

TP1

ÉTUDE D'UNE **PENSÉE CONSTRUCTIVE D'ARCHITECTE**



Santiago Calatrava
L'Hemisphérique de la Cité des
arts et des sciences



Par : Florence Asselin
Martin Laurent Turgeon
Alexandre McLeod

A. APPROCHE DE L'ARCHITECTE À LA CONCEPTION / À LA CONSTRUCTION

Santiago Calatrava est l'un des rares architectes qui parvient à combiner habilement l'architecture, l'ingénierie et l'art dans un tout cohérent et expressif. Dès un très jeune âge, il apprend le dessin et la peinture à l'École des arts et métiers en complément de sa formation classique. Après avoir terminé ses études en architecture à Valence, il complète un doctorat en génie civil à l'École polytechnique fédérale de Zurich. Sa formation est représentative de ses intérêts éclectiques dans les domaines de l'art et de l'ingénierie. Ceux-ci influencent profondément l'approche conceptuelle de l'architecte.

C'est dans les arts, particulièrement dans le dessin et la sculpture, que Calatrava puise l'inspiration et explore les formes génératrices de ses projets. Les idées techniques y croisent les concepts formels dans un processus artistique exploratoire. Il y observe, représente et expérimente des concepts analogiques à la nature et au mouvement. Sa fascination pour le corps humain mobile se retrouve dans ses projets tant théoriques que pratiques. Ses dessins expriment une idée formelle qui utilise souvent l'anatomie humaine, la structure du corps et la mise en place des organismes vivants pour valider un concept (Fig. 1). Les formes qui en résultent ne sont toutefois pas une simple imitation. Celles-ci évoluent de manière itérative grâce à un rapprochement à la matière par la sculpture et un retour continu au dessin. Le dessin est donc une manière de saisir la complexité des formes mouvantes et des courbes dynamiques observées dans la nature.

«Pour faire une architecture originale et personnelle, je dois passer par un travail de recherche qui se matérialise par la sculpture et par le dessin. C'est sur cette base que j'ai créé un vocabulaire original, qui transgresse cette frontière entre architecture et sculpture.»¹

-Santiago Calatrava

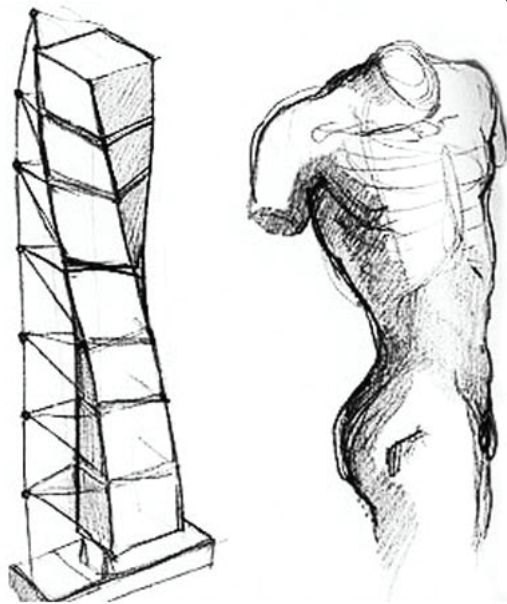


Figure 1: Croquis pour le projet «Turning Torso», 1995, 450 x 370 mm

1. CHARIOT, Constantin (2010). *Santiago Calatrava : sculptectures*, Bruxelles, Fonds Mercator, p.12.

Figure 1: CHARIOT, Constantin (2010). *Santiago Calatrava : sculptectures*, Bruxelles, Fonds Mercator, p.18.

Le mouvement se structure progressivement dans le travail sculptural de Calatrava. Son intérêt pour les formes anthropomorphiques, qu'il transpose déjà à l'échelle de l'objet, aspire au dynamisme. Autant dans ses sculptures que dans ses dessins, l'architecte cherche à produire un résultat qui prétend une capacité au mouvement. Cette recherche est cruciale dans le travail de l'architecte, puisqu'elle dicte la façon dont il parvient à concrétiser ses idées conceptuelles à l'échelle du bâti. La sculpture est donc un moyen d'expression, continuellement présent dans son travail, qui lui permet de valider certains principes formels. Ce premier contact avec la matière oriente le processus par lequel il parvient à structurer celle-ci de manière cohérente. Fortement sensible aux différentes forces qui traversent le matériau, il travaille celui-ci de façon à suivre ces lignes directrices plutôt qu'à produire un dialecte contradictoire. La réponse formelle est donc optimisée aux forces de tension, de compression et de cisaillement qui feraient autrement travailler la matière dans un sens contraire à ses intentions. Le résultat expose un équilibre structural ordonné qui offre à la matière inerte un dynamisme formel (Fig. 2). La sculpture est également un moyen de discerner la précision dans les assemblages complexes de la matière travaillée. De plus, elle exprime concrètement l'harmonie des proportions et le déploiement des géométries dans l'espace. Les principes développés à l'échelle de l'objet sont ensuite transposés à l'échelle habitable. Ce dialecte entre la matière et les forces dynamiques qui la sculptent rend les projets de l'architecte en de véritables «sculptures habitables».

«Le sculpteur essaie de saisir un instant, par exemple l'envol d'un oiseau, qui monte et qui reste pour un instant. Dans les forces, il y a du temps ; les forces sont des mouvements cristallisés, pétris dans la masse du béton, pétris dans l'acier.»²

-Santiago Calatrava



Figure 2: «The Bird», 1986, laiton plaqué or et granit noir, 88 x 22 x 45 cm

2. CHARIOT, Constantin (2010). *Santiago Calatrava : sculptectures*, Bruxelles, Fonds Mercator, p.25.

Figure 2: *Idem*.

