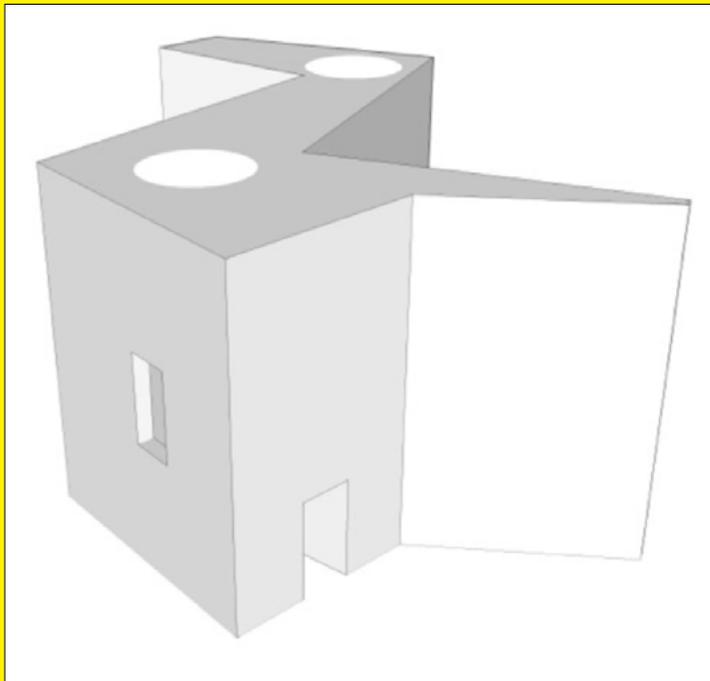


DeLumine | 7

**Evaluation des performances
de la lumière du jour
dans les musées.**

*Étude de cas :
Extension du musée des Beaux-Arts de Bâle.
Christ & Gantenbein architectes.*

**ENSAS | LaboLumière
Rapport de synthèse 2013-2014**



**DELUMINE EST LE RAPPORT D'ACTIVITÉ
DU LABOLUMIÈRE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
D'ARCHITECTURE DE STRASBOURG.**

Comme chaque année,
les travaux des étudiants traitent d'une étude de cas.
Pour cette année scolaire 2013-2014, c'est l'extension du
Kunstmuseum de Bâle, des architectes Christ et Gantenbein
qui a servi de thème d'étude pour les variations
sur la lumière dans l'architecture.

Je remercie particulièrement Emanuel Christ pour
sa disponibilité et son aide précieuse, notamment lors de la
visite du Mock-Up le 21 mars 2014. Ce document lui est dédié.

Le travail expérimental s'est déroulé
au **CSTC de Limelette/Louvain-la-Neuve**.

Arnaud Deneyer responsable du laboratoire «Lumière et bâtiment»,
a mis à notre disposition les installations de son laboratoire.

Je le remercie chaleureusement ainsi que son équipe,
pour leur accueil, leurs conseils et l'efficacité logistique.

Depuis 2008, Arnaud Deneyer est une aide précieuse
et indispensable, sans laquelle ne serait pas possible
l'activité du LaboLumière de L'Ensas.

Sur place, l'équipe enseignante a été renforcée
par Corentin Haubruge, Loci (Faculté d'Architecture, d'Ingénierie
Architecturale, d'Urbanisme de l'Université de Louvain-la-Neuve).
Je le remercie pour son aide aussi bien dans le domaine scientifique,
que pour son questionnement sur la conception architecturale.

EQUIPE ENSEIGNANTE DE L'ENSAS :

Dominique **Laburte**

Jacques **Rizzotti**

Sandro **Varano**

Jean-Paul **Wetzel**.

*Dominique **Laburte**,*
*Rédacteur de **DeLumine** | 7*

DeLumine | 7

**Evaluation des performances
de la lumière du jour
dans les musées.**

***Étude de cas :
Extension du musée
des Beaux-Arts de Bâle.
Christ & Gantenbein architectes.***

**L'ARCHITECTURE
C'EST DE LA
LUMIÈRE DÉPENSÉE**

«L'ARCHITECTURE C'EST DE LA LUMIÈRE DÉPENSÉE»¹.

Dans cette formulation célèbre, Louis Kahn exprimait que la lumière était pour lui la condition d'existence de l'architecture. Il traduisait aussi cela en associant Le silence et la Lumière. Bien évidemment, la référence au silence, à l'absence de bruit, ne signifie pas l'absence de l'architecture. Au contraire, cela exprime que la lumière est source de présence, qu'elle fait exister l'architecture. La lumière rend possible l'expérience de l'architecture, expérience à la fois sensorielle et intellectuelle, voire spirituelle. (Le Corbusier exprimait une idée voisine en décrivant l'architecture comme «espace indicible²»). Les discours sur la lumière jalonnent l'histoire de l'architecture et sont emblématiques du travail sur les ambiances en architecture. Pierre Von Meiss relevait pourtant la difficulté de l'enseigner et soulignait que seule une longue expérience d'observations attentives de situations réelles pouvait apporter des outils efficaces pour le projet d'architecture³.

La création du Labo Lumière de l'Ecole d'Architecture de Strasbourg, fonde son action sur ce constat. Il propose une pédagogie de l'expérimentation plaçant l'étudiant dans une situation de sujet agissant dans l'acquisition des connaissances. Elle vise à obtenir une compréhension sensible (qualitative) et technique (quantitative) des phénomènes physiques liés aux ambiances lumineuses.

EXPÉRIMENTER LES AMBIANCES LUMINEUSES / ÉTUDES DE CAS.

L'argumentation de projets d'architecture, à partir du travail sur la lumière naturelle, est très fréquente dans le discours des architectes. Elle concerne des aspects qui touchent aussi bien à la perception, aux sensations, au symbolique, qu'aux facteurs physiques déterminant l'ambiance et le confort. Le LaboLumière propose d'approcher ces dimensions, à partir d'expérimentations, permettant de caractériser des ambiances lumineuses, d'objectiver des éléments de la conception architecturale, et d'élever le niveau de conscience des étudiants dans le travail de conception.

Cette approche expérimentale est à comprendre dans deux sens :

- Un premier sens «phénoménologique», celui de s'immerger dans un milieu pour l'observer, le sentir. Ainsi sont menées des observations in-situ, qui sont aussi un moyen d'exercer sa propre perception, et sans doute de la «calibrer».
- Un deuxième sens, plus scientifique, consistant à mettre en évidence des phénomènes et à comprendre les conditions de sa reproductibilité. Dans ce sens, le LaboLumière apporte des connaissances et des méthodes nécessaires à la justesse des prévisions des ambiances lumineuses dans le projet d'architecture.

Chaque année, une étude de cas, analysant un bâtiment représentatif de l'architecture contemporaine, sert à constituer patiemment un thésaurus sur le thème des ambiances lumineuses en architecture.

«DeLumine» a pour vocation d'en rendre compte. L'étude de cas repose sur des observations in-situ qui servent à collecter des informations qualitatives et quantitatives (prise de mesures d'éclairage), puis sur une reconstruction de l'architecture à partir de maquettes et de modélisations, destinées à mettre en évidence le rapport entre les dispositifs de captage et de transmission de la lumière naturelle et les effets obtenus. L'édifice étudié est alors considéré comme un thème sur lequel les étudiants proposent des «variations» propres à faire émerger des connaissances sur la conception architecturale dans le rapport lumière/espace.

LE CAS DU MUSÉE DES BEAUX-ARTS DE BÂLE.

Le programme de musée exprime un certain nombre de thèmes caractéristiques de la production architecturale actuelle. Plus particulièrement le musée d'art, en effet : dans le rapport de l'art et de l'architecture se joue aussi le rapport de l'édifice à la ville et le rôle de l'art dans la société.

Le musée, est évidemment un édifice où la question de l'éclairage et de l'ambiance lumineuse est une question centrale, puisque la lumière doit être propice à l'observation et à la conservation des œuvres.

Le LaboLumière a déjà travaillé sur ce thème en 2010⁴ à partir de l'étude de la fondation Beyeler de Renzo Piano, comparée au musée d'Aalborg d'Alvar Aalto et du Kimbell Museum de Louis I. Kahn. La comparaison de ces trois édifices avait notamment permis de mettre en évidence l'adéquation des dispositifs retenus aux conditions climatiques de leurs lieux d'implantation, situés sous des latitudes très différentes.

En 2011, l'étude de cas portait sur la fondation Burda de Richard Meier à Baden-Baden. Ce travail fut l'occasion de différencier la lumière-composante spatiale et la lumière fonctionnelle destinées à éclairer les œuvres⁵.

La particularité de la conception de l'extension du Musée des Beaux-Arts de Bâle que nous avons pris cette année comme objet d'étude est sans doute la recherche des architectes pour établir une forte continuité architecturale avec le musée de 1936.

Pour l'éclairage, la position des architectes consiste à mettre en place des dispositifs pour capter et contrôler la lumière plutôt «conventionnels», au sens où ils ne proposent pas de dispositif high-tech, comme l'a fait par exemple Renzo Piano pour la Fondation Beyeler. La technique est présente pour atteindre l'efficacité, mais elle n'est pas le constituant essentiel de l'architecture. Pour l'enseignement, cette situation est très démonstrative et pédagogique : elle a permis aux étudiants de prendre cette conception comme un thème et de proposer des variations.

REPÈRES POUR L'ÉCLAIREMENT DES MUSÉES

Avant d'exposer le travail d'étude de cas, voici quelques repères sur l'éclairage des musées.

Depuis la fin des années 1980, l'utilisation de la lumière naturelle dans les musées a été remise en cause. En 1986, dans «Sunlighting as a Forgiver for Architecture⁶», William Lam résume l'état de cette question :

«Malgré les désirs tant du public que des conservateurs de musée, l'utilisation de la lumière naturelle comme source d'éclairage principale des galeries, a souvent été mise en question voire éliminée ces dernières années. Les raisons n'étaient généralement pas économiques, mais reflétaient plutôt des préoccupations d'efficacité de présentation et de conservation des œuvres d'art. Le développement de telles attitudes négatives envers la lumière naturelle qui a causé cette tendance était inévitable, étant donné la conception pauvre au moyen de la lumière du jour dans beaucoup de nouveaux musées (...).

Qu'est-ce qui ne va pas avec la conception de l'éclairage avec la lumière du jour de beaucoup de musées contemporains ? Trop souvent, les conditions de présentation des oeuvres sont loin de l'idéal pour la vision, tout en faisant courir des risques (physiques) aux collections. Beaucoup d'architectes semblent avoir ignoré les dégâts provoqués par la lumière excessive, utilisée parfois à des niveaux extrêmes avec des expositions des œuvres au rayonnement direct du soleil, apparemment plus intéressés par la forme architecturale que par la présentation optimale des œuvres, leur conservation, ou les coûts d'exploitation. En effet, certaines galeries semblent avoir été conçues pour y montrer l'architecture de l'édifice elle-même plutôt que ce qui y est exposé.»

A la fin des années 1970 Garry Thomson de la National Gallery de Londres avait déjà alerté les concepteurs et les conservateurs de musées, sur les lieux d'exposition qui ne garantissaient pas toujours de bonnes conditions de conservation des œuvres. Il dénonçait le manque d'information sur les effets néfastes du climat intérieur dans les musées. Il oeuvra pour que des valeurs de références soient établies pour les architectes et les ingénieurs concevant les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation. En 1978, Thomson montrait dans son livre *The Museum Environment*⁷ une bonne description de la nature des dommages causés par les trois agents principaux de détérioration (éclairage, humidité relative et polluants atmosphériques), ainsi que des propositions d'actions à entreprendre pour les contrer. Le tableau de la fig.1 récapitule les valeurs d'éclairage qu'il proposait en fonction de la nature des objets exposés.

Œuvres sur papier	50 lux	Œuvres sur papier avec techniques de coloration, support dégradé, tirages photos ou diapositives.
	100 lux	Œuvres sur papier en noir et blanc seulement, photos en noir et blanc.
Peintures	50 lux	Peintures minces sur toile, aquarelles, gouaches, miniatures.
	150 - 200 lux	Huiles et tempera.
Objets	50 lux	Objets peints, surfaces polychrome, meubles tapissés, verts instables.
	200 lux	Objets en cuir et en bois.
	1000 - 2000 lux	Objets en matière inorganique sans surfaces peintes, comme la pierre, la céramique ou le métal.

Fig. 1. Recommandations de valeurs d'éclairage de Garry Thomson, « *The Museum Environment* ».

Thomson préconisait aussi des temps d'exposition à la lumière maximum pour éviter la détérioration des oeuvres :

- 650 000 lux/heure pour les peintures et les objets en bois et cuir.
- 150 000 lux/heure pour les textiles, les œuvres colorées sur papier et les photographies.

Les caractéristiques spectrales de la lumière ont aussi une influence importante sur la conservation des oeuvres. La plupart des dégâts viennent des rayonnements ultra-violet. Les UV peuvent être filtrés directement grâce au choix des vitrages, des fenêtres et des plafonds. La lumière réfléchi sur des surfaces peintes en blanc réduit aussi le rayonnement UV. Les tests réalisés par William Lam ont montré que la peinture blanche reflète seulement 5 à 10 % des UV. Un lanterneau avec une double réflexion peut réduire les UV au même niveau que la lumière naturelle⁸. (Fig.2).

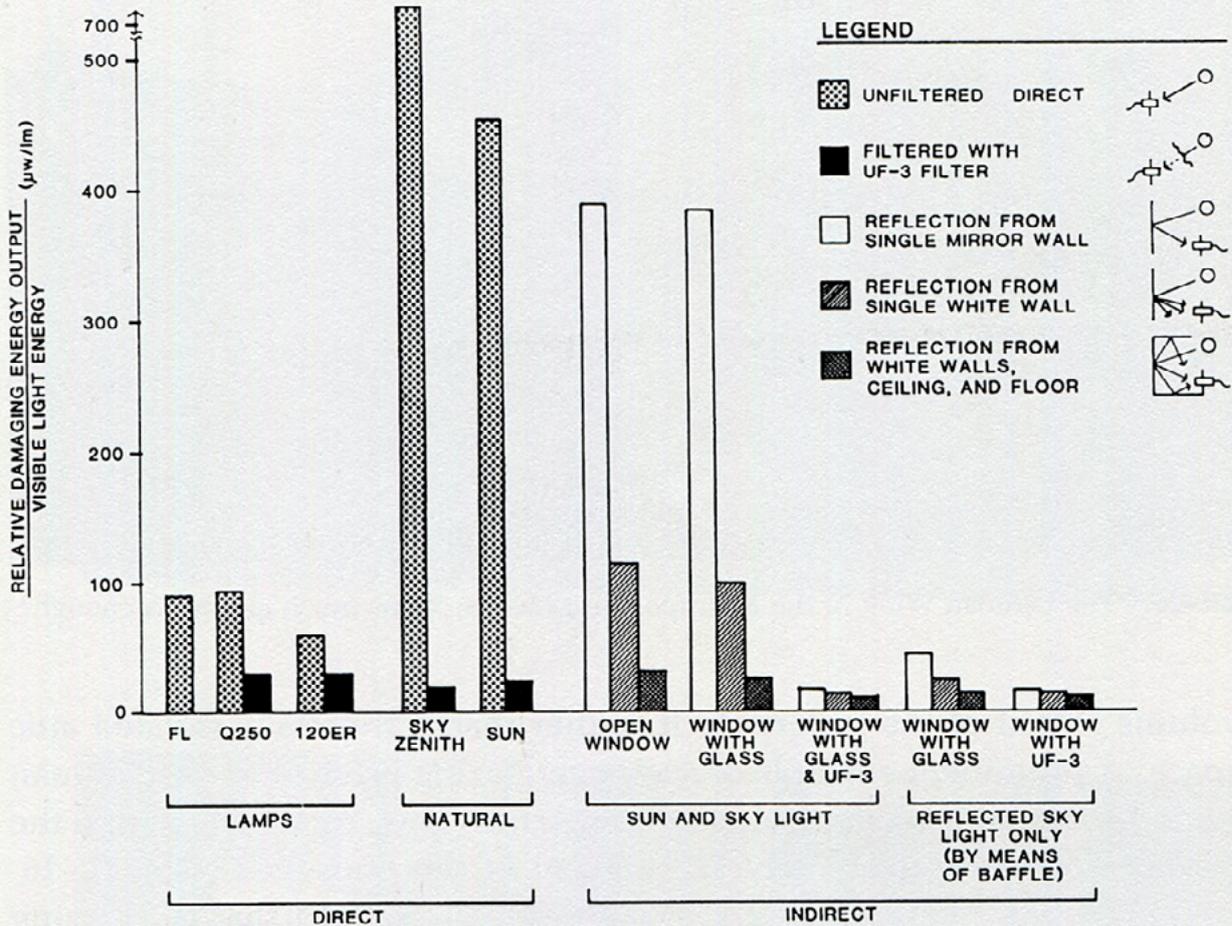


Fig.2. Ratio UV-lumière visible de différentes sources ; les schémas montrent que des réflexions multiples de la lumière filtrent efficacement les rayonnements ultra-violets. (Résultats obtenus par les essais De William Lam Associates en avril 1981).



Fig.3. Kunstmuseum – Basel.
Paul Bonatz et Rudolf Christ architectes – 1936.



Fig.6-7. Extension du Kunstmuseum – Basel.
*Emanuel Christ & Christoph Gantenbein Architectes.
Maquette du concours 2010.*



Fig.4. Kunstmuseum – Basel.
Escalier principal.

