



LE TRAITEMENT CLIMATIQUE DANS UN MUSEE DE FRANCE



1998

La grande difficulté réside dans le choix des moyens à mettre en oeuvre pour traiter le climat d'un musée, en vue d'assurer les conditions optimales de conservation des collections.

Objectifs

L'analyse climatique d'un édifice ayant la fonction de musée est la phase initiale la plus importante, qui permettra ensuite aux concepteurs d'orienter leurs choix. Les objectifs principaux sont :

- l'obtention de conditions climatiques de conservation (température, humidité relative, qualité de l'air) satisfaisantes ;
- le respect du confort des visiteurs et du personnel ;
- le respect de l'architecture, lorsqu'il s'agit d'un monument historique ou d'un édifice classé ;
- la prise en compte des critères économiques pour l'investissement et surtout la connaissance des moyens à mettre en oeuvre (financiers et humains) pour assurer l'exploitation des futures installations (maintenance, énergie).

Intervenants

Au niveau de la conception, on peut distinguer quatre types d'intervenants qui, s'ils ont globalement les mêmes objectifs, n'ont pas les mêmes bases de connaissance du fait de leurs spécificités professionnelles :

- Les responsables de la conservation ont pour souci majeur la bonne conservation des collections. Leurs besoins sont exprimés en termes scientifiques (température, humidité relative et niveau de pollution), parfois avec une exigence théorique qu'il est difficile, voire impossible, de satisfaire du fait de l'architecture du bâtiment.
- Les architectes chargés de la maîtrise d'oeuvre n'ont pas forcément dans leurs priorités l'analyse climatique des espaces ou le comportement hygrothermique du bâtiment. Ils confient les problèmes de climat à des bureaux d'études spécialisés.
- Les bureaux d'études et entreprises spécialisés en génie climatique se retrouvent souvent devant l'obligation de respecter les critères de conservation, alors qu'ils sont confrontés à un édifice (château, monument historique, bâtiment classé) rendant difficile, voire incohérente, la mise en oeuvre d'une installation répondant aux besoins.
- Les gestionnaires ont pour préoccupation majeure de rester dans l'enveloppe financière prévue, et cela au détriment parfois des moyens techniques à mettre en oeuvre. La méconnaissance des moyens nécessaires pour assurer une exploitation satisfaisante des futurs équipements (humains et financiers) peut déboucher ultérieurement sur des incohérences de fonctionnement des installations.

Les questions qu'il convient de se poser

En amont d'une opération, il faut prendre le temps de se poser les bonnes questions afin d'analyser l'ensemble des problèmes ; c'est la première démarche, qui évitera bien des déboires.

Ces questions peuvent être classées en six rubriques :

- Les collections : le responsable des collections devra définir la nature des oeuvres, les conditions souhaitées pour une bonne conservation et l'orientation envisagée pour la présentation des collections (en salle, en vitrine, en réserve, etc.).
- Le bâtiment : il faut faire :
 - une analyse des contraintes du bâtiment et de son enveloppe ;
 - apprécier les espaces, les volumes et les hauteurs sous plafond ;
 - pour les bâtiments existants, faire l'inventaire des désordres et les résoudre.
- Le musée : il faut :
 - en premier lieu, analyser l'environnement climatique du musée afin d'adapter les équipements aux spécificités géographiques du lieu ;
 - ensuite, faire une synthèse des activités prévues dans l'établissement.
- Les charges : il s'agit de définir tous les éléments susceptibles d'entraîner une perturbation climatique (apports de chaleur, déperditions, apports d'humidité). On distingue les charges externes et les charges internes.
- Les installations techniques : les professionnels du génie climatique doivent concevoir les installations adéquates en prenant en compte les points définis précédemment, ainsi que les critères économiques.
- La maintenance : les gestionnaires devront faire l'analyse des besoins en personnel et des besoins financiers devant permettre d'assurer un bon fonctionnement des équipements.

Conclusion

Devant la multiplicité et la diversité des éléments à prendre en compte, des contraintes inhérentes à l'édifice et des critères financiers, il n'existe pas de solution type. Seul un travail d'équipe permet d'aborder le traitement climatique de manière cohérente.

LE TRAITEMENT CLIMATIQUE – LES COLLECTIONS

C'est à ce stade de la réflexion que l'on définira les exigences climatiques nécessaires à la bonne conservation des oeuvres. Les responsables des collections devront répondre à trois questions pour apporter à la maîtrise d'oeuvre le maximum d'éléments relatifs à la conception des systèmes à mettre en oeuvre.