Lorsqu'il traduit ses explorations artistiques à l'échelle du milieu bâti, Santiago Calatrava va au-delà d'une approche purement pragmatique. Plutôt que de simplement répondre à des problèmes techniques, il offre un résultat qui navigue entre l'efficacité et l'innovation dans la recherche formelle. Le vocabulaire qu'il développe dans son art lui permet de se renouveler constamment et d'atteindre un niveau d'originalité qui n'est pas simplement un éloge de la technique. Tel que le décrit Philip Jodidio, son œuvre devient un «entrelacement d'expression plastique et de mise en valeur structurelle, produisant des résultats que l'on peut à juste titre décrire comme une synthèse d'esthétique et physique structurelle».³

Détenant à la fois le titre d'architecte et d'ingénieur, Calatrava ne semble toutefois pas accorder d'importance aux rôles respectifs que ces titres impliquent dans son processus de construction et de conception. Ce dernier vise d'abord à fournir une réponse optimale autant sur le plan constructif, programmatique et spatial. Cette réponse se matérialise en respectant les idées conceptuelles développées et approfondies dans son travail artistique, souvent reconnaissable dans la formalisation du projet (Fig. 3). Calatrava balaye toutes formes de compromis pour faire plutôt un travail de synthèse, ce qui procure à son travail des projets constamment uniques. L'évolution de son travail au fil de sa carrière en est le principal témoin. Si ses premiers travaux utilisent les géométries et les matériaux dans une perspective d'optimisation, que ce soit en minimisant les ressources ou en maximisant les performances, il approfondit et étend son vocabulaire conceptuel dans les projets ultérieurs qui nécessitent des exigences programmatiques et contextuelles de plus en plus complexes. Constamment, Calatrava apporte une importance particulière aux attributs constructifs, aux espaces et à la manière dont ceux-ci conviennent adéquatement aux activités des gens qui les occupent, ainsi qu'à la stratégie utilisée pour recouvrir ces espaces.



Figure 3: Gare de Lyon-Saint-Exupéry, Colombier-Saugnieu, France, 1989-94

3. JODIDIO, Philip (2003). *Santiago Calatrava*, Köln, Taschen, p.12.

Figure 3: AYMAR, Roberta (octobre 2014), «Antoine Saint-Exupéry», <http://tecidovivo.blogspot.ca/2010/12/antoine-saint-exupery.html>

Le mouvement, très présent dans le vocabulaire conceptuel de Calatrava, est très vite introduit dans la formalisation des éléments constructifs de ses projets. Celui-ci joue souvent un rôle symbolique ou fonctionnel. Chaque partie qui compose le projet s'articule ou participe à la production d'un mouvement réel, ou véhicule l'idée du mouvement au sens figuré par sa formalisation. L'un des premiers projets réalisés par l'architecte au début de sa carrière est avant-coureur de cette tendance récurrente dans son travail. Consistant en un entrepôt pour la compagnie Ernsting Miniladen à Coesfeld en Allemagne, Calatrava s'inspire de l'articulation du genou humain pour actionner les immenses portes du hangar (Fig. 4). Ce dernier, grâce à ses connaissances étendues dans le domaine de l'ingénierie, parvient à concevoir un mécanisme qui produit l'ouverture et le pliage des portes à la manière de l'articulation de la rotule humaine. Une fois ouvertes, les portes forment une marquise utilisée par les employés de l'entrepôt. Ce détail d'assemblage sera même ultérieurement breveté par l'architecte. La concrétisation de ce mécanisme est porteuse de l'importance accordée à l'idée conceptuelle qui permet continuellement d'enrichir et de formaliser les projets de Calatrava. Il s'inspire constamment de la nature et des formes anthropomorphiques qu'il y observe pour matérialiser sa recherche du mouvement. Dans le cas de l'entrepôt Ernsting, Calatrava pousse cette recherche encore plus loin dans la matérialité du projet. Les panneaux d'aluminium ondulés utilisés pour recouvrir les façades semblent se mouvoir sous la lumière du soleil. Déjà en début de carrière, l'architecte parvient à matérialiser l'idée d'un mouvement à la fois implicite et explicite.

«The Ernsting Warehouse is not only an exemple of counterintuitive and innovative technical performance. It is also an exemple of "dream-work" : the fundamental transformation of a building's industrial, utilitarian typology to embrace new aesthetic experiences»⁴

-Alexander Tzonis

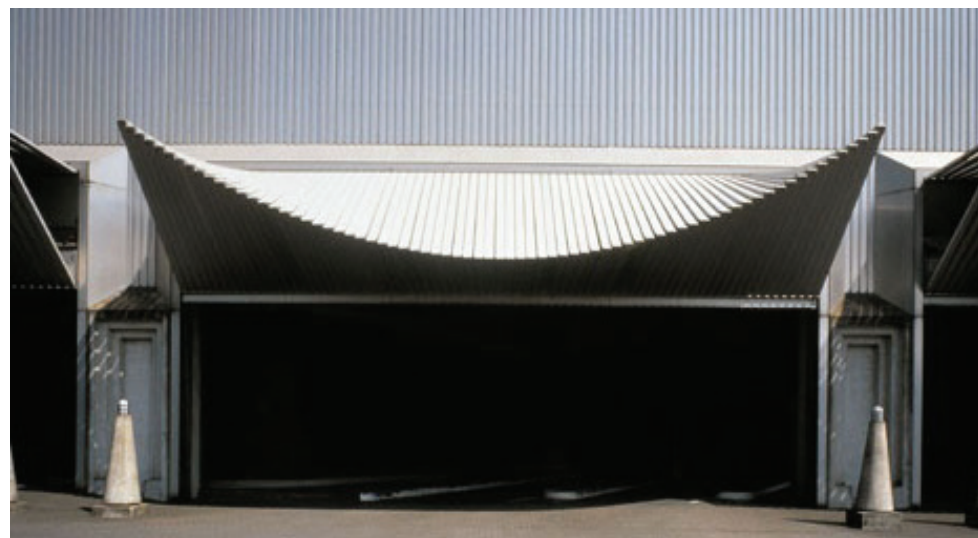


Figure 4: Portes de l'entrepôt Ernsting en position ouverte, Coesfeld, Allemagne

4. TZONIS, Alexander (1999). *Santiago Calatrava : the poetics of movement*, New York, Universe, p.38.

Figure 4: SANTIAGO CALATRAVA ARCHIVES (octobre 2014), «Ernstings Warehouse», <http://kibsgaard.se/CALT/EW/EW6.htm>

Bien avant même le début de sa carrière, alors qu'il effectuait ses études supérieures de niveau doctoral en ingénierie, Santiago Calatrava s'intéresse au mouvement appliqué à une structure. Sa thèse suggère différentes façons dont un espace tridimensionnel peut être plié en une forme bidimensionnelle puis unidimensionnelle (Fig. 5). À l'aide d'une figure géométrique faite à partir de tiges rigides articulées par un joint mobile, Calatrava démontre la capacité d'une structure à se changer et à se transformer autant importante que la résistance aux forces et la stabilité généralement recherchées dans la pratique courante. Cette vision procure au bâtiment la liberté de prendre n'importe quelle forme grâce à un mécanisme à la base simple. Elle offre ainsi une nouvelle approche conceptuelle basée sur l'idée de mouvement et de dynamisme, favorisée par la structure.