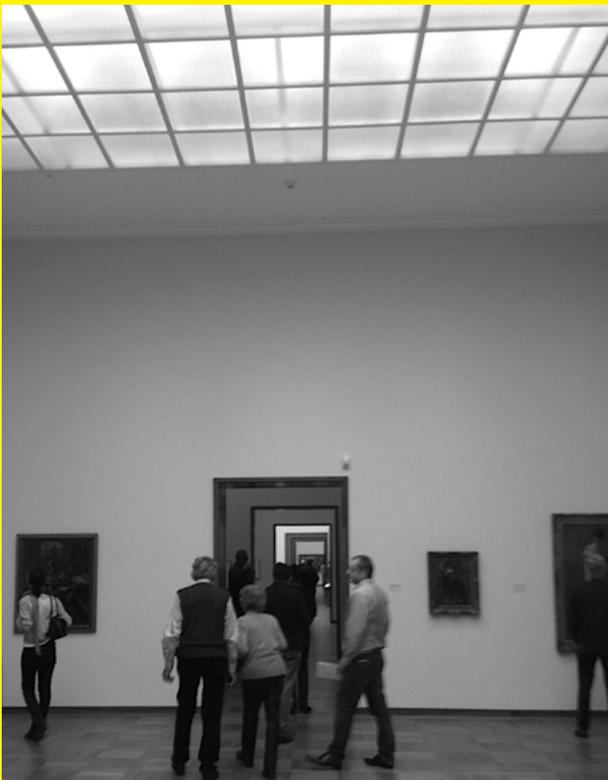


Fig.5. Kunstmuseum – Basel.
Galerie du deuxième étage.



Fig.8. Extension du Kunstmuseum – Basel.
*Emanuel Christ & Christoph Gantenbein Architectes.
Maquette du concours 2010.*

ETUDE DE CAS 2014 : L'EXTENSION DU KUNSTMUSEUM BASEL.

L'étude de cas de cette année propose donc un travail sur l'extension du musée des Beaux-Arts de Bâle. Le musée de 1936 est exemplaire quant à la question de l'éclairage et les architectes Emanuel Christ et Christoph Gantenbein ont voulu créer une forte continuité avec les valeurs architecturales du bâtiment de Paul Bonatz et Rudolf Christ⁹.

C'est une attitude très intéressante et quasi morale, parce qu'elle place l'architecture dans une position d'humilité plutôt que comme une position conquérante comme le font certaines architectures contemporaines très médiatiques. Cette position place la question de la créativité architecturale au delà d'une l'expression personnelle mais plutôt comme un travail très raisonné et donc très pédagogique.

Cette continuité sera notamment bien visible dans les solutions spatiales (ampleur de l'escalier, par exemple), les matériaux et les solutions d'éclairage. En effet, le principe d'éclairage des galeries d'exposition s'inspire de celles du musée actuel : éclairage latéral au premier étage, avec des fenêtres reprenant les proportions du bâtiment d'origine, et éclairage zénithal au second étage. Le principe d'éclairage artificiel, avec les bandes transversales qui strient les plafonds rappelle aussi le musée de Bonatz et Christ.

Les architectes Christ et Gantenbein sont engagés dans une démarche expérimentale pour valider dans la matière leurs hypothèses de projet. Un prototype grandeur nature a été construit à Birsfelden. Ce «Mock-UP» avait pour but notamment de visualiser l'enveloppe extérieure, contrôler l'invisibilité des passages de fluides, la perception des matériaux intérieurs, ainsi que vérifier le fonctionnement de la mécanique des systèmes de contrôle des ouvertures et l'efficacité des dispositifs pour capter et transmettre la lumière naturelle et sa compensation par les équipements de lumière artificielle.

Comment le travail du LaboLumière de l'Ensas devait-il se positionner par rapport aux intentions des architectes ?

Il faut considérer qu'il s'agit avant tout d'une activité pédagogique et non d'une simulation du contexte professionnel. Son but premier est de découvrir des connaissances sur l'architecture et la conception architecturale, dans son rapport avec la lumière naturelle. Le travail consista donc à réaliser des variations sur le thème défini par le projet d'Emanuel Christ et Christoph Gantenbein.

Un des principes de base de ce projet est l'idée de deux maisons qui contiennent les galeries d'exposition, réunies et ceinturées par un mur de brique, grande surface continue qui les unifie tout en créant une forte parenté visuelle avec le bâtiment l'existant (proximité de matériaux), (Fig.14).

Pour les ambiances lumineuses, une première question concerne la perception de ces deux maisons (de ces deux pièces, au sens de Louis I. Kahn), rendues visibles grâce à leur détachement dans le vide des halls et des escaliers. Comment la lumière participe-t-elle de cette perception ? Une autre question est celle de la possibilité de différencier l'espace architectural par des zones de lumières qui pourraient servir à la perception des œuvres d'art qui seront accrochées sur les murs de ces pièces. Enfin on s'interrogera aussi sur l'efficacité de l'éclairage naturel dans les lieux d'exposition, c'est à dire sur la mise en évidence de la relation entre les dispositifs qui captent, transmettent et diffusent la lumière avec les effets lumineux obtenus dans l'espace architectural.

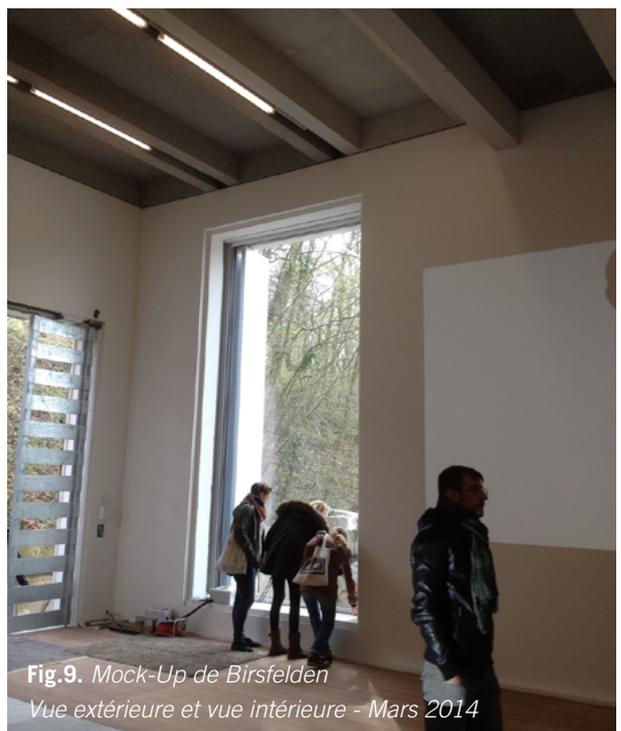


Fig.9. Mock-Up de Birsfelden
Vue extérieure et vue intérieure - Mars 2014

Le travail a été réalisé en observant le projet sous des angles différents, qui ont déterminés quatre objets d'étude. Ce découpage a servi de base pour organiser le travail par groupes de quatre à cinq étudiants :

1. Le hall souterrain, (Fig.10) :

La particularité de cet espace est la pénombre. Une intention forte des architectes est la perception du dehors et notamment de la lumière naturelle. La perception des deux « pièces » repose sur le rapport de la structure (poutres au plafond) avec l'éclairage artificiel disposé entre les poutres. Le plan actuel est très fonctionnel avec des circulations très compactes, alors que celui du concours créait un vide autour d'un escalier spécifique venant du rez-de chaussée. Pourrait-on imaginer un vide ou des vides laissant passer lumière et vue entre le hall souterrain et le rez-de-chaussée ? Une autre question est la possibilité de capter les rayons solaires directs dans le petit hall souterrain.

2. L'escalier, (Fig.11) :

Cet espace est celui qui offre le mieux la possibilité de faire percevoir les deux pièces séparées par le vide. On pourrait faire des hypothèses pour révéler différemment cette situation : faut-il éclairer d'avantage le vide pour rendre plus lisible le face à face des deux maisons, ou mettre l'accent sur les murs par un éclairage spécifique ? Si des œuvres étaient exposées sur ces murs où faudrait-il les placer et comment les mettre en valeur par la lumière ?

3. Les galeries du 1er étage, (Fig.12) :

Chaque maison est constituée de quatre sous espaces avec des ambiances lumineuses différentes. L'éclairage naturel est caractérisé par des prises de lumière en façade. Comment peut-on caractériser l'ambiance lumineuse à partir du rapport de ces fenêtres avec l'espace, (avec les zones de lumière qui en découlent), et avec la constante de lumière artificielle provenant du plafond ?

4. Les Galeries du 2ème étage, (Fig.13) :

Les galeries de cet étage sont éclairées par des caissons-lanterneaux apportant la lumière zénithale. Contrairement à la lumière latérale des galeries du rez-de-chaussée qui provoque des différences d'éclairement, voire des perceptions de différenciations spatiales, le dispositif du deuxième étage cherche à mettre en place un éclairage très uniforme et homogène.

La répétition dense du dispositif et son système de contrôle des rayons solaires (lames inclinables et verre translucide), contribuent à régulariser la lumière dans tout l'espace. La particularité de ce dispositif réside dans sa conception longitudinale (de mur à mur), sans redivisions. Dans le cas d'une orientation Nord-Sud, n'y-at-il pas un risque de laisser passer les rayons directs ? Pour l'éviter est-on obligé de fermer complètement les lames pivotantes ?

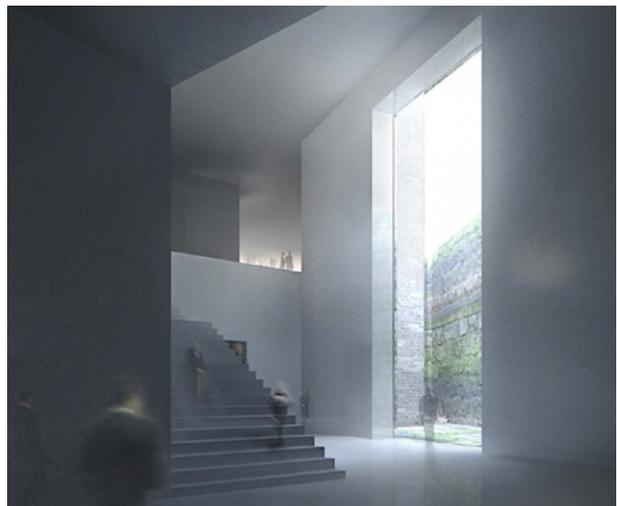


Fig.10. Extension du Kunstmuseum – Basel.
Hall souterrain. Image du concours.



Fig.11. Extension du Kunstmuseum – Basel.
Escalier principal. Image du concours.

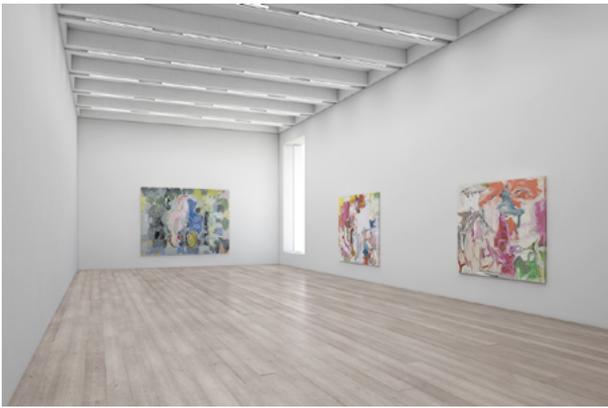


Fig.12. Extension du Kunstmuseum – Basel.
Galerie du premier étage. Image du concours.



Fig.13. Extension du Kunstmuseum – Basel.
Galerie du deuxième étage. Image du concours.

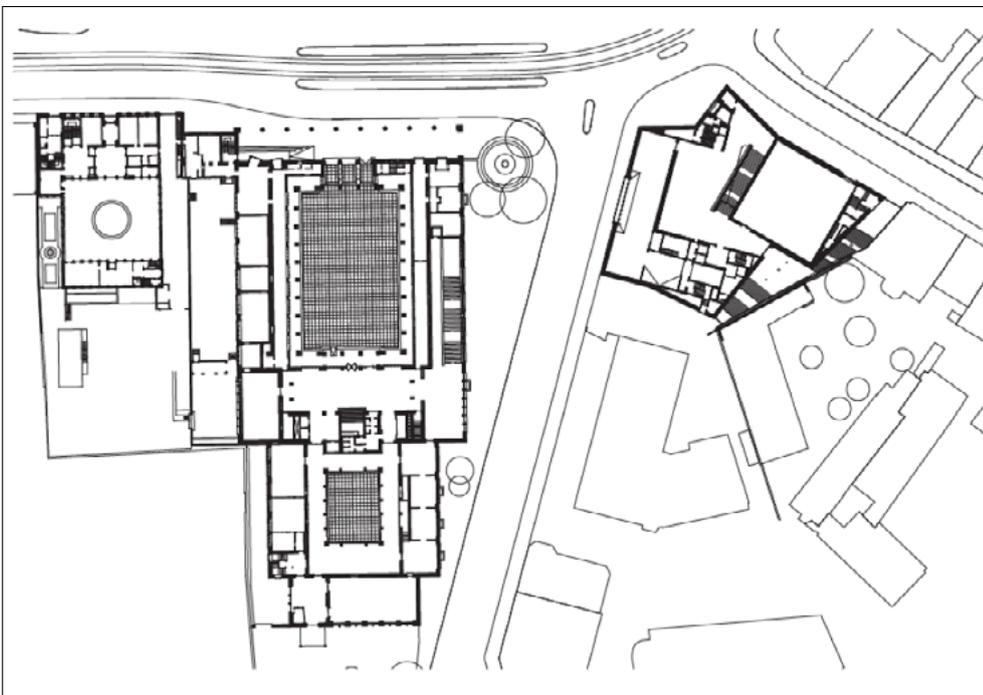


Fig.14. Plan du rez de chaussée.

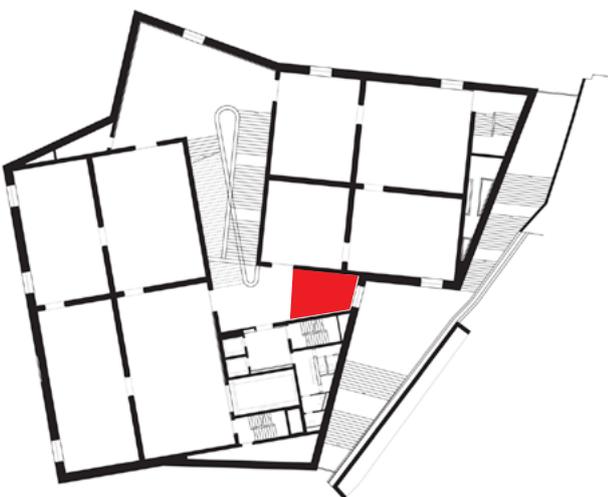


Fig.15. Plan de l'étage 1
En rouge, possibilité de création d'un vide vertical.

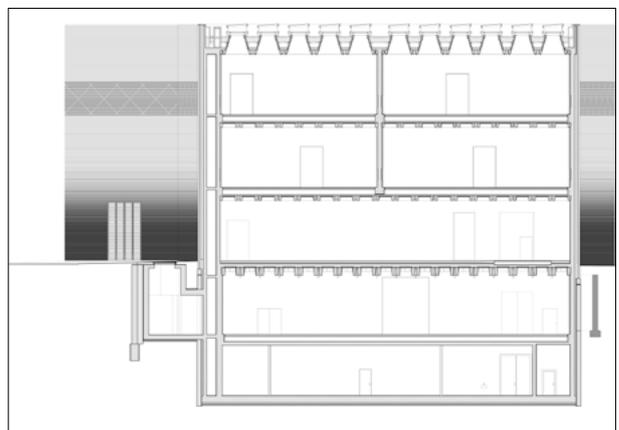


Fig.16. Coupe sur les galeries d'exposition.



Fig.18-19. *Soleil mécanique du CSTC.*

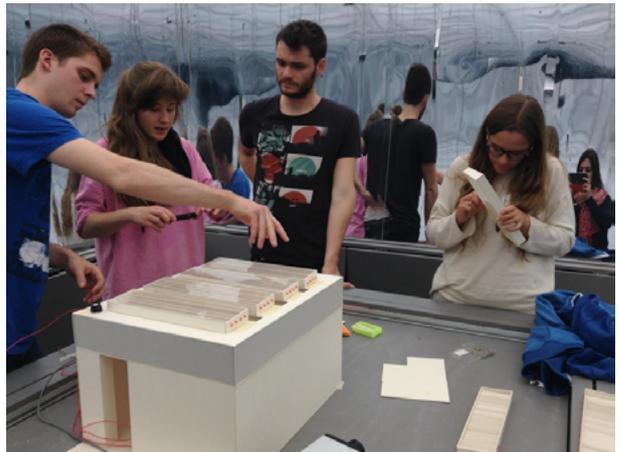


Fig.20. *Mirror-Box du CSTC.*

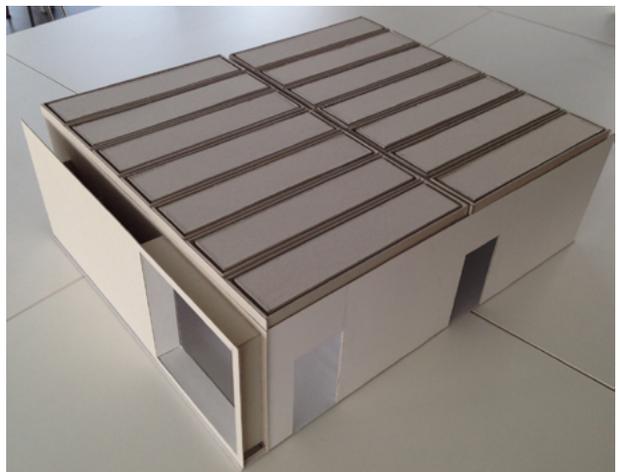


Fig.21. *Maquette 1/25 - Galerie du premier étage.*

LES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES.