Nature physico-chimique des collections

Il faut établir une classification des collections à partir de la **nature chimique des matériaux** qui la composent. On distingue :

- les matériaux organiques : le carbone rentre dans la composition de ces matériaux (bois, papier, textile, ivoire, cuir, os...) ;
- les matériaux inorganiques : il n'y a pas de chaîne de carbone dans la composition de ces matériaux (pierre, céramique, verre, émaux, métaux...).

A partir de cette liste, il faut définir le **caractère hygroscopique de chaque matériau**.

On dit qu'une matière est hygroscopique, lorsqu'elle est capable d'absorber ou de restituer de l'eau en fonction de l'humidité relative de l'ambiance dans laquelle elle est stockée.

- les matériaux hygroscopiques :
 - la plupart des matériaux organiques,
 - certains matériaux inorganiques : plâtre, pierre calcaire tendre, gel de silice ;
- les matériaux non hygroscopiques : matériaux inorganiques (métaux, verres, pierre dure, etc.).

Grâce à cette classification sommaire et en tenant compte des effets physicochimiques liés à l'humidité relative, à la température et à la pollution, on pourra d'ores et déjà définir le niveau de précaution à prendre en matière d'équilibre hygrothermique des espaces de conservation.

Présence d'œuvres particulièrement sensibles aux variations climatiques

Il s'agit là de définir si les collections comprennent :

- des oeuvres exceptionnelles ;
- des objets très fragiles (dégradations dues à des problèmes climatiques antérieurs) ;
- des bois gorgés d'eau ;
- des oeuvres sortant de restauration, dont la matière a été fragilisée par un traitement spécifique ;
- des métaux en phase de corrosion active.

Cette liste est loin d'être exhaustive et, dans tous les cas, il faudra envisager l'étude d'un traitement climatique particulier (espaces ou vitrines à climat contrôlé).

Lieux et conditions de présentation

- Expositions permanentes : il s'agit de définir, pour les zones devant recevoir les différentes collections :
 - leur implantation dans le bâtiment ;
 - le niveau de la rigueur des paramètres climatiques de conservation qu'on peut en attendre.
- Expositions temporaires : cette zone doit être traitée indépendamment et pourvue d'une installation plus performante (température, humidité relative), sachant qu'elle accueillera des collections de toute nature et que les prêteurs risquent d'exiger pour leur oeuvres des conditions climatiques draconiennes.
- Réserves d'oeuvres : s'agit-il d'une réserve d'oeuvres visitable ou non ? Il est préférable de créer des petites réserves indépendantes par type de collection plutôt que de grands espaces.
- La muséographie : il importe de définir les conditions de présentation des collections. Les oeuvres seront-elles :
 - dans l'ambiance des salles ou des réserves ?
 - dans des espaces indépendants ou des vitrines ?
 - dans des armoires de stockage pour ce qui concerne les réserves ?

Conclusion

Les exigences de la conservation des collections étant définies, la maîtrise d'œuvre pourra, après étude, remettre en question la faisabilité d'une installation ne pouvant répondre aux paramètres demandés. Il conviendra, dans certains cas, de modifier la présentation et de prendre le parti de mettre des collections dans des vitrines ou dans des espaces spécifiques, où l'on s'appliquera à contrôler le climat. Les choses ne doivent pas être figées dès le départ ; c'est grâce à une parfaite concertation entre la conservation et la maîtrise d'œuvre que l'on pourra aboutir aux meilleurs résultats.

LE TRAITEMENT CLIMATIQUE – LE BATIMENT

Le bâtiment devrait jouer un rôle tampon et protecteur contre les amplitudes climatiques extérieures extrêmes, en vue d'obtenir les meilleures conditions intérieures, ce qui, dans le cas d'un musée, consiste à rechercher la stabilité hygrothermique des salles.

L'analyse hygrothermique d'un bâtiment passe par l'étude :

- de son enveloppe ;
- du volume des espaces ;
- dans les bâtiments anciens, des désordres liés à l'humidité.

Comment analyser l'enveloppe du bâtiment ?