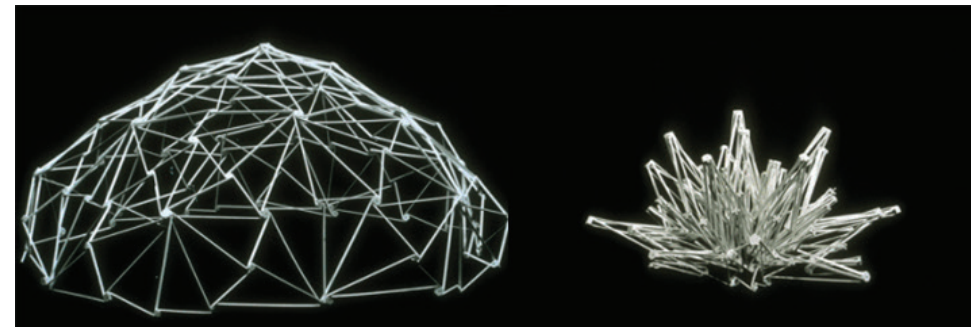


Figure 5: Modèle de structures pliables, ETH, Zurich, Suisse, 1981

Parallèlement à son travail architectural, la conception de ponts occupe une place importante dans la carrière de Calatrava. Par l'utilisation de courbes et d'éléments inclinés, ces structures démontrent parfaitement l'intégration du dynamisme à un élément statique. Il optimise les forces structurales de manière à créer un équilibre formel qui dialogue avec le paysage et le contexte urbain environnant. Comme dans le cas du pont Alamillo à Séville, ce dialogue permet la complémentarité entre l'élément bâti et son contexte.

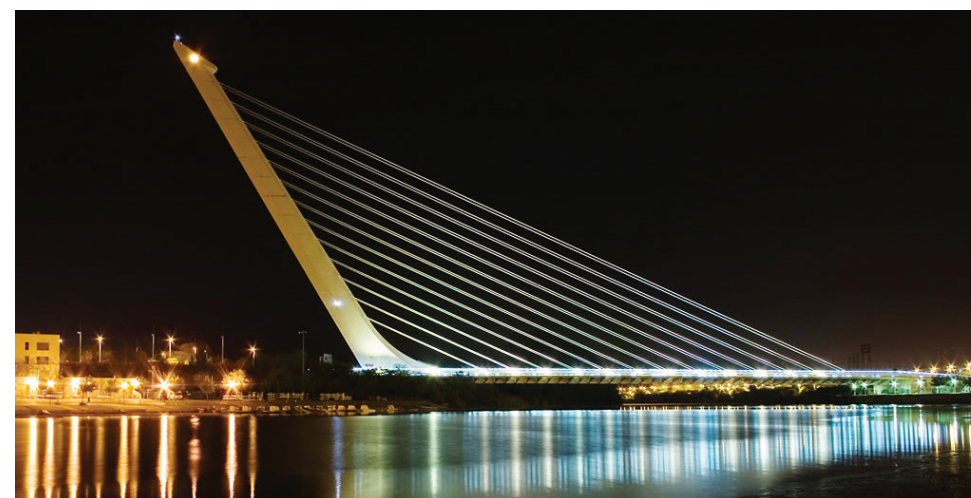


Figure 6: Pont Alamillo, Séville, Espagne, 1987-92

Figure 5: MIT (octobre 2014), «Foldable Polyhedron, subject of PhD Thesis (ca. 1981)», <http://web.mit.edu/civenv/Calatrava/WWW/SITE/APMAIN.HTM>

Figure 6: EDUCATION AND CULTURE LIFELONG LEARNING PROGRAMME (octobre 2014), «Alamillo Bridge», http://www.comune.torino.it/sfep/lapis/dwd/siviglia_scheda.pdf

Cette optimisation des éléments structuraux se retrouve également à l'échelle architecturale. Celle-ci est souvent atteinte grâce à deux stratégies de design. D'une part, Calatrava conçoit chaque composant structural en modifiant leur forme en fonction des charges reprises. D'autre part, il divise ces composants structuraux selon leur fonction au sein du système porteur en utilisant à chaque fois le matériau qui convient le mieux à la fonction assignée. Ainsi, un composant travaillant en tension n'aura pas la même matérialité qu'un autre qui travaille en compression. Le profilage des éléments structuraux en fonction de la charge reprise combiné à l'association d'un matériau selon la fonction structurale crée l'articulation constructive dans le vocabulaire formel de Calatrava.

La gare de Lyon-Saint-Exupéry est un exemple porteur de ce type d'optimisation. La planéité du site ne dicte aucune contrainte structurale. Calatrava organise les éléments structuraux selon le rythme de la circulation de la foule à l'intérieur de la gare, afin notamment de mieux orienter ses utilisateurs. Le profil des colonnes en béton reprend parfaitement la charge de la toiture qui rappelle le mouvement des ailes d'un oiseau. Ce toit, composé d'une vertèbre en acier, permet d'illuminer l'intérieur de la gare grâce à une succession de panneaux vitrés. La combinaison des diverses géométries et de leur matérialité forme un ensemble parfaitement cohérent. Elles résultent toutefois d'un travail préalablement réfléchi et approfondi. Son inspiration qu'il retrouve dans la nature permet de créer un bâtiment qui, comme dans le cas de ses ponts, améliore son contexte plutôt que de lui nuire.

La pensée constructive de Calatrava se forge initialement à partir de son travail conceptuel appliqué dans les arts. Constamment, la construction et la formalisation d'une idée conceptuelle sont justifiées par ses explorations artistiques. La structure et la matérialité conçues dans une optique d'optimisation permettent une réponse formelle maîtrisée et calculée. La recherche de mouvement suscite un dynamisme structural qui en fait une signature.