Les étudiants de l'Ensas ont testé les maquettes de leur objet d'étude dans deux simulateurs mis à disposition par le CSTC de Limelette en Belgique :

1. Le soleil mécanique, (Fig.18-19).

Le soleil mécanique est un appareil simple et très démonstratif puisqu'il rend visible la course du soleil à partir du déplacement d'un projecteur dans une double rotation, sur un axe vertical et un axe horizontal. Le soleil mécanique reproduit la course du soleil dans les conditions d'un lieu précis (latitude) et pour des journées déterminées (saisons). Les observations sont faites en temps solaire vrai (TSV), ne prenant pas en considération les corrections de longitude et du temps légal.

Cet appareil entièrement mécanique est très facile à faire fonctionner et très fiable¹⁰.

2. La Mirror Box, (Fig.20).

La «Mirror-box» est un ciel artificiel reconstituant les conditions d'un ciel diffus, normalisé CIE. Il permet d'observer et de mesurer la répartition de la lumière dans un espace.

3. Les maquettes, (Fig.21).

Les maquettes sont réalisées en carton, généralement à l'échelle du 1/20 ou 1:25. Dans la plupart des cas, cette échelle assure une bonne couverture lumineuse par le soleil mécanique¹¹.

Les maquettes sont étanches à la lumière (notamment dans les angles), et les coefficients de réflexion des surfaces sont connus.

Elles sont équipées de matériel d'observation, caméras et appareils photos, non spécialisés, (à l'intérieur Go-Pro), et de matériel de mesure (luxmètres reliés à un ordinateur).

4. Simulations informatiques (Fig.17).

Cette année, les étudiants se sont familiarisés avec le logiciel de simulation thermique ArchiWizzard. A partir de modélisation sous Archicad, Allplan ou SketchUp, on peut dresser des cartes de répartition de la lumière. Un groupe d'étudiants a travaillé avec le logiciel développé par Velux : Velux Daylight Visualizer (VDV), qui représente et calcule la répartition de la lumière dans l'architecture.

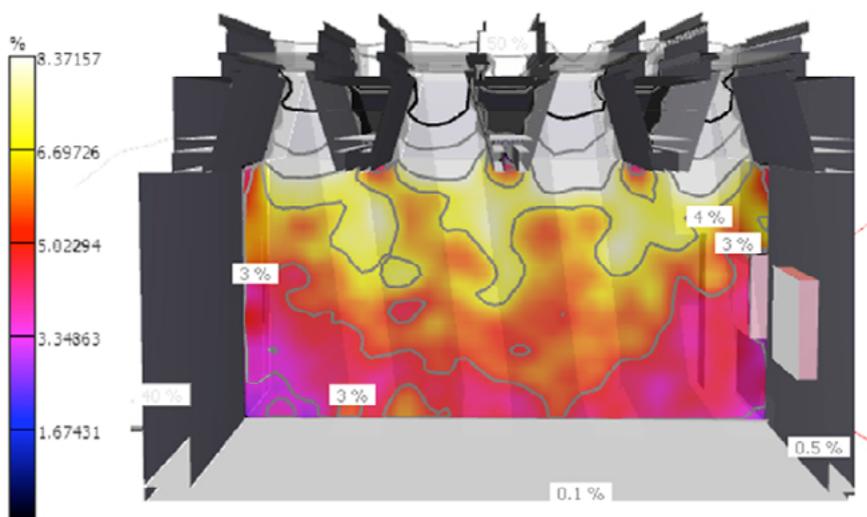


Fig.17. Visualisation en coupe de la répartition de la lumière dans les galeries du deuxième étage, avec le logiciel ArchiWizzard.

1



Fig.22. Plan du hall souterrain.
1, 2, 3 : galeries d'exposition
Hall en bleu - Cour en jaune

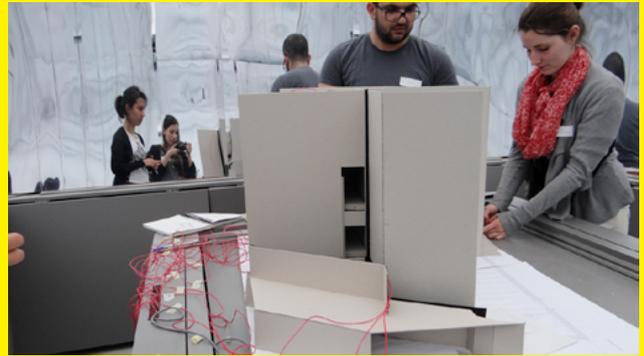


Fig.23. Maquette dans la Mirror Box



Fig.24. Emplacement des capteurs :
- Au rez-de-chaussée, 3 luxmètres
- Au niveau souterrain, 7 luxmètres
- un capteur de référence à l'extérieur.

OBJET D'ÉTUDE 1 : HALL SOUTERRAIN.

AKL AKL, CONRAD ADELIN, LE MAREC KARINE, NUYAKSHEVA VICTORIA, PELLEGRINI GAIA.

CARACTÉRISATION DU CAS ANALYSÉ:

Cette pièce joue un rôle particulier dans le projet d'extension. En effet l'intention des architectes est de créer une liaison souterraine, pour passer sous la rue, sans créer de couloir. Une fois descendu au sous-sol, une succession de deux galeries d'exposition mènent au pied de la circulation verticale du nouveau bâtiment. La pièce analysée joue donc un rôle important d'articulation fonctionnelle mais aussi pour rendre lisible le nouveau projet aux visiteurs venant du bâtiment existant. Dans ce but, ce lieu crée une ouverture vers l'extérieur (cour encaissée contenant un escalier extérieur le long d'un mur ancien), et met en communication avec le vide de l'escalier principal. Cet enjeu se traduisait bien dans l'image du concours, (Fig.10).

L'évolution du projet est marquée par une recherche de compacité, au bénéfice des galeries d'exposition, et la solution définitive est nettement moins emphatique que celle du concours.

ORGANISATION DE L'ÉTUDE :

Hypothèses :

Deux hypothèses d'étude ont été avancées :

1. Mise en évidence du dispositif qui capte la lumière au travers de la cour, en modifiant les propriétés de réflexion des nouvelles façades, (murs blancs et murs noirs). L'ouverture de la cour vers le sud offre des possibilités de pénétration de rayonnements directs à certains moments de l'année, apportant une animation supplémentaire à ce lieu. L'étude mettra en évidence ces moments.
2. Proposition de constitution d'un vide vertical sur la hauteur du bâtiment, pour apporter un complément d'éclairage par une ouverture en façade ou en toiture.

Maquette :

La maquette reconstitue le hall, avec les façades sur cour, les murs de la cour et l'escalier extérieur.

La maquette est transformable pour l'étude des deux hypothèses :

- par changement des revêtement des murs de la cour,
- par changement des façades, pour modifier la taille et l'emplacement des ouvertures,
- par changement des planchers pour réaliser le vide vertical.

Le travail a été fait à partir d'une seule maquette au 1/25, afin de respecter les gabarits de la Mirror-Box et du soleil mécanique.

L'inconvénient de cette solution fut la taille résultante de la pièce étudiée, trop petite pour l'équiper d'un nombre important de capteurs et pour avoir des angles de vue variés pour des captures vidéo.

EXPÉRIENCES – RÉSULTATS

Expérience 1 : Modification de la réflexion des murs de la cour.

Dans le projet de Christ et Gantenbein, les façades sont réalisées par un doublage en briques grises, foncées en bas et s'éclaircissant graduellement vers le haut. (Les deux morceaux de façade du Mock-Up reconstituent la situation en les juxtaposant latéralement plutôt que verticalement, comme il est visible sur la Fig. 9).

Pour mettre en évidence le rôle de la cour dans l'éclairage du hall souterrain, deux situations ont été comparées :

1. Une situation «initiale», avec les parois noires réfléchissantes (réflexion diffuse)
2. une situation modifiée avec les parois blanches.

La maquette a été placée dans la Mirror-Box et instrumentée avec des luxmètres, (voir Fig.24).

Des capteurs ont été placés dans le hall souterrain (2, 3, 4, 8, cases roses du tableau), et au rez-de-chaussée (11,13, cases bleues) pour mesurer les variations d'éclairage.

Un capteur de référence placé à l'extérieur mesure l'éclairage de la source. Trois autres capteurs (6, 7, 12, cases jaunes), mesurent l'éclairage dans la cour (6), et sur les murs de la cour (7,12).

Le tableau suivant permet de comparer des valeurs relatives, du Facteur Lumière du Jour (FLJ), obtenues dans les deux situations.

N° Capteur	2	3	4	6	7	8	11	12	13
1. Cour noire (N)	1,0	0,1	1,0	31,1	17,9	1,0	0,1	4,7	0,5
2. Cour blanche (B)	2,8	0,4	3,2	39,9	30,6	2,1	0,1	19,4	0,8

Fig.26. Tableau de comparaison du FLJ, Expérience 2.

Quand les murs de la cour sont blancs, les capteurs des parois verticales (capt. 7,12), montrent un accroissement très important de l'éclairage, notamment celui du mur mitoyen, ce qui laisse supposer un gain potentiel pour l'ouverture située en face. C'est ce que relèvent les capteurs du hall (capt. 2, 8, 4).

Dans la configuration 2, le mur du hall menant à l'escalier (capt. 4), serait légèrement plus éclairé que celui qui lui fait face, (capt. 2), (probablement en raison de l'orientation du mur vers l'ouverture).

Au pied de l'escalier l'éclairage est faible et varie peu dans l'une et l'autre situation, (capt.3).

Cette expérience n'influence pas l'éclairage du rez-de-chaussée.

N° Capteur	2	3	4	6	7	8	11	12	13
3. Vide (N)	1,7	0,9	2,2	30,3	18,0	2,9	0,1	4,5	0,5
4. Vide (B)	4,0	1,9	5,4	39,2	28,0	6,1	0,1	19,5	0,9
5. Fenêtre verticale (N)	2,9	2,0	4,1	30,2	18,2	6,1	0,1	5,4	2,3
6. Fenêtre verticale (B)	4,5	2,2	6,6	39,2	36,2	6,9	0,1	19,2	2,7
7. Fente (N)	5,6	2,4	7,5	40,8	27,3	10,5	0,1	19,1	4,8

Fig.29. Tableau de comparaison du FLJ, Expérience 2.

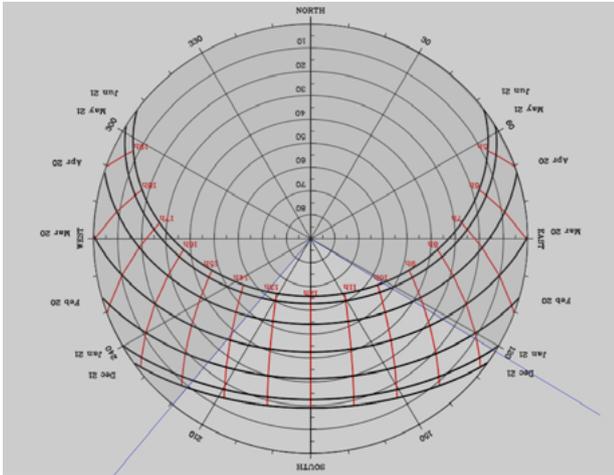


Fig.30. Diagramme solaire de la latitude de Bâle, avec représentation des orientations des façades sur cour.



Fig.31. Masques solaires des murs de la cour sur la fenêtre du hall souterrain. 21 décembre 13h00

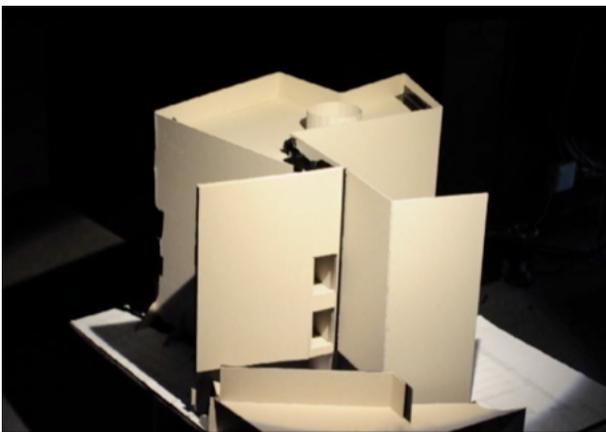


Fig.32. Façades ensoleillées en juin.

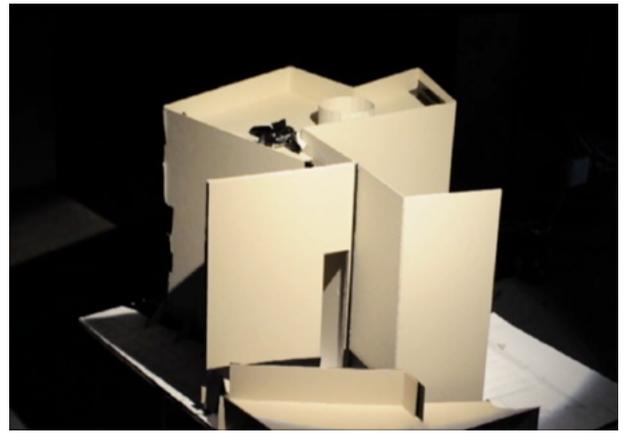


Fig.33. Façades ensoleillées en juin. Fenêtre verticale et vide intérieur.



Fig.34. Pénétration des rayons solaires dans le hall souterrain, jusqu'au pied de l'escalier. Fenêtre verticale et vide le long de la façade. 21 juin.



Fig.35. Pénétration des rayons solaires dans le hall souterrain. Fenêtre verticale et vide le long de la façade. 21 mars.

Expérience 2 : Modification des ouvertures en façade et création d'un vide vertical.

Le plan de la Fig. 15 montre qu'il existe une possibilité d'interrompre les planchers des étages au droit des entrées des galeries d'exposition, sans rejoindre la façade. On retrouve ainsi l'image du concours (Fig. 10), qui éclairerait plus largement le hall souterrain et celui du rez-de-chaussée, et en intériorisant moins ces espaces, grâce à une large vue vers l'intérieur de l'îlot. (Sans savoir néanmoins si cela est compatible avec les intentions des architectes). Cinq nouvelles situations ont été analysées, en modifiant le type d'ouverture, et en faisant varier la couleur de la cour, comme dans la première manipulation :

3. Création du vide sans changer les ouvertures en façade, cour noire,
4. Situation précédente avec cour blanche,
5. Modification de la façade, avec ouverture verticale supplémentaire niveau 1, (Fig. 31), cour noire,
6. Situation précédente, cour blanche,
7. Fente verticale toute hauteur, (Fig.33).

Les capteurs ont gardé la même place que dans la manipulation précédente.

Une première comparaison peut être faite entre la situation initiale 1, avec la situation 1, créant un vide : l'éclairage sur le sol et les murs s'accroît de plus de 60%. La lumière naturelle qui était initialement pratiquement inexistante au pied de l'escalier (capt. 3), commence à jouer un rôle fonctionnel : 80 lx dans les conditions de l'expérience, ce qui correspondrait à l'échelle de valeurs recommandées pour une simple circulation située entre 50 lx et 150 lx. Un niveau de lumière plus qualitatif serait sans doute de 250 lx si l'on veut éviter un contraste trop fort avec les galeries d'exposition (niveau moyen dans le musée existant relevé par le LaboLumière en mars 2014 : 350 lx).

Le recours à un complément de lumière artificielle est donc souhaitable.

Dans l'hypothèse d'une cour blanche (situation 4), l'éclairage s'accroît nettement (4 fois plus que dans la situation initiale). Le gain est particulièrement appréciable au pied de l'escalier (capt. 3), qui dans la situation de l'expérience relève 163 lx, soit 18 fois la valeur initiale.

Bien évidemment, une fente verticale, à la place des fenêtres superposées augmente encore les possibilités d'éclairage. Le ciel diffus de la Mirror-Box apporte environ 8200 lx, ce qui est une simulation d'un ciel couvert. L'ouverture étant tournée vers le Sud-Est, pourrait capter des valeurs plus importantes. Dans l'hypothèse d'un soleil direct de 80 000 lx, par exemple un FLJ de 5,6% (situation 6 au capt. 2), apporterait 4480 lx et impliquerait l'installation de protections solaires.

Expérience 3 : pénétration de rayonnement solaire direct.

La façade du hall est ouverte vers le Sud-Est. Il y a donc des possibilités de pénétrations de rayonnements directs qui peuvent être un élément d'animation de cet espace et qui peuvent aussi être source de gêne (aveuglement ou surchauffe).

Le diagramme solaire montre un potentiel important :

- 7 h00 d'ensoleillement le 21 décembre, avec des rayonnements bas, inférieurs à 20°,
- 5h30 le 21 mars avec des hauteurs de rayonnement supérieures à 40°
- 3h30 le 21 juin, avec des hauteurs de rayonnement supérieures à 60°.

Ce potentiel est purement théorique puisqu'à certains moments de l'année le pan de la façade adjacente orientée vers le Sud-Ouest peut constituer un masque solaire. La situation enterrée du hall et l'emplacement de cette partie de bâtiment en cœur d'îlot peuvent aussi masquer les rayonnements solaires à certains moments de l'année. La maquette placée sous le Soleil Mécanique a permis de visualiser ces situations. En déclinant les mêmes variantes que dans les manipulations dans la Mirror-Box, on a pu voir aussi la relation entre les dispositifs de captation de la lumière et les effets obtenus.

Ce travail est documenté par des photographies et des vidéos.

Les images de la Fig. 31 montre nettement comment les murs de la cour peuvent masquer les rayonnements matinaux, dans le hall souterrain alors qu'ils peuvent pénétrer au rez-de-chaussée ou à l'étage.

La configuration avec la fenêtre verticale et le vide intérieure entraînerait à certains moments, en matinée une pénétration profonde des rayons solaires, y compris jusque dans le hall souterrain, au pied de l'escalier (Fig. 34).