- Evaluation de l'inertie thermique d'une construction : plus un bâtiment a une forte inertie (construction ancienne en maçonnerie très lourde et faible surface vitrée), moins il subit les amplitudes extérieures et plus il est facile de stabiliser son climat (variation très lente).
Un édifice moderne doté de grandes surfaces vitrées est totalement dépourvu d'inertie, et des installations de climatisation très importantes et fort coûteuses (investissement et fonctionnement) seront nécessaires pour stabiliser le climat intérieur.
- Prise en compte des parois vitrées : il faut définir les surfaces qui peuvent être :
 - les fenêtres (ouvrants) ;
 - les châssis fixes ;
 - les toitures verrières.

Ces parois vitrées ont toutes pour inconvénients :

- de créer des chocs thermiques en cas d'ensoleillement et, par conséquent, des apports de chaleur très importants, qui peuvent entraîner des élévations de température parfois insupportables en été, obligeant à climatiser les salles ;
- de créer de fortes déperditions thermiques rendant le coût énergétique très important ;
- d'être le siège de phénomènes de condensation lorsque, comme dans la plupart des salles d'exposition, on humidifie l'air en hiver pour assurer une meilleure conservation des oeuvres.

Les remèdes à ces inconvénients sont :

- pour les bâtiments neufs, la pose de verre réfléchissant, capturant au maximum le rayonnement infrarouge du soleil, et celle de stores ;
 - pour les bâtiments anciens, la pose de films réfléchissants ou de laques, et la mise en place de stores de protection solaire ;
 - pour les combles avec toiture-verrière, la pose, sur la partie externe de la verrière, de films ou de laques associée à une ventilation mécanique des combles ;
 - si le local est humidifié en hiver, l'installation de double vitrage pour l'ensemble des surfaces vitrées.
-
- Contrôle de l'isolation thermique : si elle est synonyme d'économie d'énergie, elle résout également les problèmes de condensation en éliminant les ponts thermiques.
On peut noter qu'il convient, lors de la mise en place de panneaux d'isolation, de veiller en particulier à ce que le pare-vapeur soit étanche et placé côté intérieur afin d'éviter tout phénomène de condensation dans la masse.
 - Vérification de l'étanchéité du bâtiment : les infiltrations d'air par les ouvrants doivent être combattues par la mise en place de joints en fond de feuillure et par une remise en jeu des fenêtres. Les entrées principales donnant sur l'extérieur doivent être équipées de sas pour éviter tout déséquilibre thermique.

Importance du volume des salles

- La hauteur sous plafond d'une salle joue un rôle important quant à la stabilité climatique d'un espace. Dans une salle de grande hauteur, les apports de chaleur interne (éclairage et public) sont beaucoup moins perturbateurs que dans une salle basse. La température ambiante varie dans ce cas de façon très lente. En revanche, il faut s'attendre, en période de chauffage, à des phénomènes de stratification thermique pouvant atteindre une amplitude de 8°C pour une salle de 10 à 12 m de hauteur.
Le traitement rigoureux de l'humidité relative est dans la plupart des cas très difficile, voire impossible à maîtriser.

- Lorsqu'il y a communication entre des salles dont la fonction et le traitement climatique différent, il y a forcément une instabilité climatique au droit du passage entre les deux zones, qu'il faut résoudre par la mise en place de portes automatiques ou de sas.

Existence de désordres dûs à l'humidité

Les désordres de ce type doivent être répertoriés par un spécialiste à qui il appartient, après étude du bâtiment, de définir les remèdes à appliquer. On distingue :

- l'humidité provenant de l'extérieur :
 - humidité d'origine accidentelle (fuite de canalisation pluviale ou de gouttière),
 - mauvaise étanchéité de la toiture,
 - infiltrations de la pluie à travers les maçonneries (par les joints ou les appuis de fenêtre fissurés),
 - mauvaise étanchéité des fenêtres au droit des rejets d'eau,
 - phénomènes de rejaillissement de la pluie en partie basse des murs extérieurs ;
- l'humidité provenant de l'intérieur :
 - humidité d'origine accidentelle (fuite de canalisation de chauffage ou de plomberie),
 - présence d'une nappe phréatique,
 - mauvais drainage du terrain entraînant des infiltrations d'eau en partie basse du bâtiment,
 - remontées capillaires par le sol ou par les murs périphériques,
 - condensation liée à une mauvaise ventilation des locaux.

Conclusion

L'analyse hygrothermique d'un bâtiment est essentielle sur ce plan car elle permet de dégager les contraintes qu'il impose, ces données étant ultérieurement prises en compte lors de la conception des systèmes de traitement climatique.

LE TRAITEMENT CLIMATIQUE – LE MUSEE

A ce niveau, il s'agit d'introduire les spécificités de la fonction musée dans le bâtiment et d'analyser les contraintes qui en découlent.