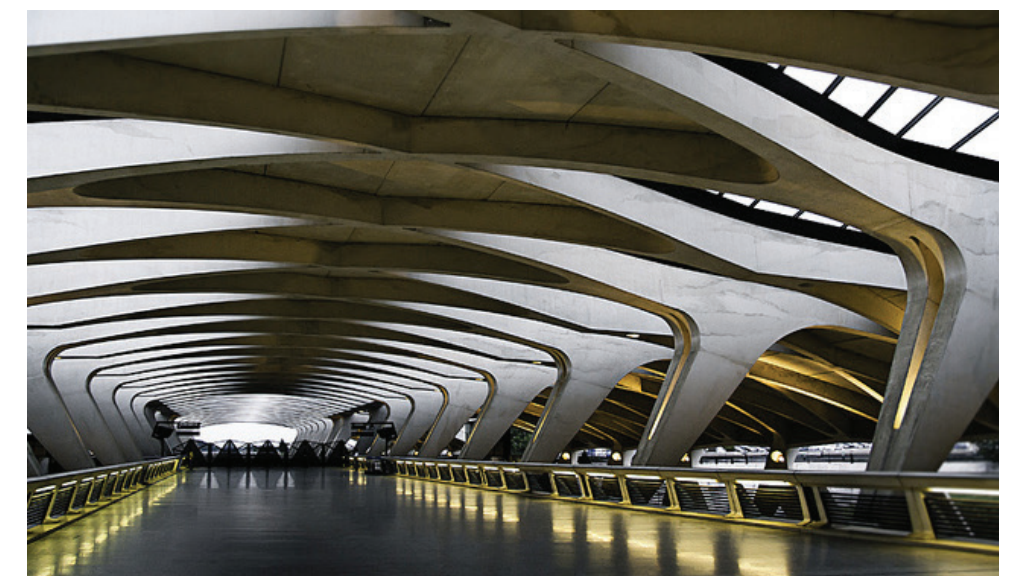


Figure 7: Intérieur de la gare de Lyon-Saint-Exupéry, Colombier-Saugnieu, France

Figure 7: BARBATULUS (octobre 2014), «Gare de Lyon Saint-Exupéry», https://www.flickr.com/photos/misho_cub/4971704743/

B. DESCRIPTION DU PROJET

La Cité des arts et des sciences de Valence est un complexe de plusieurs bâtiments dont le but premier est de créer un lieu d'échanges et de diffusion pour la communauté de Valence. L'idée initiale vient de Joan Lerma, membre du parti politique municipal «Spanish Socialist Workers' Party» qui, à la fin des années 1980, a le désir de construire un centre artistique et scientifique pour servir la communauté. L'objectif parcouru est aussi de produire une image forte pour Valence qui pourrait être véhiculée jusqu'à l'international. C'est en réponse à cette volonté qu'un concours est organisé en 1991.

La proposition de Calatrava, natif de Valence, est celle qui est retenue pour être construite. Son projet comprend un planétarium, un musée des sciences, ainsi qu'une tour de télécommunication de 327 mètres. Cet élément se voulait un point fort du projet par ses prouesses techniques. Ces trois pavillons devaient s'organiser autour d'un axe central sud-est formé par un long chemin piétonnier central. L'élévation du projet révélait une diversité dans les formes et dans le rythme de ces trois bâtiments dédiés au même objectif final.

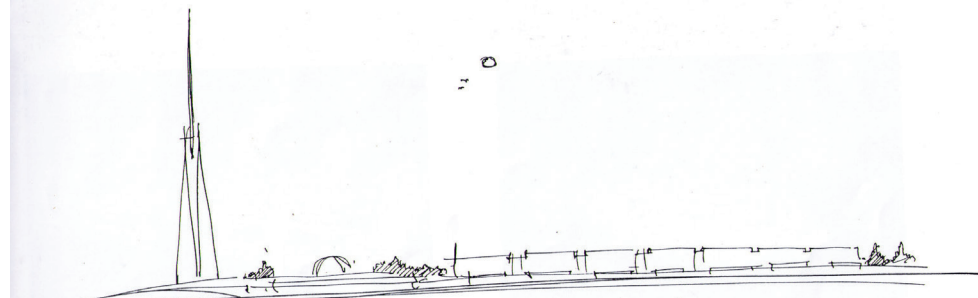


Figure 8: Croquis de l'élévation du projet initial par Calatrava

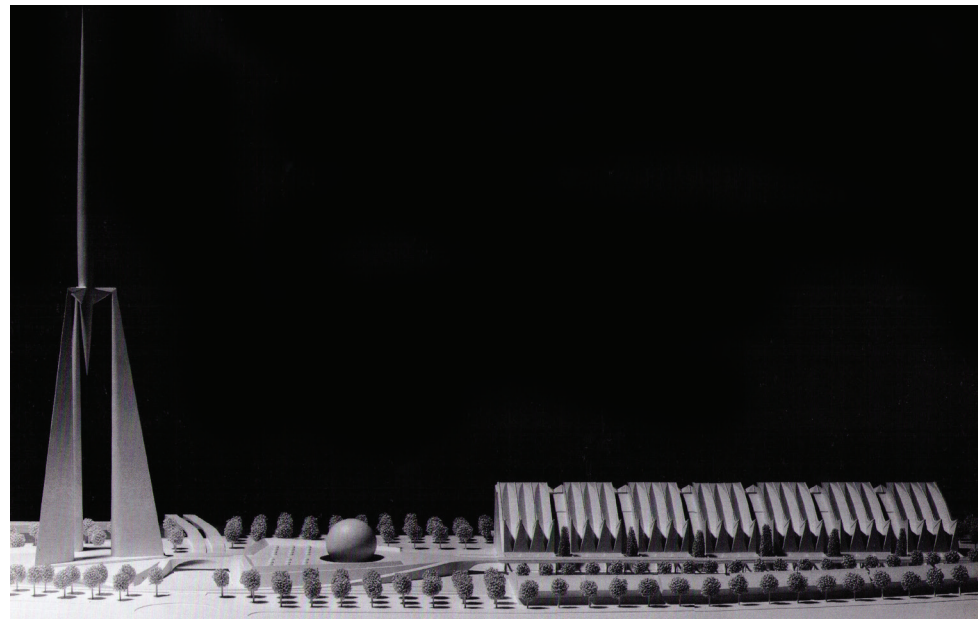


Figure 9: Maquette du projet initial

Figure 8: SHARP, Dennis (1996). *Architectural Monographs No 46, Santiago Calatrava*, Chichester, Academy Editions, p.63.

Figure 9: CALATRAVA, Santiago (1993), *Dynamische Gleichgewichte Neue Projekte*, Zurich, Artemis.

Par contre, ce projet soulève la controverse par son extravagance et ses coûts élevés. Un changement du parti au pouvoir au niveau municipal en 1996 vient remettre ces idées en cause. Le nouveau projet remplace la tour de télécommunication par un centre de la musique, le «Palacio de las Artes», ce qui rend le complexe à une échelle et à un coût plus conséquent selon les nouveaux dirigeants.

L'Hémisphérique, bâtiment qui sera analysé plus en détail, fut le premier réalisé. Il fut construit entre 1996 et 1998 pour être finalement ouvert au public en avril 1998. Le Musée des sciences suivit en 2000, suivi de l'Umbracle, une structure servant de stationnement, en 2001 ainsi que du palais des arts en 2003. Au total la réalisation du projet s'est étalée sur une dizaine d'années.