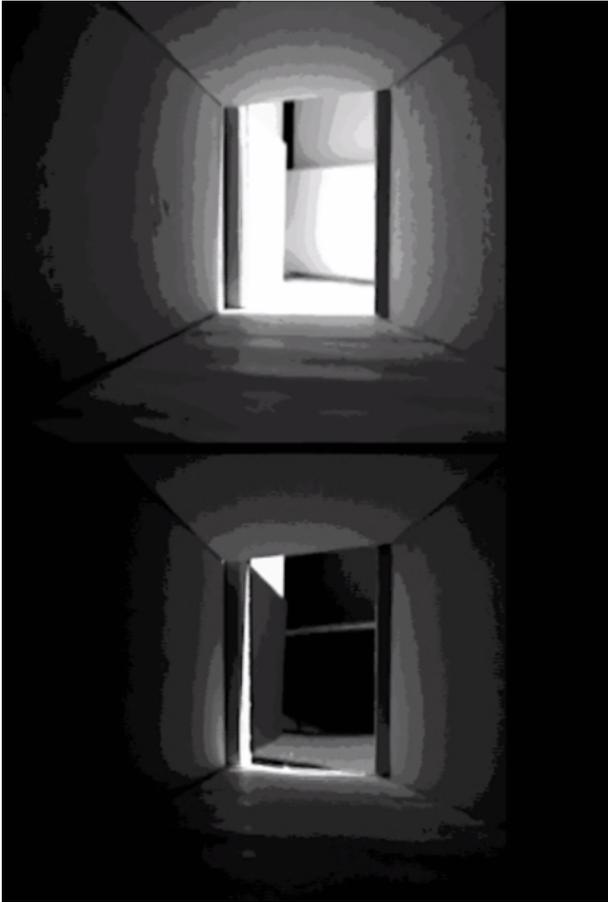


Fig.36. Visualisation de l'effet de réflexion de la cour, pour la pénétration de la lumière dans le hall souterrain. Murs blancs (en haut) et murs noirs (en bas). Filtre Photoshop isohélie appliquée à une photo NB.



Fig.37. Valério Olgiatti - École de Paspels.

CONCLUSIONS

Le travail a démontré qu'il fallait considérer le dispositif pour capter et transmettre la lumière dans le hall souterrain, comme un ensemble où l'ouverture et la cour sont indissociables.

Comme exercice pédagogique, l'étude était forcément limitée. Notamment le rôle de transmission de la lumière de chaque paroi et du sol aurait pu être démontré en détail. De même, les moments où le rayonnement direct est possible auraient pu être mieux caractérisés.

Dans le hall souterrain, les réflexions sur les murs, le sol et le plafond situés dans la zone proche de l'ouverture jouent un rôle important dans la transmission de la lumière vers le fond de la pièce (départ de l'escalier), (Fig.36), la nature des matériaux, la géométrie des murs auraient pu faire l'objet d'un questionnement plus abouti.

La création d'un vide et d'une baie verticale est intéressante si l'on cherche à éclairer les lieux en profondeur. C'est aussi une situation intéressante parce que la baie est proche des murs et la lumière accompagne les parois des deux maisons. Le visiteur peut alors avoir la sensation d'être dans un conduit de lumière. C'est une situation dont Valério Olgiatti avait particulièrement tiré parti dans l'école de Paspels, (Fig.37)

La lumière captée par la baie verticale permettrait aussi de ressentir, dans ce lieu de transition entre les galeries, les variations lumineuses de l'extérieur, et en faire un élément d'agrément.

On remarquera enfin que la sensation provenant des matériaux dans la lumière n'a bien sûr pas pu être approchée dans ce genre d'étude. C'est pourtant un élément important de la perception de l'espace si l'on se réfère au Kunstmuseum existant. Seuls les essais en vraie grandeur (Mock-up), permettrait sans doute de le faire.

2

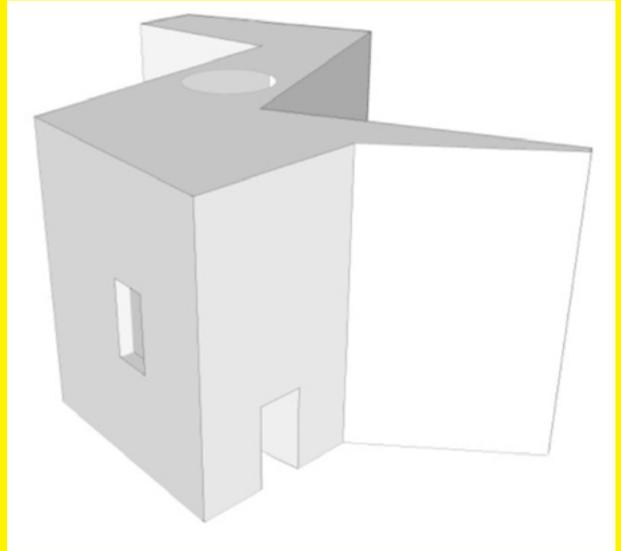


Fig.38. Situation 1 : état initial.

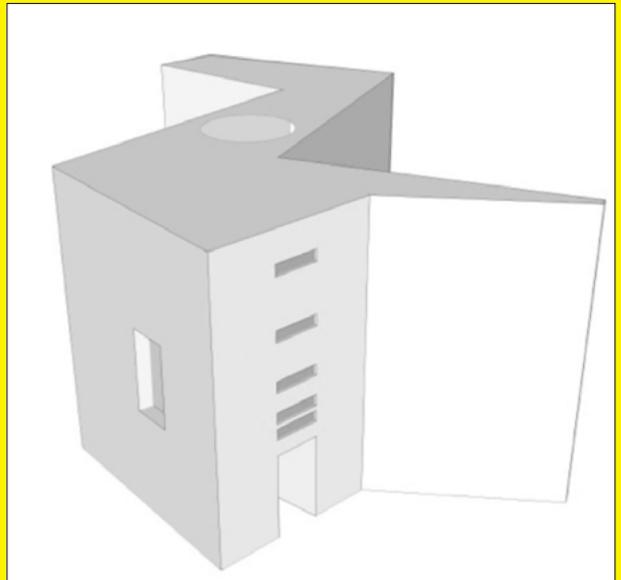


Fig.39. Situation 2 : ajout d'ouvertures latérales.

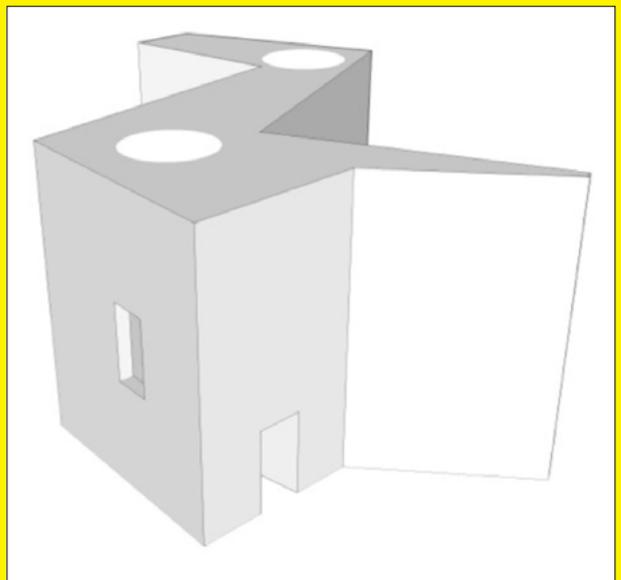


Fig.40. Situation 3 : 2 lanternes circulaires.

OBJET D'ÉTUDE 2 : ESCALIER.

CALIFANO ANDREA, COLOMBO CHRISTOPHE, GAY AURÉLIEN, VERA RUIZ DIEGO.

CARACTÉRISATION DU CAS ANALYSÉ

L'escalier est situé au centre du bâtiment. Il est contenu dans un espace qui est à la fois le vide vertical qui met en liaison les étages du musée et l'espace de desserte direct des galeries, sans couloirs ni corridors. L'éclairage est essentiellement zénithal, provenant d'un lanterneau circulaire, d'un diamètre de 4,70 m, évoquant ceux du musée existant.

Au premier étage chaque palier est éclairé par une fenêtre en façade. Il n'y a pas d'ouverture en façade au deuxième étage.

Organisation de l'étude :

La première question posée est la caractérisation de l'ambiance lumineuse, en simulant les rares ouvertures et les parois peu réfléchissantes des murs, (crépi gris ciment). On a particulièrement observé les surfaces susceptibles d'être touchées par les rayons solaires.

En effet la présence et le mouvement des taches de lumière participe à l'animation et à l'agrément de ce lieu : coloration changeante de la lumière, perception des variations météorologiques et donc de l'extérieur, possibilité d'ombres et de projections de lumière, rendu plus ou moins contrasté ou nuancé de l'espace et des volumes architecturaux,...

Une autre question est la participation de la lumière à la lisibilité des deux maisons qui contiennent les galeries, et qui sont une substance essentielle du projet.

Hypothèses :

Pour répondre à ces deux questions, les manipulations proposent de faire varier les dispositifs de captation de la lumière, en les comparant au dispositif initial :

- 1. Deux lanerneaux circulaires situés au-dessus des paliers,
- 2. Deux fentes en toiture au-dessus des deux murs de l'escalier,
- 3. Des ouvertures en façade Ouest dans le prolongement de la porte d'entrée.

Des variations supplémentaires sont réalisées en combinant ces dispositifs.

Chaque expérimentation est menée avec le Soleil Mécanique pour visualiser les moments de pénétration des rayons solaires et dans la Mirror-Box pour relever la répartition de la lumière naturelle. Des simulations avec le logiciel Velux Daylight Visualizer, (VDV), permettent d'observer l'effet de surfaces réfléchissantes, avec un coefficient de réflexion proche de la réalisation, en comparaison avec des surfaces blanc mate.

Maquette :

La maquette au 1/25 est réalisée en carton gris.

La toiture et la façade ouest sont modifiables pour créer six situations expérimentales.

Les conditions d'observations restent constantes :

- Mêmes points de vue des caméras pendant les expérimentations sous le Soleil Mécanique,
- Mêmes emplacements des luxmètres pour les expérimentations dans la Mirror-Box.

EXPÉRIENCES

Situation 1 : simulation de l'état initial.

Description du dispositif de captation de la lumière : l'éclairage de la cage d'escalier est prévu initialement à partir de quatre ouvertures réparties sur les façades, aux différents niveaux et la toiture :

- Fenêtre façade Nord : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Fenêtre Est : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Porte intérieure Ouest : 2,87 x 4,30 m, soit 12,34 m²
- Lanterneau circulaire en toiture : 1 8,00 m²

La surface totale des ouvertures, dans le dispositif initial, représente 50,04 m².

Situation 2 : Variation avec fenêtres supplémentaires à l'ouest.

Description du dispositif de captation de la lumière : cinq fenêtres horizontales sur la façade Ouest sont rajoutées au dispositif initial. Cette variante cherche à mettre en évidence l'effet obtenu en éclairant d'avantage le palier de desserte des galeries d'exposition par des prises de lumière latérales.

Le dispositif est donc le suivant :

- Fenêtre façade Nord : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Fenêtre Est : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Porte intérieure Ouest 2,87 x 4,30 m, soit 12,34 m²
- Cinq fenêtres Ouest 5 X 2,87 x 0,70 m, soit 10,04 m²
- Lanterneau circulaire en toiture : 1 8,00 m²

La surface totale des ouvertures représente 60,14 m², soit une augmentation d'environ 20% de la surface captante, par rapport au dispositif initial.

Situation 3 : Variation avec deux lanerneaux de toiture.

Description du dispositif de captation de la lumière : le lanterneau circulaire initialement en position centrale est remplacé par deux lanerneaux de même taille que celui du projet de Christ et Gantenbein. Cette variante cherche à mettre en évidence l'effet du déplacement de la source vers les paliers plutôt qu'à l'aplomb de la trémie.

Le dispositif est donc le suivant :

- Fenêtre façade Nord : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²

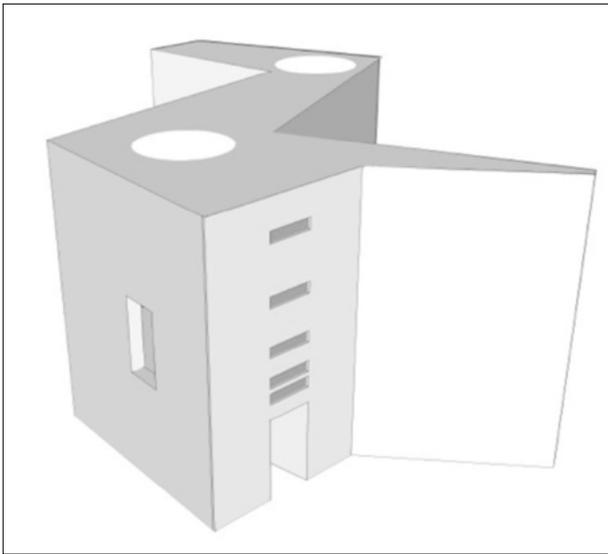


Fig.41. Situation 4 : 2 lanternneaux circulaires et fenêtres.

- Fenêtre Est : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Porte intérieure Ouest : 2,87 x 4,30 m, soit 12,34 m²
- Deux lanternneaux circulaire en toiture : 36,00 m²

La surface totale des ouvertures représente 68,14 m², soit une augmentation de plus de 35% de la surface captante, par rapport au dispositif initial.

Situation 4 : Variation avec deux lanternneaux de toiture et des fenêtres à l'ouest.

Description du dispositif de captation de la lumière : cette situation cumule les dispositifs des expériences 2 et 3.

Le dispositif est donc le suivant :

- Fenêtre façade Nord : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Fenêtre Est : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Porte intérieure Ouest : 2,87 x 4,30 m, soit 12,34 m²
- Cinq fenêtres Ouest 5 X 2,87 x 0,70 m, soit 10,04 m²
- Deux lanternneaux circulaire en toiture : 36,00 m²

La surface totale des ouvertures représente 78,14 m², soit une augmentation de plus de 55% de la surface captante, par rapport au dispositif initial.

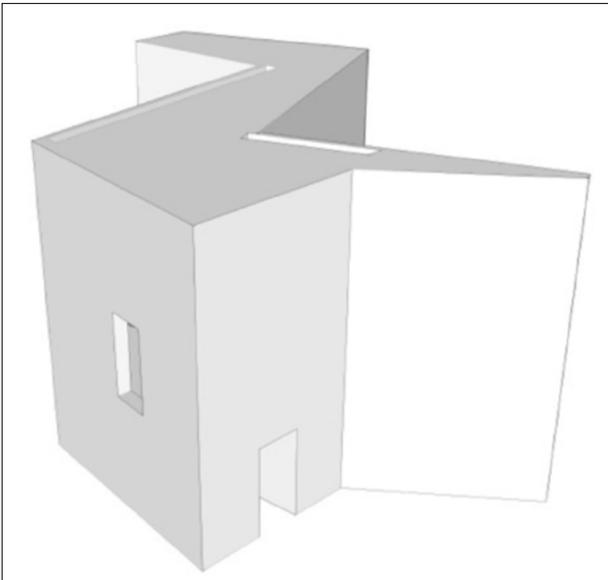


Fig.42. Situation 5 : 2 lanternneaux linéaires.

Situation 5 : Variation avec deux fentes en toiture.

Description du dispositif de captation de la lumière : le lanternneau circulaire est supprimé et remplacé par deux lanternneaux linéaires situées au droit des murs qui limitent la cage d'escalier. Cette expérience cherche à vérifier un dispositif de mise en valeur des murs des deux maisons.

Le dispositif est donc le suivant :

- Fenêtre façade Nord : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Fenêtre Est : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Porte intérieure Ouest : 2,87 x 4,30 m, soit 12,34 m²
- Deux lanternneaux linéaires en toiture : 1,00 x 7,40 m et 1,00 x 20,00 m, soit 6,00 m²

La surface totale des ouvertures représente 59,04 m², soit une surface captante comparable à celle de la situation initiale.

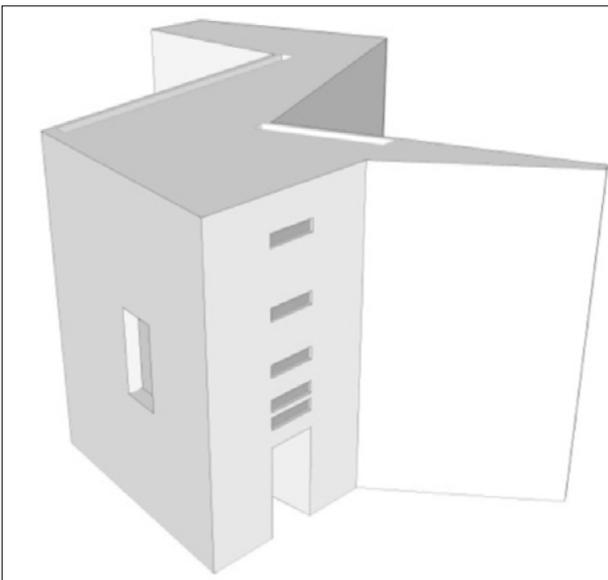


Fig.43. Situation 6 : 2 lanternneaux linéaires et fenêtres.

Situation 6 : Variation avec deux fentes en toiture et des fenêtres façades Ouest.

Description du dispositif de captation de la lumière : cette situation cumule les apports lumineux de la situation précédente et celle de l'expérimentation 2. Cette expérience est celle qui contredit le plus l'hypothèse des architectes. Elle interroge sur l'influence du choix du dispositif de captage de la lumière naturelle dans la définition du langage architectural.

Le dispositif est donc le suivant :

- Fenêtre façade Nord : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Fenêtre Est : 2,20 x 4,46 m, soit 9,90 m²
- Porte intérieure Ouest : 2,87 x 4,30 m, soit 12,34 m²
- Cinq fenêtres Ouest 5 X 2,87 x 0,70 m, soit 10,04 m²
- Deux lanternneaux linéaires en toiture : 1,00 x 7,40 m et 1,00 x 20,00 m, soit 6,00 m²

La surface totale des ouvertures, dans le dispositif initial, représente 69,04 m², augmentant la surface captante de plus de 35% par rapport à la situation initiale, du même ordre de grandeur que l'expérience 3, avec deux lanternneaux circulaires en toiture.