Environnement climatique du musée

- Le climat : il peut être tempéré ou continental. Entrent en compte l'altitude, l'exposition au vent, l'ensoleillement qui peuvent modifier les paramètres climatiques.
- Il existe pour chaque région une liste de valeurs contractuelles (température, humidité relative) correspondant aux valeurs extrêmes (été, hiver) à prendre en compte pour le calcul des bilans thermiques.
- Le site : une analyse rapide de l'environnement immédiat du musée est nécessaire. Elle a pour but de mettre en lumière certains facteurs particuliers :
 - ainsi la proximité de la mer, d'un plan d'eau, d'une forêt, etc., qui provoque, en demi-saison et en été, des élévations parfois importantes de l'humidité relative, imposant de déshumidifier ;
 - l'implantation d'un musée en plein centre urbain l'expose à des pollutions importantes, ce qui oblige alors à soigner particulièrement l'étanchéité du bâtiment et à renforcer les systèmes de filtration des appareils de traitement d'air.

Présence de décors historiques dans les salles

Dans les châteaux, les monuments historiques, nombreuses sont les salles possédant des décors (plafonds ou murs avec fresques, corniches, boiseries, dorures, etc.).

Cette situation rend bien souvent impossible le passage de gaines ou de canalisations, et interdit la mise en œuvre d'installations aptes à répondre complètement aux paramètres de conservation.

Si chaque cas est à étudier en tenant compte des contraintes architecturales particulières, l'objectif sera bien souvent de tirer le meilleur parti possible de l'inertie du bâtiment et de limiter les charges (internes et externes).

Connaissance des conditions climatiques des salles

Il serait souhaitable qu'au cours de l'année précédant le début de la conception d'un équipement climatique, on enregistre les mesures (température, humidité relative) des salles, et ce à tous les niveaux du bâtiment, du sous-sol aux combles. Celles-ci s'effectuent à l'aide de thermo-hygrographes. La lecture des enregistrements permettra aux concepteurs d'apprécier le comportement hygrothermique du bâtiment sur une année et de mieux orienter leurs choix.

Activités prévues dans l'établissement

L'objectif est de définir les activités prévues dans l'établissement, dans le but d'établir un zonage des futures installations.

Cette étape est fondamentale, car les charges climatiques varient fréquemment en fonction des types d'activité, et des périodes d'occupation.

Un mauvais zonage d'installation est souvent synonyme de dysfonctionnement, or la situation devient ensuite irréversible.

Pour un musée, on distingue les activités suivantes :

- exposition permanente ;
- exposition temporaire ;
- réserves d'oeuvres ;
- ateliers de restauration et laboratoires ;
- espaces polyvalents (accueil, librairie, atelier d'enfants) ;
- restaurant ou cafétéria ;
- auditorium ;
- bureaux ;
- salle de lecture et de consultation ;
- locaux du personnel ;
- ateliers d'entretien.

LE TRAITEMENT CLIMATIQUE – LES CHARGES

Les charges se définissent par les apports calorifiques ou frigorifiques susceptibles de modifier la stabilité climatique intérieure d'un édifice. Le calcul des apports permet de prévoir la puissance des installations et leurs caractéristiques.

On distingue :

- les charges externes au bâtiment ;
- les charges internes au bâtiment.

Charges externes d'un bâtiment

• En hiver : les déperditions d'un bâtiment découlent des pertes calorifiques à travers les parois extérieures et des renouvellements d'air entre l'intérieur et l'extérieur.

Les déperditions des murs extérieurs, des planchers bas, des toitures sont égales au produit de la surface par l'écart de température par le coefficient de transmission thermique (K en $W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

Plus ce coefficient est faible, meilleure est l'isolation.

Trois exemples :

- mur isolé (constructions actuelles) répondant aux nouvelles normes « Haute Isolation » $K < 0,50 W/m^2 \text{ } ^\circ C$;
- mur en pierre calcaire demi-ferme de 1 m d'épaisseur (bâtiment ancien à forte inertie thermique) : $K = 1,13 W/m^2 \text{ } ^\circ C$;

- mur en béton de 20 cm d'épaisseur, enduit deux faces (bâtiment des années 1950) : $K = 2,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Les déperditions par les surfaces vitrées sont les plus importantes (rapportées au mètre carré) :

- pour une fenêtre en verre clair simple vitrage : $K = 5,7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- pour une fenêtre double vitrage (lame d'air de 8 mm) : $K = 3,2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Les déperditions par renouvellement d'air sont des apports d'air extérieur par les ventilations naturelles et par les joints des ouvrants.