Figure 10: Palais des arts, construit en 2003

Le site du projet est situé aux abords du lit de la rivière Turia, à mi-chemin entre le vieux Valence et le district côtier de Natzaret. Cette rivière fut détournée au sud de la ville, puis asséchée suite à son débordement en 1957 qui causa beaucoup de dégâts dans la ville. La zone fut ensuite abandonnée et semblait sans espoir. Le projet se devait donc de revitaliser cette zone à l'est de la ville. En plus de donner une nouvelle vie à ce secteur, le complexe permet de créer un axe urbain qui articule la ville. Le terrain de la Cité des arts et des sciences connaît un faible relief et couvre une aire totale de 350 000 m².

Figure 10: SANTIAGO CALATRAVA LLC (octobre 2014), *Santiago Calatrava*, www.calatrava.com/#/Selected%20works/Architecture?mode=english

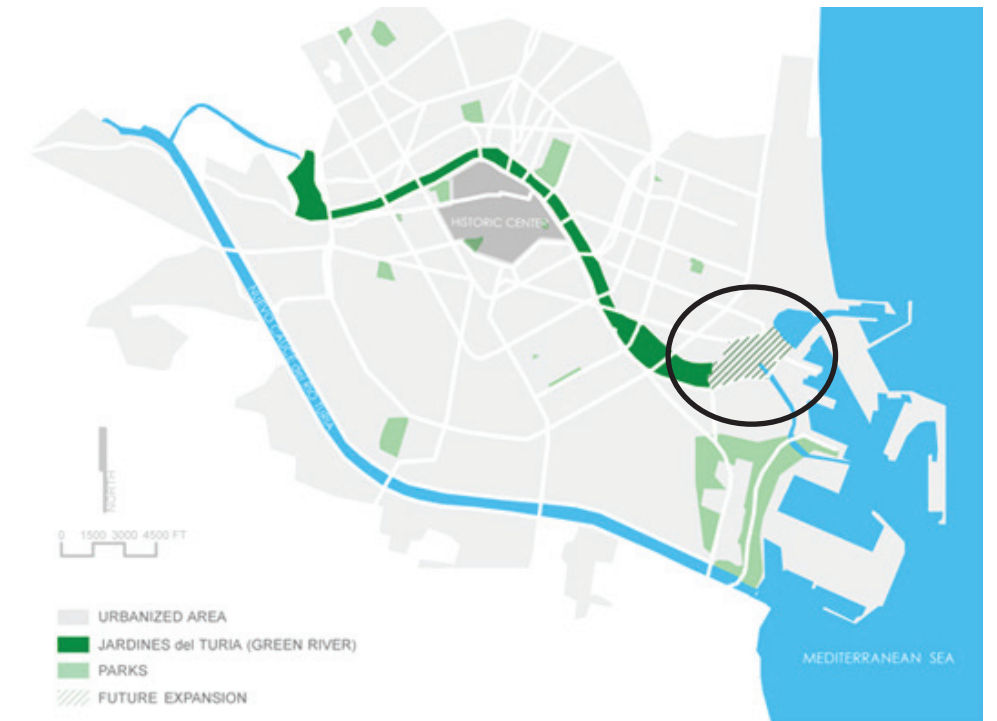


Figure 11: Plan d'implantation

L'Hémisphérique est le bâtiment central de cette cité. Il est situé sur l'axe est-ouest du complexe, entre le musée des sciences et le palais des arts. Le terrain de l'Hémisphérique est rectangulaire, avec des dimensions de 200 par 1300m. Le bâtiment en soi possède une superficie de 2600 m². Au sud et au nord de l'installation, on retrouve des bassins peu profonds qui rappellent le passé fluvial du site.



Figure 12: Vue d'ensemble de la Cité des arts et des sciences

Figure 11: PHELPS, B. (octobre 2014), «Valencia's Green River», *Metropolis*, www.metropolismag.com/Point-of-View/June-2012/Valencias-Green-River/

Figure 12: MOREAEDSIGN (octobre 2014), «More About: Valencia City of Arts - Valencia, Spain», <http://moreaedesign.wordpress.com/2012/page/2/>

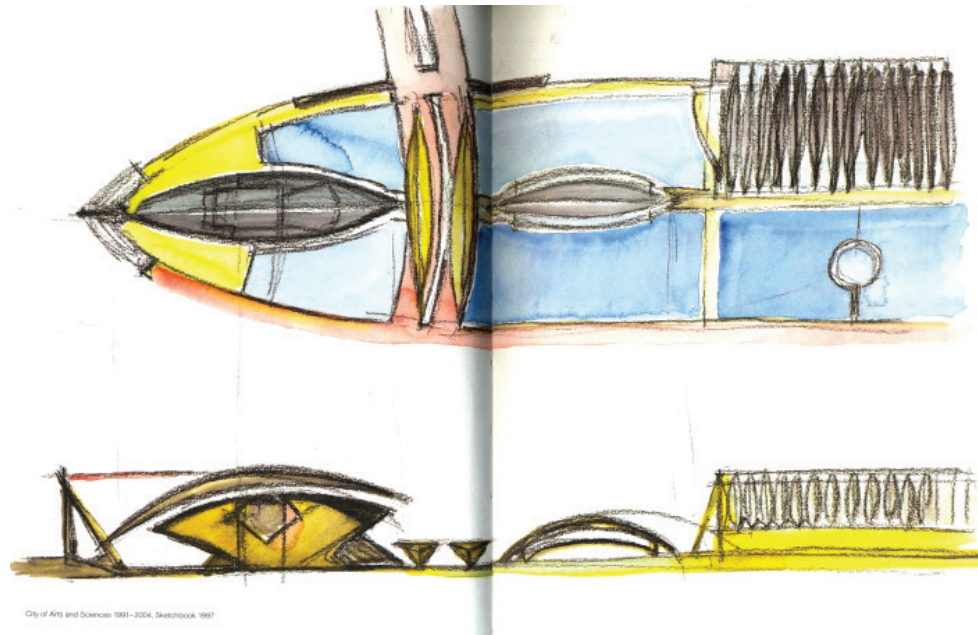


Figure 13: Croquis de la Cité des arts et des sciences de Calatrava

La forme du bâtiment est inspirée de l'image d'un oeil. Le plan de l'Hémisphérique est de forme ovoïdale. Le coeur du bâtiment est une sphère en béton qui représente la pupille de l'oeil. La sphère est recouverte de fragments de tuiles blanches qui s'inspirent des tuiles utilisées par Gaudi. De plus, ce matériau est fait localement, ce qui contribue au sentiment d'appartenance. La matérialité vient également créer une unité avec les autres bâtiments de la cité qui utilisent ce même matériau.