RÉSULTATS

Un travail d'observations systématiques a été mené à partir d'enregistrements vidéo dans la maquette. Des images informatiques ont été réalisées parallèlement pour améliorer les représentations limitées par les angles de vue dans une maquette grande globalement mais limitée au regard du matériel de prise de vue.

(A partir du logiciel Velux Daylight Visualizer – VDV, intensité de l'éclairage traduit par des fausses couleurs). Ces observations systématiques ont permis d'obtenir des informations comparatives sur les surfaces éclairées, à des moments précis, (répartition de la lumière produite par un dispositif de captation), et la valeur de l'éclairage.

Seules quelques unes parmi les plus démonstratives sont montrées dans ce document.

Rappelons que la base de ces études de pénétration du rayonnement solaire dans l'édifice est le Temps Solaire Vrai, (TSV), et non pas le temps de la montre, en décalage d'une ou deux heures selon les saisons et qui devrait aussi être corrigé par rapport au temps zéro du méridien de Greenwich.

La Fig. 46 montre, par exemple, une comparaison entre la situation 1 initiale et la situation 5, avec deux lanterneaux linéaires placés au droit des murs.

Les observations sont faites au solstice d'été, lorsque la hauteur du soleil est maximale.

La répartition de la lumière peut être caractérisée à partir des effets obtenus par les taches solaires : projection de la découpe de l'ouverture sur les surfaces qui limitent l'espace. Dans la situation initiale, avec un lanterneau circulaire, on observe bien l'effet « Panthéon », avec une tache solaire circulaire très identifiable qui se déplace selon les heures de la journée et les étages, sur les murs, les marches de l'escalier ou le sol. A ce moment de l'année le vide de l'escalier laisse en effet passer les rayons solaires jusqu'au rez-de-chaussée, vers midi. Le déplacement de la tache solaire sera certainement une marque de l'ambiance lumineuse dans l'espace de l'escalier.

A l'étage supérieur, on observe la réflexion importante de la lumière sur le mur opposé à celui qui reçoit les rayons directement. Son rôle dans la transmission de la lumière dans l'ensemble de l'espace sera essentiel et plus ou moins accentué selon le coefficient de réflexion du matériau utilisé.

Au rez-de-chaussée, les observations soulignent le rôle du vide de l'escalier pour transmettre la lumière jusqu'à ce niveau avec des réflexions sur une partie de la sous-face de l'escalier et les garde-corps.

Le fonctionnement de la situation 5 est particulièrement bien visible à l'étage supérieur : le matin, le mur « ouest » est fortement éclairé, par la fente située au dessus de lui et par celle située en face ; le soir, seule la fente située au dessus du mur éclaire le mur. (Voir Fig. 44 l'orientation des rayons solaires sur le diagramme solaire avec tracé des

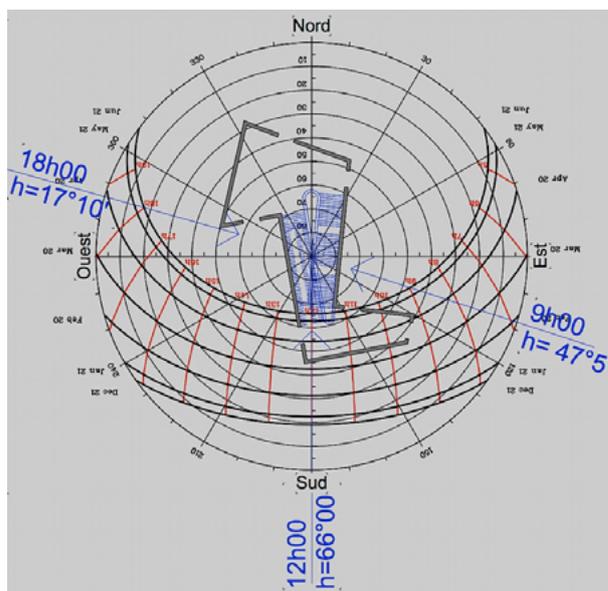


Fig.44. Diagramme solaire de Bâle – superposition de la cage d'escalier. En bleu, indication des hauteurs et des azimuts le 21 juin.

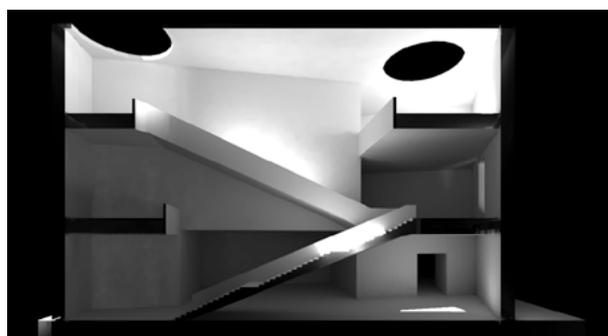


Fig.45. Situation 3 : 2 lanterneaux circulaires. 21 juin-12h00.

murs de la cage d'escalier). Contrairement à la situation initiale, celle-ci éclaire fortement les paliers de l'étage supérieur qui réfléchissent la lumière sur le plafond. Vers midi, en été, en raison de l'orientation des fentes proche de la direction Nord-Sud, les rayons solaires n'atteignent pas les murs de l'étage supérieur ; ils éclairent plutôt les marches de l'escalier (étage 1), et le mur qui le borde, provoquant ainsi des réflexions vers la sous-face de l'autre volée d'escalier. L'image du rez-de-chaussée à midi montre aussi la pénétration de la lumière jusqu'au sol à travers le vide de l'escalier et met en évidence la réflexion de la lumière sur les murs et sous-faces des escaliers. On peut remarquer encore que les deux situations analysées qui ont des surfaces captantes comparables aboutissent à des ambiances différentes, si l'on observe l'effet de contraste entre l'étage supérieur et les autres niveaux, particulièrement marqué dans la situation 5 en comparaison avec la situation initiale.

Dans la recherche pour capturer les rayons solaires directs, la situation 3, avec deux lanterneaux circulaires se révèle peu avantageuse en raison de l'implantation des trous au dessus des paliers ne laissant passer les rayons solaires vers les niveaux inférieurs qu'à de rares moments, Fig. 45.

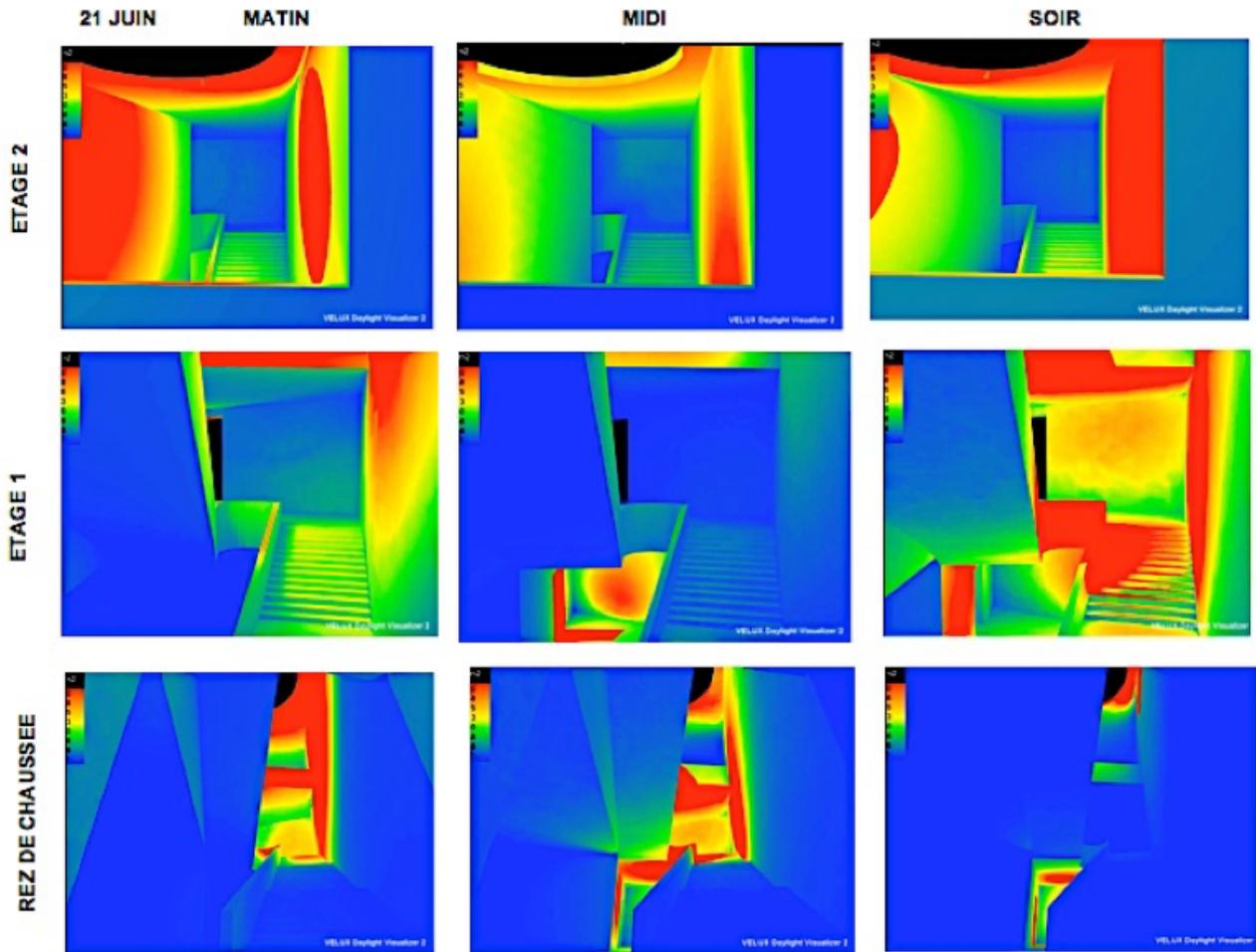
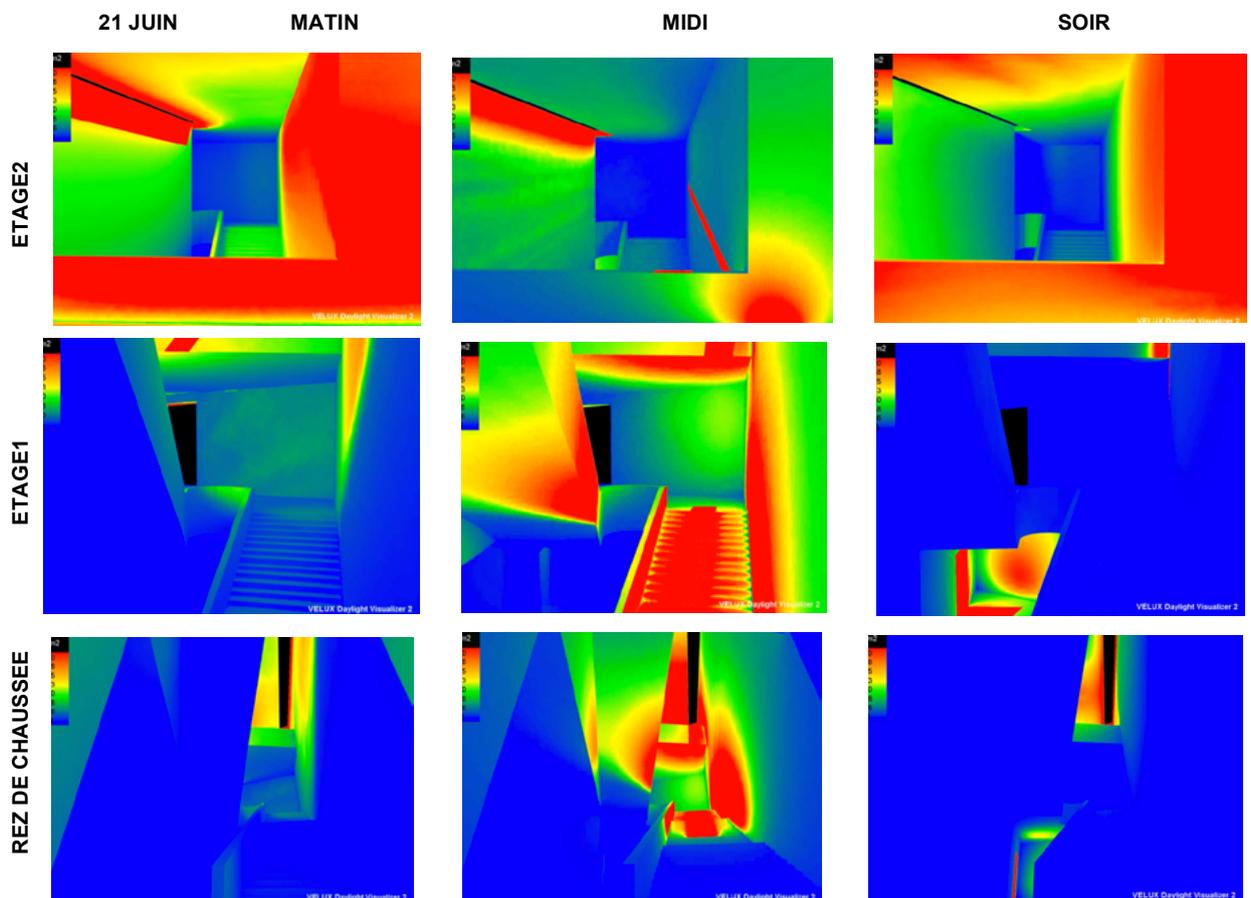


Fig.46. Ci-dessus : Situation initiale, le 21 juin sous 3 angles de vue, et à 3 moments de la journée
 Ci-dessous : Situation 5, lanternes linéaires, sous les mêmes angles - Simulation VDV.



ZONES DE LUMIÈRE.

Dans la Mirror-Box la maquette a été équipée de luxmètres pour tenter de mettre en évidence la répartition de la lumière dans l'espace de la cage d'escalier, dans les conditions d'un ciel couvert (lumière diffuse)¹². Des capteurs sont disposés sur les sols et les parois selon le schéma de la Fig.49. Rappelons que le ciel diffus de la Mirror-Box apporte environ 8200 lx.

Plus particulièrement, il est intéressant d'observer les variations de l'éclairement pour chacune des six situations :

- sur les murs, capteurs 4-10 (Est), 11-13 (Ouest),
- sur les paliers, capteurs 1 (Sud), 3 -12 (Nord).

L'observation principale concerne le relevé des contrastes mis en rapport avec les dispositifs de captation de la lumière.

La situation initiale, avec un lanterneau circulaire (S1), produit des différences importantes, avec plus de 2300 lx relevés en haut du mur Est et 1300 lx relevés en haut du mur Ouest. Les autres capteurs placés aux étages inférieurs font apparaître des valeurs nettement plus faibles allant de 88 à 178 lx. Ce fort écart de valeurs entre le haut et le bas caractérise ce dispositif de captation de la lumière, (Fig.47).

La situation avec deux lanterneaux (S3), accentue les différences entre la lumière reçue par les paliers les plus hauts, avec des valeurs avoisinant les 2000 lx, soit près de 17 fois plus que la situation initiale. (Rappelons ici l'augmentation de surface captante de plus de 35% par rapport à la situation initiale). A l'inverse, la lumière atteignant le mur Est reste dans des valeurs nettement plus faibles que dans le cas précédent (5% en haut du mur). Le dispositif de captation de la lumière avec les deux lanterneaux placé au-dessus des paliers accentue les écarts entre les zones du dernier étage et celles des étages inférieurs puisqu'elles ne bénéficient pas de la possibilité de conduire la lumière vers le bas à travers le vide de l'escalier.

La situation (S5), avec deux lanterneaux linéaires placés au dessus des deux murs crée un éclairage beaucoup plus uniforme et beaucoup moins intense : les valeurs relevées sont comprises dans une fourchette de 101 lx à 246 lx seulement, soit près de 10 fois moins que la solution initiale. On peut remarquer que dans cette situation de lumières plus faibles, on distingue mieux l'effet de la fenêtre de la façade Sud (Capt. 6).

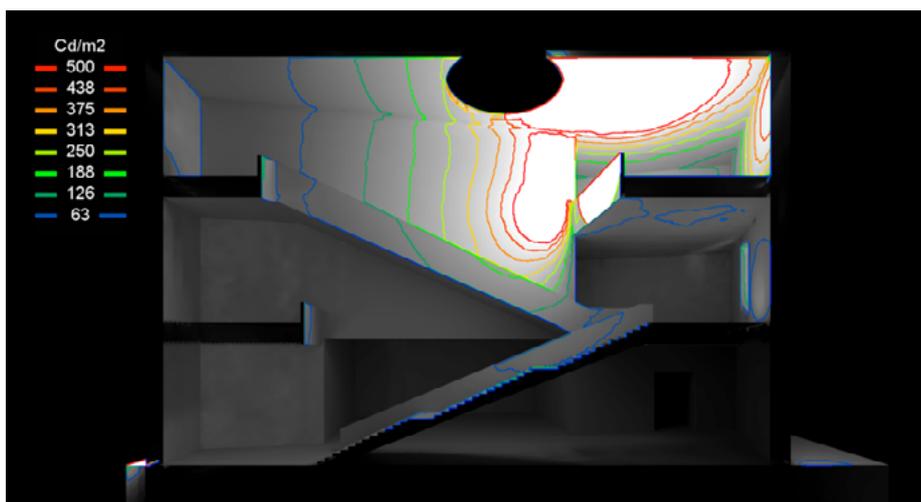


Fig.47. Visualisation de la répartition de la lumière en coupe. Simulation VDV.