Autrefois, la perméabilité des fenêtres était médiocre, et l'on prenait de façon empirique un renouvellement par heure d'air neuf.

Depuis la prise en compte des économies d'énergie, des normes thermiques ont été définies. Il s'agit de classes de menuiserie (A1, A2, A3).

L'exposition au vent de la façade est également un critère à considérer. Dans les bâtiments anciens, il faut systématiquement remettre en jeu les huisseries et mettre en place des joints en fond de feuillure.

• En été : les apports de chaleur provenant de l'extérieur correspondent aux apports par rayonnement solaire.

- Sur les parois opaques : les apports dépendent de l'inertie thermique de la paroi, mais surtout de la nature du revêtement de la face exposée au soleil.

Ces parois opaques absorbent une grande partie du rayonnement en fonction d'un coefficient d'absorption égal à 0,80.

Les parois claires ont un coefficient d'absorption de 0,60.

Les surfaces brillantes ou réfléchissantes, un coefficient de 0,20.

- Sur les parois vitrées : les apports sont très importants et dépendent de l'angle incident du rayon solaire sur la paroi.

Dans nos régions, le flux de chaleur est de :

- face vitrée orientée est ou ouest : 580 W/m^2 ;
- face vitrée orientée sud : 470 W/m^2 .

Il est indispensable de combattre ces apports avant d'envisager un éventuel système de climatisation.

Les moyens de protection d'une baie vitrée se caractérisent par un coefficient unique, le facteur solaire F.

Quelques exemples :

- verre clair simple vitrage : $F = 86 \%$;
- verre clair double vitrage : $F = 80 \%$;
- double vitrage réfléchissant (Eliotherm platine) : $F = 24 \text{ à } 36\%$.

Protections extérieures par :

- volets en bois : $F = 9 \%$;
- store toile opaque : $F = 11 \%$;
- store toile translucide : $F = 26 \%$.

Protections intérieures par :

- store toile opaque : $F = 45 \%$;
- store toile translucide : $F = 50 \%$.

Avec les films ou laques de protection solaire appliqués sur un verre clair existant, le facteur solaire se situe entre 40 et 60 %.

- Sur les toitures-verrières : l'exemple type est celui du comble avec verrière séparée des salles par un plafond zénithal (que l'on rencontre dans de nombreuses constructions du XIXe siècle). La température peut atteindre 55° C en été, entraînant dans les salles des étages inférieurs des élévations de température souvent très gênantes.

Dans tous les cas, il faut combattre en priorité ces apports, la solution étant la mise en place d'un film ou d'une laque sur la face externe de la verrière, associée à une ventilation mécanique du volume des combles. Les ventilateurs étant souvent très encombrants en raison de l'importance des débits à traiter, les niveaux sonores risquent de constituer une gêne.

Charges internes dans une salle d'exposition

• L'éclairage : les dégagements calorifiques liés à l'éclairage entraînent des déséquilibres climatiques parfois importants entre le jour et la nuit. Suivant le volume des salles, les variations de température peuvent atteindre 5 à 7° C et, par suite, un écart de l'humidité relative pouvant aller jusqu'à 25 %.

Il est impératif que l'éclairagiste définisse le système d'éclairage envisagé et établisse une note de calcul des dégagements calorifiques.

Une valeur ne dépassant pas 25 watts par m² est souhaitable.

• Le public : il est toujours difficile d'apprécier le taux de fréquentation d'un musée, mais le concepteur d'une installation climatique aura obligatoirement besoin d'une estimation de ces données.

Il faut savoir qu'une personne dégage par heure environ 100 watts en chaleur sensible et 10 grammes de vapeur d'eau.

Quelques valeurs de repère :

- salle à forte fréquentation : 1 personne pour 2 à 4 m² ;

- salle à moyenne fréquentation : 1 personne pour 5 à 10 m² ;

- salle à faible fréquentation : à partir de 1 personne pour 10 m².

Conclusion

En règle générale, avant de concevoir une installation, il faut impérativement limiter au minimum les charges afin de réduire les puissances à mettre en jeu, ce qui permet de diminuer le coût de fonctionnement des installations (réduction de la consommation d'énergie) et d'obtenir plus facilement la stabilité climatique des salles, objectif visé en matière de conservation des oeuvres.