La sphère centrale est recouverte par un dôme formé d'une structure métallique. Ce dôme prend l'aspect d'un carapçon, harnais d'ornement ou armure de protection d'un cheval. La partie centrale de cette structure est fixe et opaque. De chaque côté de cette bande centrale, on retrouve une structure nervurée métallique amovible. Cette ouverture permet d'avoir un lien avec le ciel en plus d'offrir une vue de l'extérieur sur la sphère centrale. Par ailleurs, cette ouverture crée une lumière intéressante et une apparence de flottaison. L'apparence du bâtiment change en fonction de la lumière et du degré d'ouverture des panneaux latéraux. La partie ouvrable est formée de lattes de différentes grandeurs montées sur une tige centrale pivotante. Cette structure reprend la forme d'une plume. Les lattes servent également de pare-soleil, ce qui prend toute son importance dans le climat chaud valencien.

Finalement, la réflexion du bâtiment concernant les bassins peu profonds dans le hall situé au premier sous-sol. Ce hall est recouvert d'arches en béton préfabriquées qui supportent une toiture translucide en panneaux de verre qui permettent l'apport de lumière dans l'espace sous-terrain, en plus de démarquer cet axe important.

Figure 13: MOREAEDSIGN (octobre 2014), «More About: Valencia City of Arts - Valencia, Spain», <http://moreaadesign.wordpress.com/2012/page/2/>



Figure 14: Vue de l'Hémisphérique fermé



Figure 15: Vue de l'Hémisphérique ouvert

L'entrée dans le bâtiment se fait par un escalier central placé dans la continuité de l'axe piéton qui structure l'ensemble de la Cité des arts et des sciences. Cet escalier, situé à l'est de l'Hémisphérique, permet de descendre dans le hall situé au premier sous-sol. Ce hall est recouvert d'arches en béton préfabriquées qui supportent une toiture translucide en panneaux de verre qui permettent l'apport de lumière dans l'espace sous-terrain, en plus de démarquer cet axe important.

Figure 14. MARKWEINBERG (octobre 2014), « More Calatrava: Planetarium», *mlwphotography*, <http://blog.markweinbergphoto.com/2010/07/more-calatrava-planetarium.html>
 Figure 15. SANTIAGO CALATRAVA LLC (octobre 2014), *Santiago Calatrava*, www.calatrava.com/#/Selected%20works/Architecture?mode=english

Ce dernier abrite la billetterie, un restaurant, des boutiques et des bureaux. Ensuite on retrouve la sphère qui abrite un auditorium qui sert de salle de projection pour le IMAX. La forme de la structure permet une expérience englobante. Les gradins vont du rez-de-chaussée au deuxième sous-sol.

L'espace entre la sphère de béton et le dôme nervuré sert de soutien au planétarium. À l'ouest du bâtiment, on retrouve l'aile de mécanique.

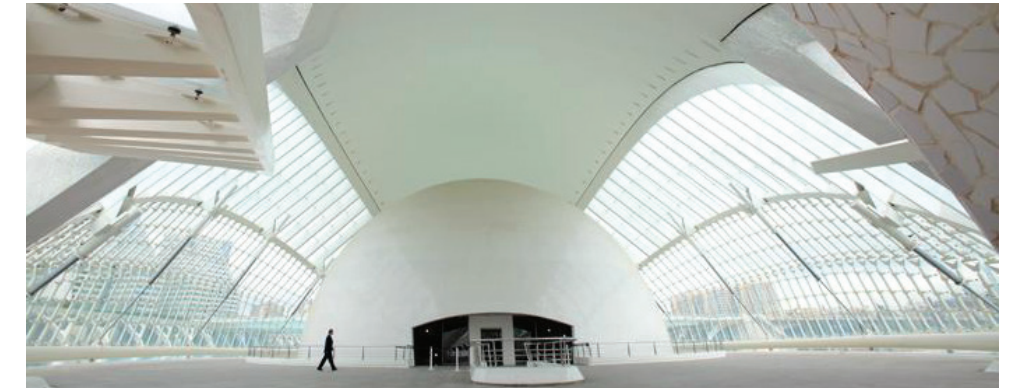


Figure 16: L'intérieure de l'Hémisphérique

Finalement, la traversée du bâtiment fait partie intégrante de la déambulation dans ce lieu, autant par son image forte qui contribue au rayonnement de Valence que par sa présence marquée sur le chemin qui structure toute la cité des arts et des sciences.

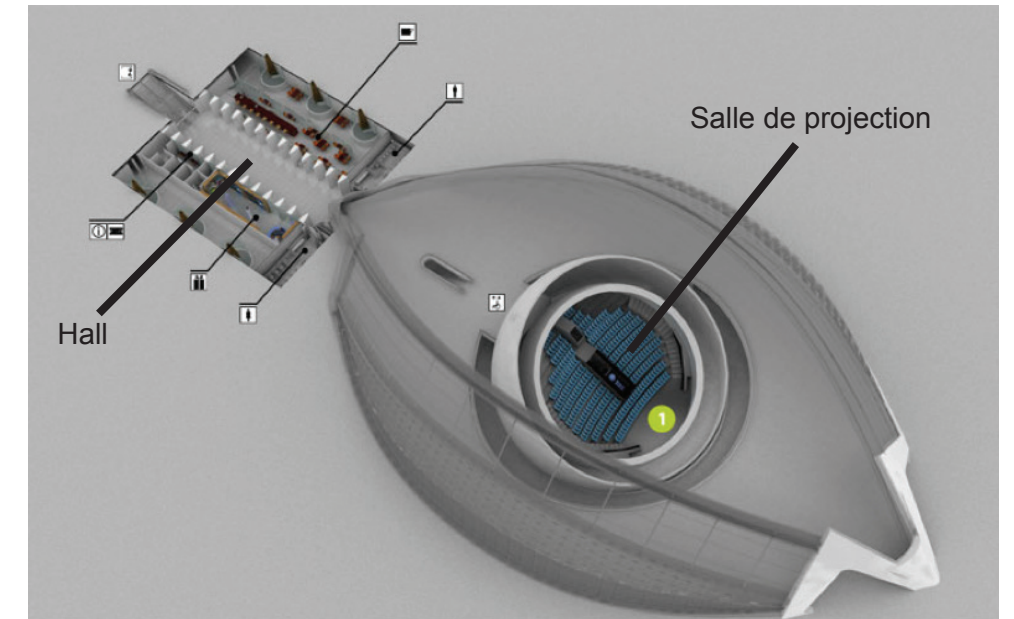


Figure 17: Plan de l'Hémisphérique

Figure 16: CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS (octobre 2014), «Discover the Hémisfèric», www.cac.es/hemisferic/?languageId=1
 Figure 17. CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS (octobre 2014), «Know the Hémisfèric», www.cac.es/hemisferic/conoce/

C. INTENTIONS CONCEPTUELLES SOUS-JACENTES AU PROJET

L'image conceptuelle de base derrière le projet de l'Hémisphérique conçu par Calatrava pour la Cité des arts et des sciences de Valence est celle d'un oeil. La structure extérieure reprend la forme d'un demi-oeil, alors que la demi-sphère intérieure en béton représente la pupille. La pupille est le point central de l'oeil, le point de focus, tout comme la salle de projection qui est l'espace de première importance pour l'édifice. Le bâtiment n'étant que la moitié d'un oeil, les bassins peu profonds permettent de compléter l'image par la réflexion. Les piscines donnent aussi l'impression d'un oeil qui flotte, ce qui assure un sentiment de légèreté au bâtiment.