CONCLUSIONS

L'étude prenait en référence une architecture comme celle de Tadao Ando, où les entrées de lumière sont proches des murs en provoquant des effets de conduction de la lumière sur les parois, en donnant beaucoup d'importance aux limites de l'espace notamment à travers la perception des matériaux (principalement le béton), (Fig.48).

L'étude de cas a mis en évidence que l'efficacité d'un tel système dépend de la proximité des murs avec la source de lumière. Lorsque cette distance augmente, l'effet devient évidemment moins perceptible. On a pu aussi observer que ce dispositif est peu efficace verticalement, pour éclairer plusieurs étages.

Dans des conditions similaires, Tadao Ando a d'ailleurs eu recours à un lanterneau central circulaire plutôt qu'à un système d'éclairage le long des murs, (Fig.48).

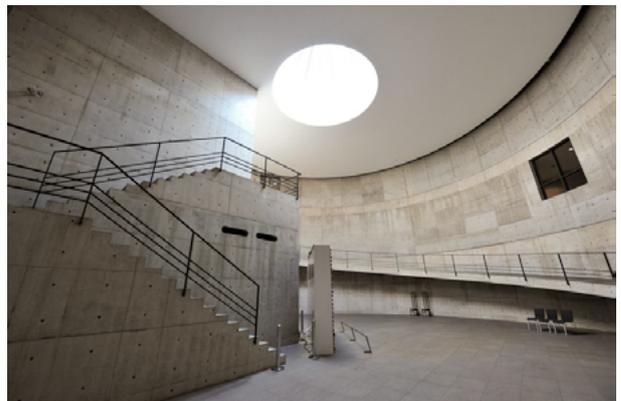


Fig.48. Tadao Ando : Chichu Art Museum (haut), Benesse Museum (bas).

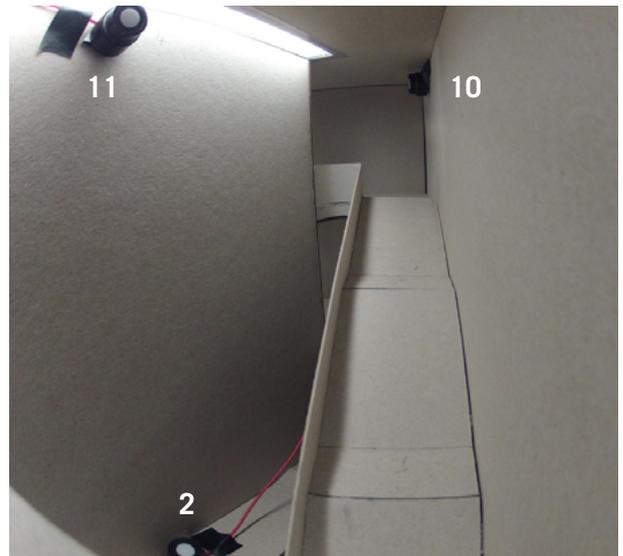
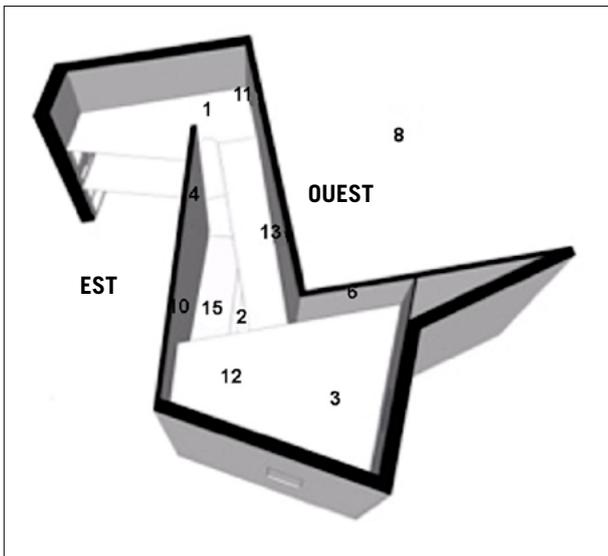


Fig.49. Implantation des capteurs dans la maquette sous le ciel artificiel de la Mirror Box.

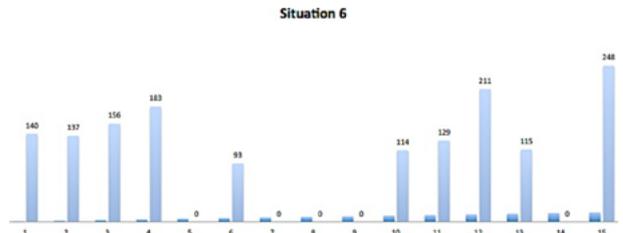
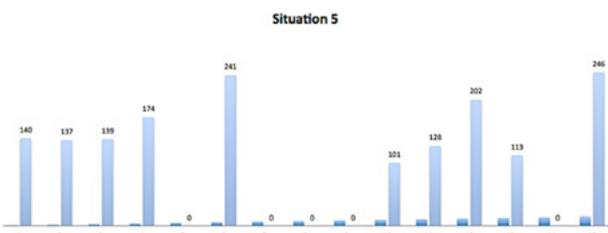
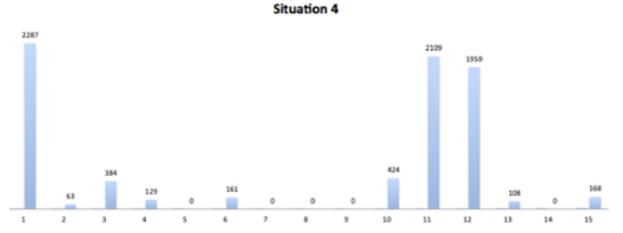
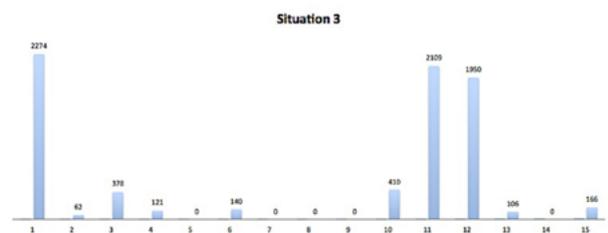
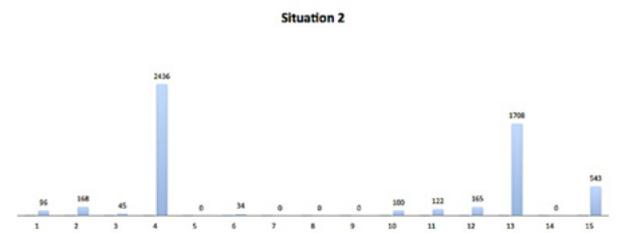
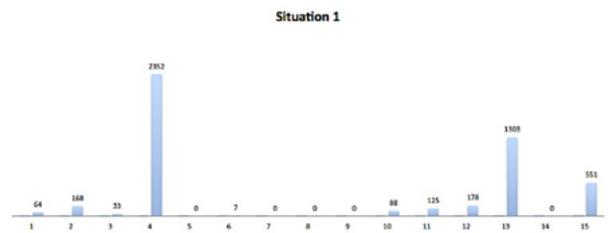


Fig.49. Tableaux des valeurs enregistrées.

3

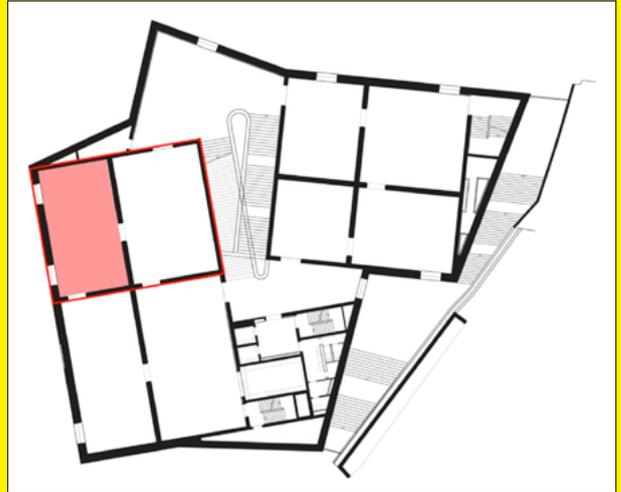


Fig.50. En rouge, zone étudiée.

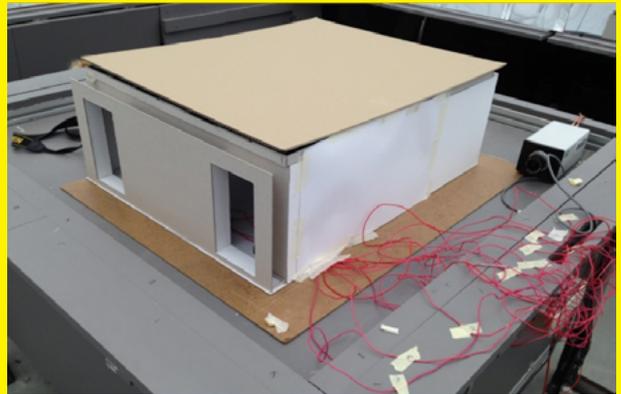


Fig.51. Maquette de l'état initial, avec 2 ouvertures verticales.

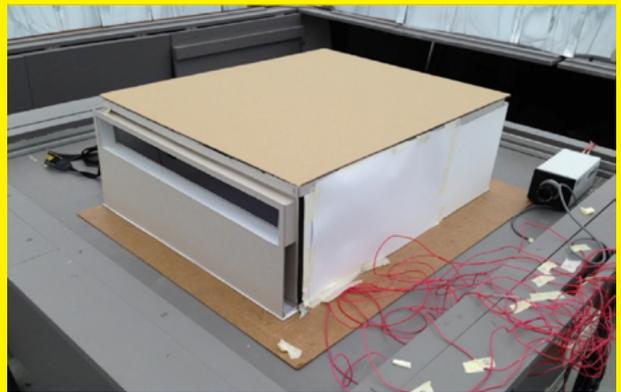


Fig.52. Haut-jour.

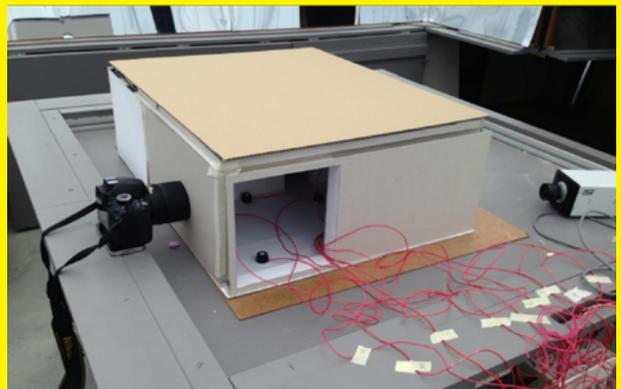


Fig.53. Une seule grande ouverture carrée

OBJET D'ÉTUDE 3 : LES GALERIES D'EXPOSITION DU PREMIER ÉTAGE.

**BRICHTOVA PAULINA, GRAVIA PIMENTA,
KRAPP HANNA, SLAPAK MARIAN,
ZIMMERMANN JULIA.**

CARACTÉRISATION DU CAS ANALYSÉ

■ Chacune des deux « maisons » contient quatre galeries. L'objet d'étude est la galerie située au nord-ouest, (Fig.50). Cette salle, orientée à l'ouest fait face au musée existant.

Le principe d'éclairage est le suivant :

■ L'éclairage naturel est assuré par deux fenêtres de dimension comparables à celles du musée existant, et situées aux deux angles de la pièce sur le mur de façade, près des murs perpendiculaires. Cette situation laisse une possibilité d'exposition entre les fenêtres, avec sans doute un risque de contre-jour; elle donne aussi certainement de l'importance aux deux angles de la pièce.

■ Un éclairage artificiel linéaire est situé entre les doubles poutres du plafond.

Les surfaces réfléchissantes qui ont servi à l'étude sont : pour les murs des galeries du plâtre peint en blanc et du parquet pour le sol.

ORGANISATION DE L'ÉTUDE

Principe expérimental

Les manipulations ont reposé sur trois variantes de façade en changeant l'emplacement et la forme des ouvertures, à surface égale :

- variante 1, Fig. 50: façade initiale avec deux ouvertures, surface totale 21m².
- variante 2, Fig. 51: haut-jour en longueur, surface totale 21m².
- variante 3, Fig. 52: ouverture carrée accolée à un côté du mur de la salle, surface totale 21m².

Maquette, modélisation

■ Réalisation d'une maquette à l'échelle 1:25, avec trois façades interchangeable.

Matériaux :

- Ossature : carton gris
- Murs à l'intérieur papier blanc
- Plafond: carton gris pour simuler le béton.
- Création d'un modèle numérique pour des simulations avec le logiciel ArchiWizzard.

Hypothèses

Ces trois manipulations permettent de s'interroger:

- sur le rapport entre le dispositif qui capte et transmet la lumière avec les zones lumineuses résultant des différences d'éclairage,
- sur les modifications de l'ambiance lumineuse au fil des saisons, dans chacune des trois situations.



Fig.54. maquette sous le Soleil Mécanique, (façade initiale).



Fig.55. Façade initiale
Valeurs relevées dans la Mirror-Box (en lx).

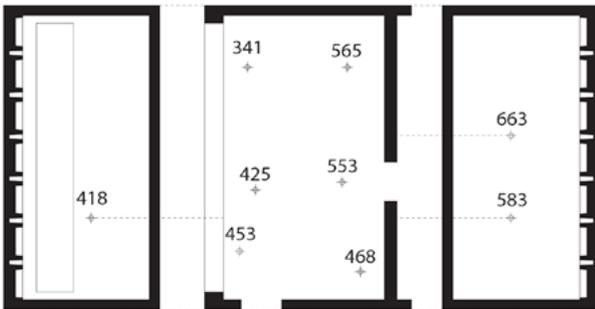


Fig.56. Haut-jour
Valeurs relevées dans la Mirror-Box (en lx).



Fig.57. Grande fenêtre carrée
Valeurs relevées dans la Mirror-Box (en lx).

Le travail expérimental a été mené sur les deux équipements du CSTC :

→ Soleil mécanique

Chacune des trois variantes a été soumise au soleil mécanique pour observer l'effet de la lumière directe à trois dates clés : 21 mars, 21 juin et 21 décembre.

L'expérience a été filmée depuis trois points de vue différents: depuis l'intérieur, depuis le soleil, à l'extérieur.

Les observations sous le soleil mécanique ont mis en évidence les moments où des taches solaires sont possibles, (Fig.58-59-60), avec des conséquences possibles :

- sur la préservation des œuvres si les rayons solaires atteignent les cimaises,
- sur le confort visuel des spectateurs en présence de contraste trop important.

→ Mirror-Box

La maquette était instrumentée avec des luxmètres disposés dans des positions fixes alors qu'étaient changées successivement les trois variantes de façades.

Une expérience complémentaire a consisté à laisser ouverts les intervalles entre les doubles poutres, pour simuler l'effet de la lumière artificielle prévue à cet endroit, (Fig. 62).

Les résultats des observations ont été notés à partir de relevés lumineux et de photographies.

Ils ont été comparés aux simulations informatiques avec ArchiWizzard, à la fois du point de vue quantitatif et du point de vue qualitatif (notamment représentation de la lumière).

LIMITES DE L'EXPÉRIMENTATION

Les résultats devraient être interprétés avec quelques précautions si on veut les confronter à la réalité, en effet :

- les maquettes étudiées ne représentaient que des fragments de la totalité du projet et on peut imaginer que cela pourrait modifier les conditions d'observation,
- les ouvertures de la maquette ne sont pas munies de menuiseries, ni de vitrage, ce qui fausse les mesures, (coefficient de transmission lumineuse d'un double vitrage propre de 75% à 80%),
- les matériaux et les couleurs réels n'ont pas été pris en compte dans la maquette, et les coefficients de réflexion des surfaces sont certainement plus élevés dans la maquette qu'ils le sont dans la réalité, notamment pour le sol réalisé en carton blanc et qui, en réalité, est en parquet.

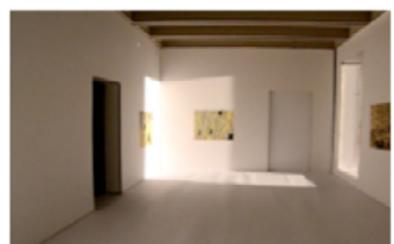
Enfin, les fenêtres de la galerie d'exposition étudiée font face au musée existant, cachant ainsi partiellement le ciel et masquant les rayons solaires à certains moments. (Les effets pourraient d'ailleurs être aussi bien bénéfiques, pour protéger des rayons directs, que négatifs).



21 Décembre



Fig.58. Façade initiale – Après-Midi
21 Mars



21 Juin



21 Décembre



Fig.59. Haut-jour – Après-Midi
21 Mars



21 Juin



21 Décembre



Fig.60. Grande fenêtre carrée – Après-Midi
21 Mars



21 Juin

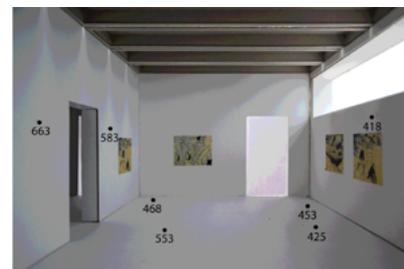


Fig.61. Entrée de lumière naturelle dans l'intervalle des doubles poutres du plafond, le 21 juin vers midi.

Façade initiale



Haut-jour



Grande fenêtre carrée



Fig.62. Simulation de l'éclairage artificiel situé entre les doubles poutres dans la Mirror-Box.



Fig.63. Relevé des valeurs d'éclairément (lx), dans la Mirror-Box.

