécessite un confort et une satisfaction accrue, pour que la productivité augmente. Un exemple doit illustrer ce propos : si un employé considère l'air dans son bureau complètement climatisé comme suffocant, il assouvit son besoin en air frais en ouvrant sa fenêtre. Si maintenant le bâtiment ne possède aucun ouvrant, il est insatisfait de son poste de travail ; ceci est mis en évidence par de très nombreux sondages actuels. Sa motivation baisse sensiblement. Ces notions d'inconfort engendrant non seulement un sentiment de mal-être, mais aussi comme nous l'avons noté au début de ce rapport, des symptômes du SBS, peuvent conduire à une productivité décroissante et un taux d'absentéisme plus élevé.

A côté des préjudices liés à l'inconfort et ressentis de façon subjective, des analyses scientifiques ont clairement montré que les personnes, qui ne se sentent pas confortablement installées dans leur lieu de travail, sont bien plus fréquemment malades et pas aussi productives que celles qui s'y sentent bien et satisfaites. La productivité individuelle peut, selon ces études, être augmentée de 16%, lorsque les salariés travaillent dans un environnement ressenti comme confortable, et peuvent influencer individuellement le climat thermique de leur poste de travail. Une recherche basée sur ces données a démontré que les plus-values liées à la motivation, dans le domaine de la façade, étaient déjà amorties au bout de 2 ans.



115 – Conclusion :

Les recherches globales et l'expérience pratique montrent que les façades double-peau ventilées possèdent non seulement des propriétés physiques meilleures par rapport aux façades conventionnelles, mais permettent également de réaliser des bâtiments efficaces sur le plan de la consommation énergétique, qui respectent les nouvelles sensibilités de protection de l'environnement, aujourd'hui image de marque des institutions de demain.

Elles satisfont aux exigences d'usage de chacun des occupants du bâtiment en permettant une régulation individuelle de la température ambiante. La paroi extérieure de protection des façades double peau ventilées permet, de façon nouvelle, d'aérer par les fenêtres, pour couvrir les besoins spontanés en air frais, et pour participer à l'aération et au refroidissement.