Figure 18: Croquis de Calatrava

L'oeil est un choix intéressant, puisqu'il possède une très grande symbolique. Il s'agit de l'organe qui nous permet de voir ; c'est une ouverture sur le monde. Cette perspective sur le monde était très importante dans les lignes directrices du projet. L'ensemble de la Cité des arts et des sciences avait parmi ses missions d'être une image forte qui serait projetée à l'international, de même que d'offrir une ouverture autant vers l'extérieur que l'intérieur, en rendant ce lieu accessible et utilisable par un grand public. Le projet se devait aussi d'être une porte sur le nouveau millénaire, sur l'avenir. Cette projection vers le futur est bien représentée par l'oeil, l'oeil qui regarde en avant. Cet organe représente également un clin d'oeil à la fonction du bâtiment qui est d'abord celle d'un planétarium, soit un bâtiment qui sert à la projection des astres et à la reproduction de leur mouvement, donc une vision précise du ciel.

Figure 18: SANTIAGO CALATRAVA LLC (octobre 2014), *Santiago Calatrava*, www.calatrava.com/#/Selected%20works/Architecture?mode=english

L'Hémisphérique n'est pas le seul projet pour lequel Calatrava utilise l'image de l'oeil. La gare de Saint-Exupéry à Lyon, décrite précédemment, s'est également inspirée de cette image. Le bâtiment final a une forme complètement différente de l'Hémisphérique, mais dans les deux cas, on retrouve ce sentiment d'ouverture, de légèreté.

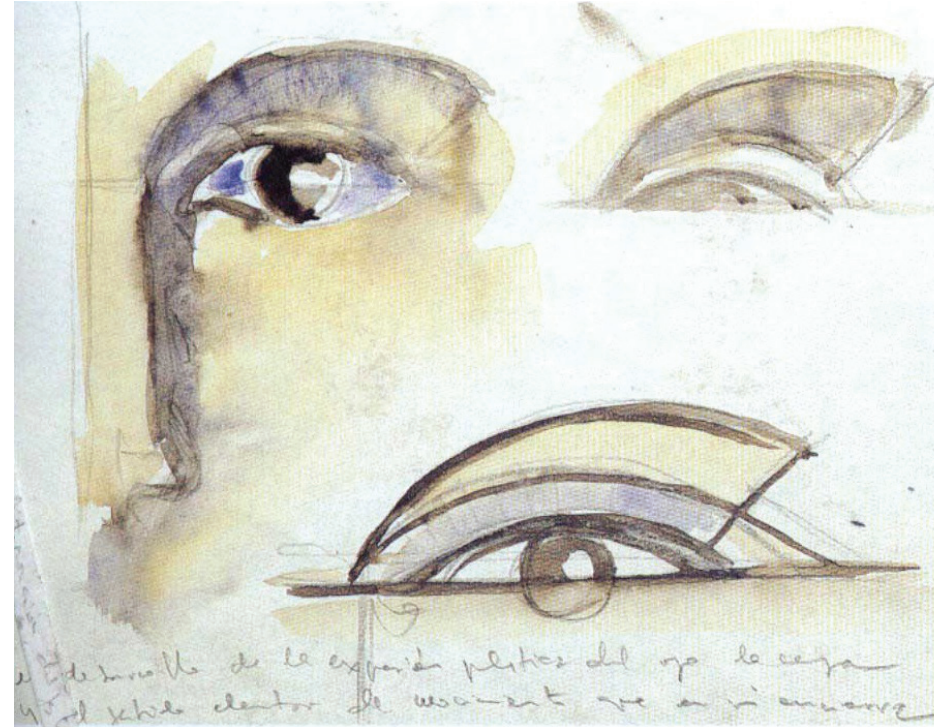


Figure 19: Croquis de Calatrava pour la gare de St-Exupéry à Lyon

L'utilisation d'un organe humain comme inspiration est quelque chose que Calatrava effectue régulièrement dans ses projets. On peut comparer son processus créatif à celui des grands penseurs de la renaissance comme Léonard de Vinci qui s'inspire et qui étudie les formes de la nature afin de réussir à faire des prouesses techniques. Cette pratique découle d'une pensée qui veut que la nature soit un exemple qui pousse au maximum les lois de la physique et que son étude permette de découvrir une partie de ses secrets. Ce qui fait la force de Calatrava dans son utilisation de la nature est qu'il l'utilise comme analogie en plus de l'analyser. L'analyse permet de découvrir les contraintes qui conduiront à des réponses plus riches structurellement grâce à l'ingénierie. Comme le stipule l'auteur américain Robert Greene: «It was like knowing how to draw a beautiful bird but not understanding how it could fly. As with drawing, he wanted to go beyond the surface, the design element, and touch upon the reality.»¹ Dans le projet de l'Hémisphérique, l'inspiration issue de la nature est aussi présente dans la structure. Les lattes latérales montées sur des pivots rappellent la structure d'une plume avec sa tige centrale sur laquelle les éléments viennent se

1. GREENE, Robert (octobre 2014), «How Santiago Calatrava blurred the lines between architecture and engineering to make buildings move», *Archdaily*, www.archdaily.com/321403/how-santiago-calatrava-blurred-the-lines-between-architecture-and-engineering-to-make-buildings-move/
Figure 19. HACHHACH (octobre 2014), <http://hachhachhh.blogspot.ca/2014/01/calatrava-dabord-artiste-avant-detre.html>

rattacher. Certains peuvent également comparer le bâtiment à une coquille qui émerge de l'eau. On peut donc en conclure que la compréhension et l'analyse des formes végétales permet de les entrecroiser pour ultimement en tirer le meilleur de chacune.