Soulignons encore les limites des deux dispositifs du CSTC qui ne permettent pas d'observer simultanément, dans la même expérience, les effets de la lumière diffuse du ciel et de la lumière directe du soleil. Le manque de réalisme de la perception qui en découle est sans doute une limite dans la simulation des ambiances lumineuses avec ces équipements.

OBSERVATIONS

1. Un premier type d'observations concerne les apports lumineux sur les œuvres d'art. Les Fig. 58-59-60 montrent qu'un des problèmes importants est la pénétration du rayonnement solaire direct sur les surfaces d'exposition, en fin d'après-midi. Aucune des trois variantes de façade ne semble être plus avantageuse de ce point de vue. Si la répartition de la lumière dans la pièce change, les surfaces d'exposition atteintes par le rayonnement solaire direct ne semblent pas varier considérablement.

Ce rayonnement solaire pourrait être dommageable pour les œuvres d'art. En effet les valeurs relevées dans la Mirror-Box, en lumière diffuse, dépassent largement les 200 lx recommandés pour la peinture à l'huile par exemple, (Fig. 55-56-57).

La proximité des fenêtres est sans doute très critique comme lieu d'exposition puisqu'on y a relevé 1400 lx et 1756 lx, (situation initiale), à 1600 lx (grande fenêtre carrée). Comme la pièce n'est pas très profonde, le haut-jour crée une situation plus uniforme que les deux autres situations. Dans ce cas, même l'allège située sous le bandeau vitré garde un niveau correct d'éclairage (418 lx, comparés aux 583 lx et 683 lx sur le mur qui fait face à la baie).

L'étude ne peut pourtant pas quantifier précisément le risque, puisqu'elle n'intègre ni les coefficients de transmission des vitrages, ni les coefficients de réflexion des parois. Pour apprécier le risque, il serait aussi nécessaire de connaître les niveaux annuels d'éclairage, notamment par des simulations informatiques intégrant des données statistiques météorologiques.

La valeur d'éclairage entre les zones proches des fenêtres dépasse 4 fois celle des zones d'exposition, dans la situation initiale et celle de la grande fenêtre carrée. Ce contraste élevé pourrait être à l'origine de situations d'éblouissement des visiteurs¹³. Les Fig. 58-59-60 montrent que les taches solaires peuvent se trouver dans le champ visuel et rendre très inconfortable la visite de l'exposition. En dehors des moments de rayonnement direct, (Fig. 59), le haut-jour produit un éclairage plus uniforme.

2. Un deuxième type d'observations porte sur la perception de l'espace qui diffère en fonction des différents dispositifs d'éclairage.

Les manipulations à partir des trois façades partent en effet du constat que dans chacune des deux maisons qui

constitue le musée, les quatre galeries sont des espaces semblables qui diffèrent essentiellement par l'emplacement et le nombre de portes et fenêtres.

Aussi les manipulations tentent de caractériser les espaces à partir des zones de lumière produite par chacun des trois dispositifs.

Il a été dit plus haut que la façade en haut jour produit un éclairage très uniforme, tandis que les deux autres solutions déterminent des sous espaces, à proximité des fenêtres, largement plus éclairés que le reste de la pièce. Ces situations pourraient être avantageuses du point de vue scénographique, pour mettre en valeur une œuvre, ou attirer le regard de manière naturelle vers un objet d'art singulier. La simulation de la répartition du Facteur de Lumière du Jour (FLJ), dans la configuration initiale montre également les zones focales découlant des ouvertures (Fig. 64).

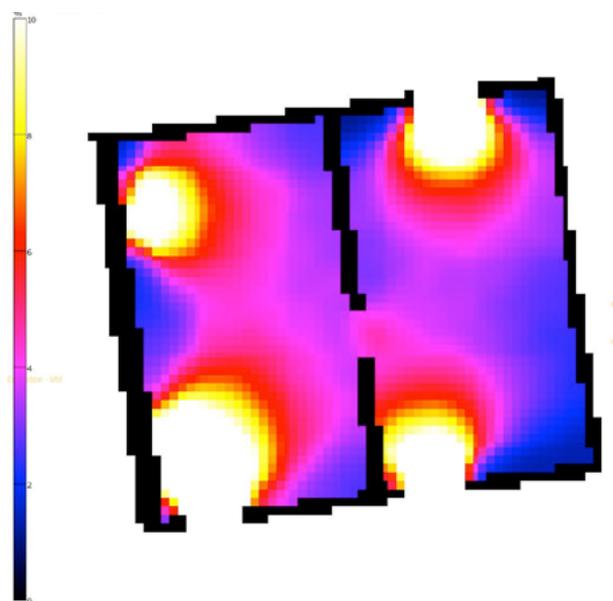


Fig.64. Répartition du FLJ. Simulation Archiwizard

CONCLUSIONS

1. Il faut replacer ce travail dans les limites d'un travail pédagogique dont l'objectif principal est l'acquisition de connaissances. La limite de temps (10 semaines, comprenant les apprentissages de base), oblige à simplifier les hypothèses de l'étude de cas. Dans le cas présent, l'étude du musée a été réalisée en faisant abstraction du contexte urbain. Pourtant la proximité des immeubles voisins et notamment du musée existant prive les galeries du premier étage d'une ouverture sur le ciel et de l'ensoleillement du soir à certains moments de l'année. Les observations précédentes doivent donc être relativisées. Les rayons inférieurs à 24° sont masqués par le musée existant (Fig. 65). La lecture du diagramme solaire montre que cette situation est limitée à certaines heures du soir, du mois d'avril au mois d'août.

2. La Fig. 66 montre le système prévu par les architectes Christ et Gantenbein pour réguler la lumière naturelle, et éviter les inconvénients éventuels comme les rayonnements directs. Ce système comprend :

- un volet extérieur ouvrant en double accordéon, se rangeant partiellement dans l'ébrasement extérieur,
- un store toile extérieur,
- un store intérieur.

Ces trois équipements sont automatisés et permettent de corriger les excès de lumière naturelle ou de répondre aux conditions de la scénographie.

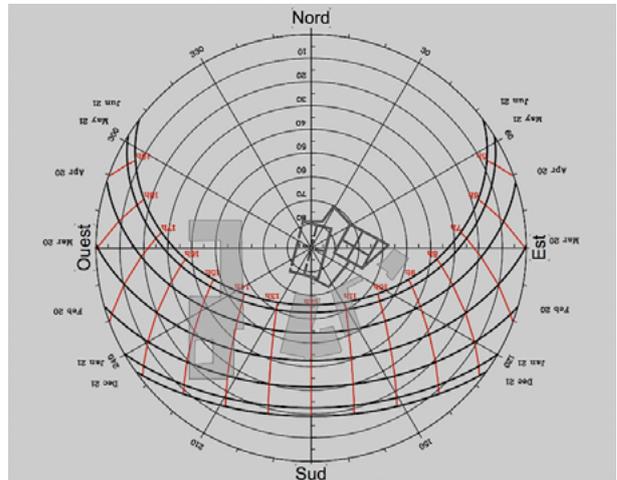
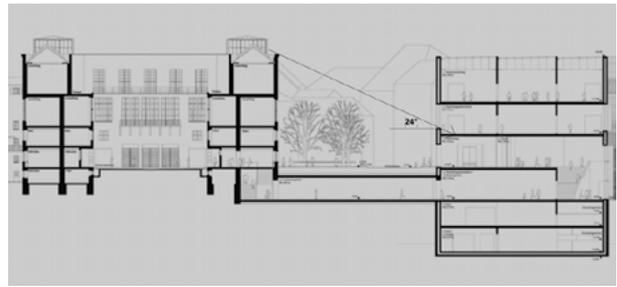


Fig.65. Masques solaires.

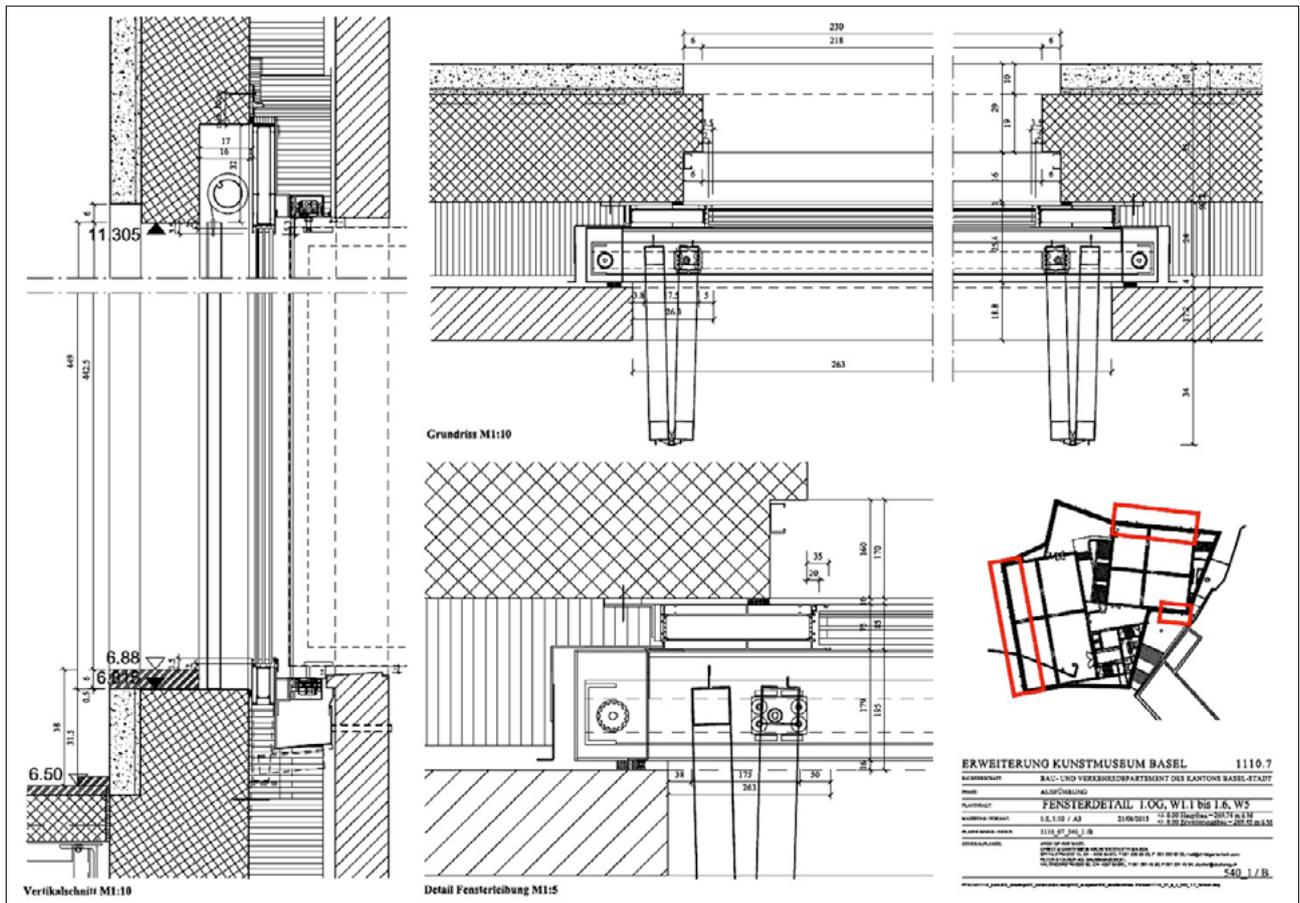


Fig.66. Détail d'une baie. Christ et Gantenbein architectes

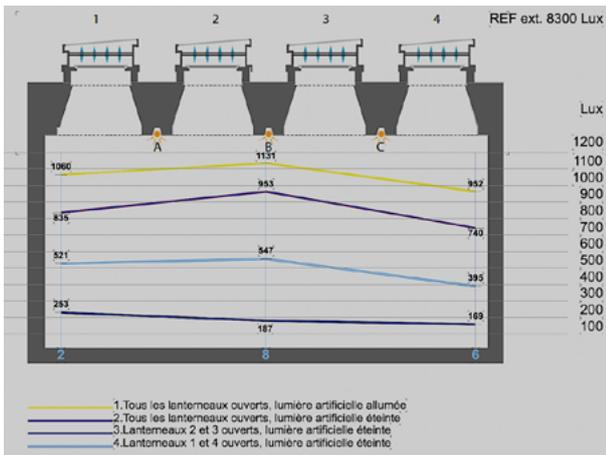


Fig.70. Répartition de la lumière relevée dans la Mirror-Box.



Fig.71. Prototype de lanterneau du Mock-up de Birsfelden.

On relève en effet que dans une coupe verticale, le FLJ moyen est d'environ 5%, qui est une valeur élevée, sans qu'il y ait d'écart important entre le haut et le bas de la pièce.

La répartition en plan montre un niveau légèrement plus élevé au centre de la pièce et un affaiblissement vers les angles et les murs parallèles aux lanternneaux, (il n'y a pas d'effet cumulatif de plusieurs lanternneaux en périphérie). Sans doute imagine-t-on que l'éclairage artificiel viendra ajuster, si nécessaire, le niveau d'éclairage pour la mise en valeur des œuvres accrochées aux murs.

ORGANISATION DE L'ÉTUDE/ MAQUETTE/ PRINCIPE EXPÉRIMENTAL

Après avoir visualisé la répartition de la lumière dans la galerie, l'étude a consisté à comprendre son fonctionnement, en mettant en évidence le rôle de chaque couche du dispositif, sous le soleil mécanique. La maquette à l'échelle du 1/20 reconstitue ces différentes couches. Le dispositif de toiture est interchangeable avec un autre contenant des lames transversales, (Fig.72), afin de pouvoir tester si le changement d'orientation des deux ailes de galeries ne devrait pas entraîner aussi un changement d'orientation du système de régulation de la lumière directe.

EXPÉRIENCES – RÉSULTATS

1. Répartition de la lumière.

Le graphe de la Fig.70 récapitule quatre de ces situations testées dans la Mirror-Box. Dans le premier cas, avec le complément de lumière artificielle, la lumière est répartie de manière homogène, avec le centre légèrement plus éclairé que la périphérie. Les valeurs d'éclairage exprimées en lux traduisent un niveau d'éclairage élevée pour un ciel diffus de 8300 lx. (Entre le centre et la périphérie, le FLJ varie donc de 13% à 10%). Ces niveaux élevés sont la conséquence des maquettes en carton blanc, sans référence aux coefficients des matériaux utilisés. Par exemple, dans la réalité les caissons des lanternneaux sont en béton granuleux laissés bruts, (Fig. 71), et devraient donc absorber une partie du rayonnement solaire.

Lors de notre visite du Mock-Up (Fig.71), nous avons relevé des valeurs supérieures aux 200 lx recommandés pour un musée.

Le cas 2 (éclairage artificiel éteint), accentue légèrement la différence d'éclairage entre le centre et la périphérie. Sans doute n'y-a-t-il pas de luminaire encastré le long du mur pour éviter les lumières rasantes risquant de créer un effet désagréable sur les œuvres.

Les deux situations suivantes explorent des possibilités scénographiques en obturant certains lanternneaux en fermant les lames. Le cas 3 montre une situation où les lanternneaux en position centrale sont ouverts, pour donner

de l'importance à ce qui est exposé au centre de la salle, (sans éclairage artificiel): le niveau d'éclairage du centre baisse de plus de la moitié, tout en restant élevé, et celui des murs n'est plus que de 53% ou 62% de la valeur relevée dans la situation 2.

Le cas 4 résulte de l'obturation des lanterneaux qui éclairent le centre ; seuls restent ouverts ceux qui éclairent les murs.

On obtient une situation moins contrastée, avec un niveau d'éclairage nettement affaibli (FLJ 2-3%). Ce cas serait sans doute favorable à l'exposition d'œuvres fragiles sur papier comme des dessins ou des gravures.

2. Analyse du dispositif, relevé des effets.

Sous le soleil mécanique, (Fig.73), une suite d'observations systématiques a été menée en agissant sur les couches constituant le dispositif.

Chaque modification a fait l'objet de captures vidéo, notamment pour noter la présence éventuelle de rayonnements directs.

Nous présenterons ici les résultats de quatre de ces situations observées aux mêmes moments de l'année (solstice d'été):

- (S1). Situation initiale : ce cas montre la situation d'une salle avec des axes de lanterneaux proches de l'axe Est-Ouest.

La Fig.75 illustre l'absence de pénétration de rayons directs ainsi que l'effet de diffusion de la lumière obtenue par le dispositif.

- (S2). Situation sans verre dépoli : des rayons directs atteignent les parois du lanterneau et les murs de la salle. Cette manipulation montre le rôle important de cette couche pour diffuser la lumière solaire, (Fig.76).

- (S3). Situation d'une salle avec axes de lanterneaux orientés dans une direction proche d'une direction Nord-Sud : en soirée, quelques rayons directs sont visibles sur les murs qui portent les œuvres, (Fig.77).

- (S4). Cas dérivé du cas précédent, la variante résulte des lames qui sont posées ici transversalement : les rayonnements directs ont disparu, (Fig.78).

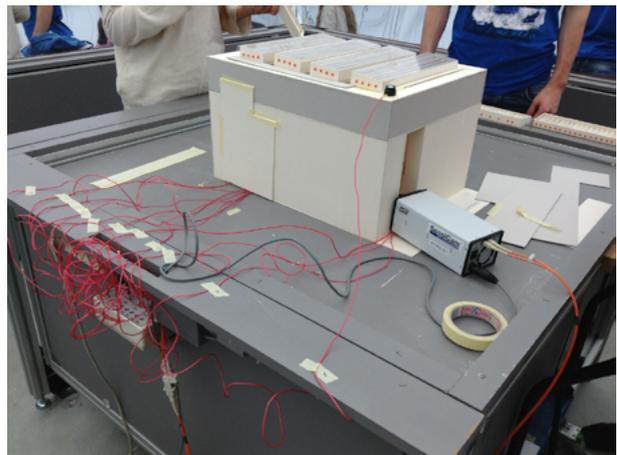
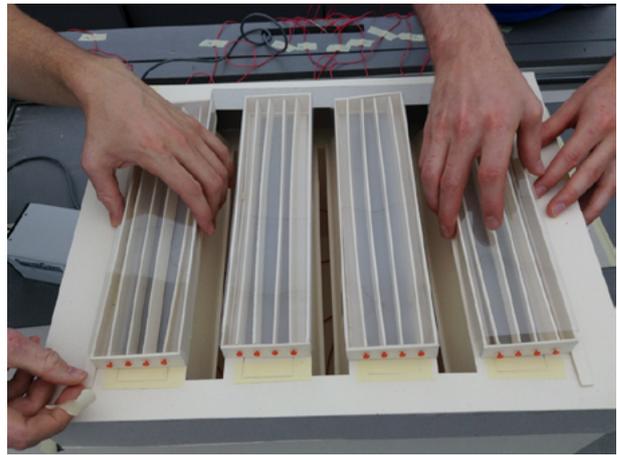


Fig.72. Maquette 1/20 dans la Mirror-Box. Toitures interchangeable.



Fig.73. Maquette 1/20 sous le Soleil Mécanique.

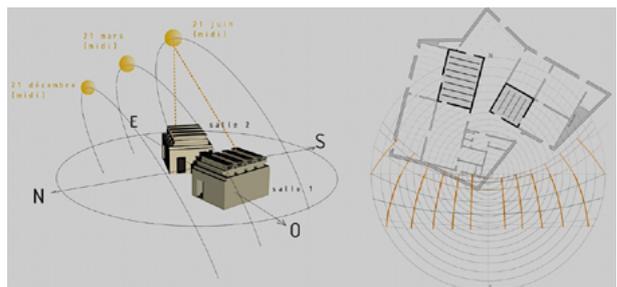


Fig.74. Orientation et ensoleillement des deux ailes de galerie d'exposition

localisation: BALE
 salle: 1
 lames: longitudinales, ouvertes
 lumière artificielle: sans

JUIN
 21

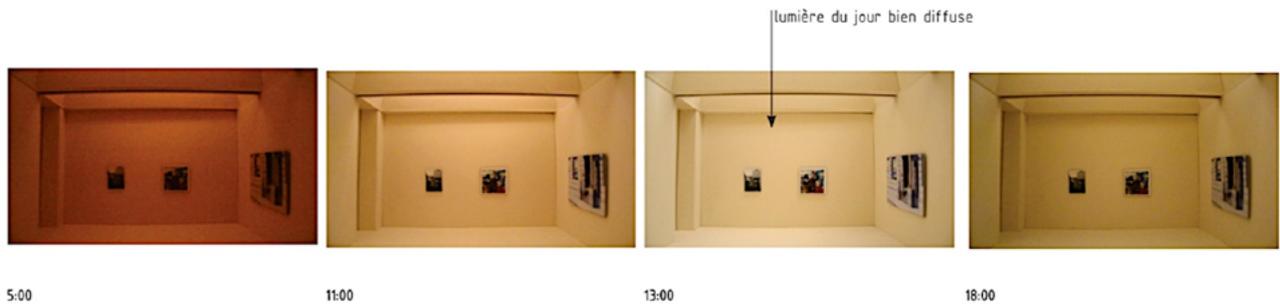
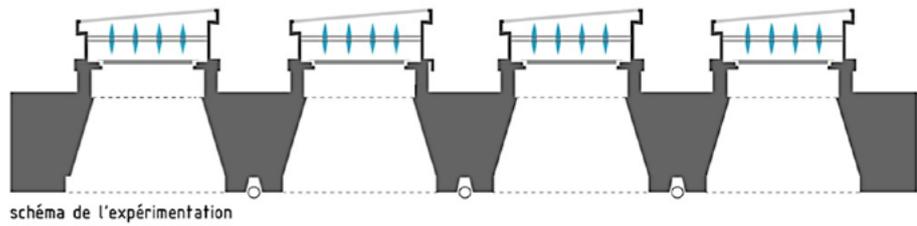


Fig.75. S1 – Situation initiale, axe de la salle Est-Ouest, lames longitudinales.

localisation: BALE
 salle: 1
 lames: longitudinales, ouvertes
 lumière artificielle: sans
 sans le vitrage translucide

JUIN
 21

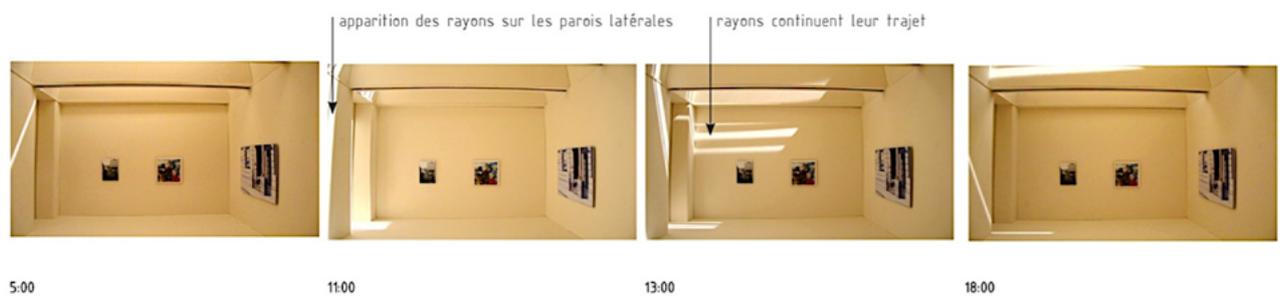
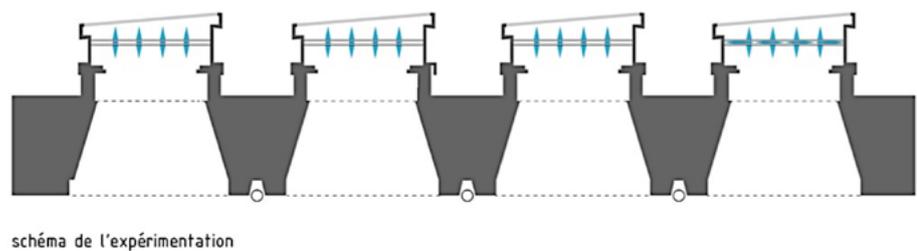


Fig.76. S2 – Sans vitrage dépoli, axe de la salle Est-Ouest, lames longitudinales.

localisation: BALE
 salle: 2
 lames: longitudinales ouvertes
 lumière artificielle: sans

JUIN
 21

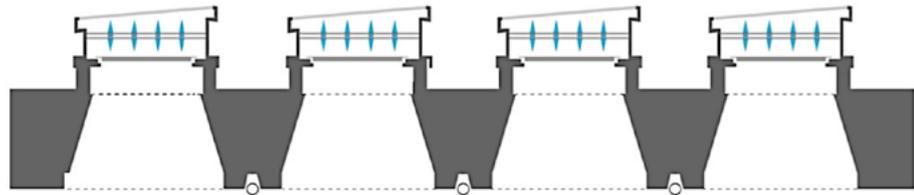


schéma de l'expérimentation

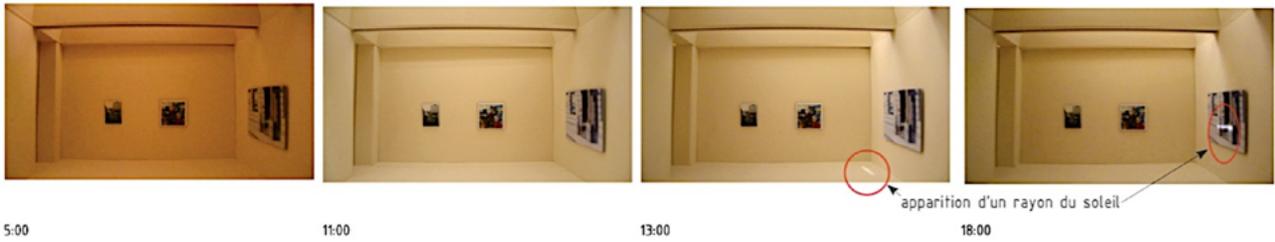


Fig.77. S3 – Axe de la salle tourné, orientation Nord-Sud, lames longitudinales.

localisation: BALE
 salle: 2
 lames: transversales ouvertes
 lumière artificielle: sans

JUIN
 21

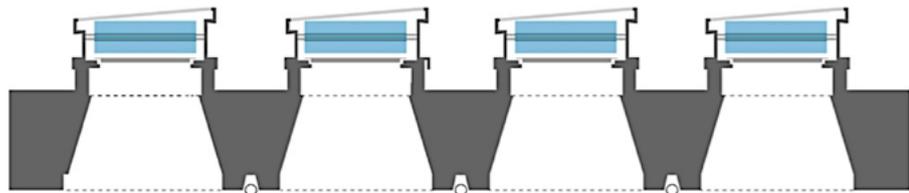


schéma de l'expérimentation



Fig.78. S4 – Axe la salle Nord-Sud, lames transversales.

CONCLUSIONS

L'introduction situait bien les objectifs pédagogiques de ce travail. Bien que basé sur une étude de cas réel, il ne s'agissait ni de valider, ni de chercher à critiquer les dispositifs retenus par les architectes Christ et Gantenbein pour le projet d'extension du Kunstmuseum de Bâle.

Bien au contraire, le travail a consisté à comprendre les cohérences entre les intentions de projets globales et les choix particuliers pour l'éclairage du musée et l'ambiance lumineuse.

En particulier, il a pu mettre en évidence la maîtrise d'un des problèmes le plus important dans la conception des musées: la pénétration du rayonnement solaire direct dans les zones d'exposition, et sa transformation en lumière diffuse efficace.

Le rayonnement solaire peut en effet endommager sérieusement les œuvres d'art.

Si il a été montré que cette possibilité existe dans le cas étudié, on sait aussi que la composition des dispositifs qui captent, transmettent et diffusent la lumière permettra en réalité de s'adapter sans difficulté.

Ce dispositif adaptable notamment au moyen de lames orientables, est une réponse incontournable pour réagir aux conditions climatiques et au ciel de nos latitudes :

- ← pour protéger les œuvres,
- ← mais aussi pour assurer le confort visuel des visiteurs
- ← et éviter les apports thermiques dommageables aux œuvres et source éventuelle de dépenses énergétiques.

Les prises de mesure dans les maquettes ont montré un fort potentiel d'éclairage naturel dans les galeries de l'étage. Ces mesures ont d'ailleurs été amplifiées par la fabrication des maquettes en carton blanc et l'impossibilité de simulation fidèle des vitrages.

Les simulations informatiques furent un moyen complémentaire de la maquette pour aborder les questions d'éclairage. Mises en parallèles, ces deux méthodes sont une occasion de relativiser les résultats. C'est aussi une occasion de s'interroger sur des moyens de représentation de la lumière dans l'architecture sous une autre forme que des images réalistes pour pouvoir mieux informer la conception architecturale.

Par l'énoncé clair des intentions qui le sous tendent, le projet d'Emmanuel Christ et Christoph Gantenbein a permis aux étudiants du LaboLumière d'interroger plus généralement le thème de la lumière dans l'architecture.

Aussi les manipulations sur l'éclairage de l'escalier ou du hall enterré ont mis en évidence l'importance que peut prendre la lumière naturelle dans ces lieux importants d'articulation fonctionnelle et des lieux d'exposition.

Soulignons enfin que cette étude de cas a placé les étudiants dans une démarche de recherche et d'expérimentation en s'appuyant notamment sur l'exemple des architectes et de leur réalisation du Mock-up de Birsfelden. J'espère que l'exemple de cette démarche ouverte leur sera bénéfique et les confortera dans la curiosité indispensable à l'activité architecturale.

NOTES

¹ Louis Kahn : Silence et Lumière, conférence donnée à l'ETHZ en février 1969, p.163. Edition du Linteau 1996

² Le Corbusier : « Lorsqu'une œuvre atteint son maximum d'intensité, de proportion de qualité d'exécution, de perfection, il se produit un phénomène d'espace indicible. Les lieux se mettent à rayonner, physiquement. Ils déterminent ce que j'appelle l'espace indicible c'est-à-dire un choc qui ne dépend pas des dimensions mais de la qualité de perfection, c'est du domaine de l'ineffable ». L'espace indicible, manuscrit, 13 septembre 1945 (Fondation Le Corbusier, boîte B3-7, 210).

³ Pierre Von Meiss. De la forme au lieu. Ce livre synthétise l'enseignement de Pierre von Meiss à l'Ecole Polytechnique de Lausanne des années 1970 à 2000.

⁴ De Lumine 3, à paraître.

⁵ De Lumine 4, à paraître.

⁶ William M.C. Lam: Sunlighting as Forgiver for Architecture. A van Nostrand Rheinhold Book. New York. 1986, pp. 329-342.
Le livre de William M.C. Lam envisage d'abord le rapport de la lumière naturelle et de l'architecture de manière générale et théorique avant de s'intéresser à différents domaines comme les lieux d'enseignement, les immeubles de bureaux, les musées ou les lieux de culte.
Des études de cas figurent en annexe à chaque domaine.

⁷ Thomson, Gary.1978 - 1986. The museum environment. London: Butterworth-Heinemann, p.23

⁸ William M.C. Lam: Sunlighting as Forgiver for Architecture. A van Nostrand Reinhold Book. New York. 1986, p.335.

⁹ Paul Bonatz architecte allemand, professeur à l'université technique de Stuttgart construisit plusieurs bâtiments dans la période de l'entre-deux guerres caractérisés par une recherche de spatialité et une forte présence des matériaux. A Strasbourg, il réalisa un bâtiment hospitalier (1905-1914), avec son frère Karl Bonatz. Son œuvre la plus marquante de cette époque est sans doute la gare centrale de Stuttgart.

¹⁰ Les expérimentations sont réalisées en prenant en considérations le Temps Solaire Vrai (TSV), et non pas le temps de la montre qui est décalé d'une ou deux heures et devrait être corrigée par rapport au méridien de Greenwich.

¹¹ Cf. « Guide précis d'aide à la construction des modèles réduits pour utilisation et mesures sous ciel artificiel du CSTC » http://www.cstc.be/homepage/download.cfm?dtype=lab_daylight&doc=Labo_LB_F_01_F.pdf&lang=fr

¹² La notion de « zone de lumière » a été énoncée par Merete Madsen. A partir de l'analyse de relevés de valeurs d'éclairement dans des bâtiments marquant de l'histoire de l'architecture, elle a mis en évidence un rapport étroit entre la définition spatiale et la répartition de la lumière.

¹³ Contraste : rapport entre la luminosité d'un objet et son environnement, mesuré avec un luminancemètre. $C=L_f-L_o/L_f$,

BIBLIOGRAPHIE

Ander, Gregg D.

Daylighting Performance and Design. Wiley. 2002

Baker, Nick & Steemers, Koen

Daylight Design Of Buildings. European Commission
Directorate General XII for Science, Research &
Development. James & James. 2002.

Fontoyont, Marc

Daylight Performance of Buildings, European Commission
Directorate General XII for Science, Research &
Development. James & James. 1999.
PP 71-110: Museums.

Lam, William M.C.

Sunlighting as Forgiver for Architecture. A van Nostrand
Rheinhold Book. New York. 1986.

Madsen, Merete

Light-zone(s): as Concept and Tool, The Royal Danish
Academy of Fine Arts, ARCC Journal / Volume 4 Issue 1.

Reiter, Sigrid - De Herde, André

L'Eclairage Naturel des Bâtiments. UCL Presses
Universitaires de Louvain. 2004
Thomson, Gary. The Museum Environment. London:
Butterworth-Heinemann. 1978 - 1986

REMERCIEMENTS.

Ce document a été réalisé grâce à la contribution de tous les étudiants du LaboLumière, au deuxième semestre de l'année scolaire 2013-2014.

Comme chaque année, plusieurs d'entre eux participaient à des échanges inter-universitaires.

Je les remercie particulièrement pour le partage de leurs expériences.

**DELUMINE EST LE RAPPORT D'ACTIVITÉ
DU LABOLUMIÈRE DE L'ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE
D'ARCHITECTURE DE STRASBOURG.**

Comme chaque année,
les travaux des étudiants traitent d'une étude de cas.
Pour cette année scolaire 2013-2014, c'est l'extension du
Kunstmuseum de Bâle, des architectes Christ et Gantenbein
qui a servi de thème d'étude pour les variations
sur la lumière dans l'architecture.

Je remercie particulièrement Emanuel Christ pour
sa disponibilité et son aide précieuse, notamment lors de la
visite du Mock-Up le 21 mars 2014. Ce document lui est dédié.

Le travail expérimental s'est déroulé
au CSTC de Limelette/Louvain-la-Neuve.
Arnaud Deneyer responsable du laboratoire «Lumière et bâtiment»,
a mis à notre disposition les installations de son laboratoire.
Je le remercie chaleureusement ainsi que son équipe,
pour leur accueil, leurs conseils et l'efficacité logistique.
Depuis 2008, Arnaud Deneyer est une aide précieuse
et indispensable, sans laquelle ne serait pas possible
l'activité du LaboLumière de L'Ensas.

Sur place, l'équipe enseignante a été renforcée
par Corentin Haubruge, Loci (Faculté d'Architecture, d'Ingénierie
Architecturale, d'Urbanisme de l'Université de Louvain-la-Neuve).
Je le remercie pour son aide aussi bien dans le domaine scientifique,
que pour son questionnement sur la conception architecturale.

EQUIPE ENSEIGNANTE DE L'ENSAS :

Dominique **Laburte**

Jacques **Rizzotti**

Sandro **Varano**

Jean-Paul **Wetzel**.

*Dominique **Laburte**,*
*Rédacteur de **DeLumine** | 7*

ENSAS AVRIL 2015 | DIRECTEUR DE LA PUBLICATION ÉRIC GROSS