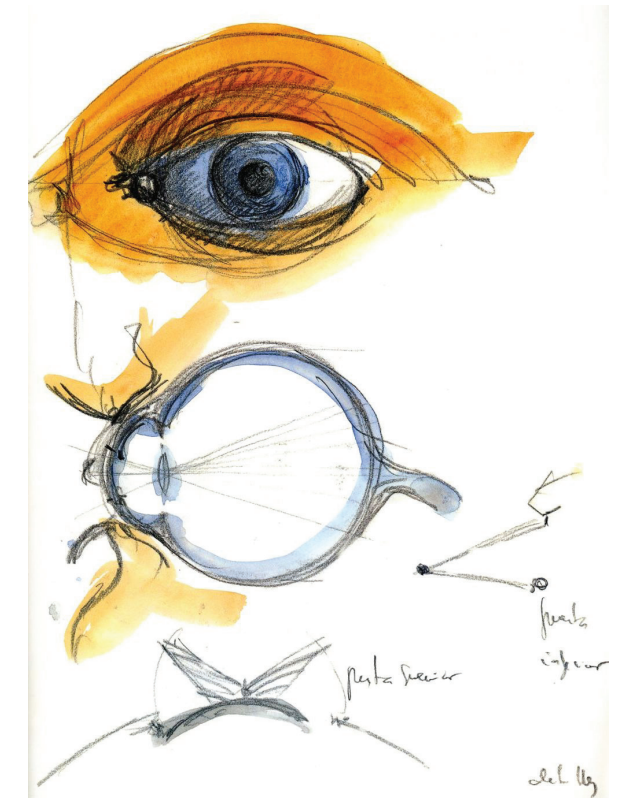


Figure 20: Croquis de Calatrava

Cette approche vis-à-vis de la nature est également reliée à une utilisation dans la géométrie. On voit clairement cette pensée à travers la présence de la demi-sphère de béton, la sphère étant un volume géométrique qui fascine par sa perfection et qui attire l'attention à cause des prouesses techniques que son utilisation implique.

Un autre point important pour Calatrava qu'il a intégré dans son bâtiment est le mouvement. Dans le cas de l'Hémisphérique, les panneaux latéraux de la coque extérieure peuvent s'élever et créer une ouverture sur le reste de la cité des arts et des sciences. Cette ouverture reprend le mouvement d'une paupière qui se ferme et s'ouvre pour dévoiler la pupille de l'oeil, la sphère servant de salle de projection. L'utilisation du mouvement par Calatrava découle en partie de son utilisation de la nature, la motricité faisant partie des richesses des organismes vivants, particulièrement chez les hommes et les animaux. L'étude de ces corps permet également de comprendre comment ils se meuvent et quel est le rôle que leur structure et leur composition jouent dans ce mouvement. La richesse de la nature, soit celle d'un oeil

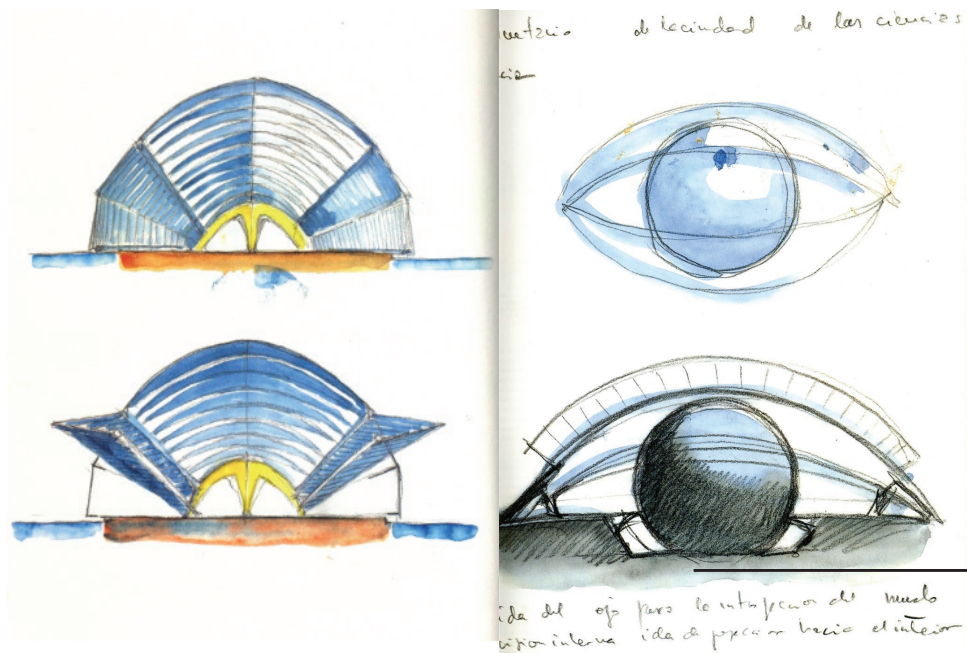
Figure 20. JODIDIO, Philip (octobre 2014), «Santiago Calatrava - Complete Works 1979-2009», <http://dilettante31.over-blog.com/article-santiago-calatrava---complete-works-1979-2009-68499542.html>

dans le cas de ce bâtiment, peut difficilement se transmettre uniquement par une structure fixe. Pour Calatrava le mouvement est quelque chose d'une très grande importance qui ne peut se dissocier de la matière:

« I am especially intersted in the idea of kinematics. Strength both in architecture and in mechanics is equal to mass by acceleration. Mass is an abstract universal unit. So this means that mobility is implicit in the concept of strength »²

Cette idée de masse s'applique de très proche au béton, matériau très prisé par Santiago Calatrava. Par contre, le béton n'est pas associé à première vue au mouvement. Calatrava ne s'arrête pas à cette première impression. Dans le cas de l'Hémisphérique, une partie de la structure extérieure est faite en béton, ce qui ne l'empêche pas d'utiliser la notion d'ouverture.

Le mouvement peut également apporter une notion de surprise et d'unicité, puisque c'est quelque chose de peu fréquent dans un bâtiment, notamment lorsqu'il s'agit d'une ouverture de la grandeur de celle que l'on retrouve pour l'Hémisphérique. La possibilité de faire bouger une partie du bâtiment force également à pousser les prouesses techniques à leur maximum. Par exemple, dans le cas étudié, la paupière qui s'ouvre a forcé la création de la structure sur pivot, tout en devant s'assurer de garder la stabilité de l'ensemble.



Figures 21 et 22: Croquis de Calatrava

2. CALATRAVA, Santiago (1993), *Dynamische Gleichgewichte Neue Projekte*, Zurich, Artemis.

Figure 21 et 22: MOREAEDSIGN (octobre 2014), «More About: Valencia City of Arts - Valencia, Spain», <http://moreaedesign.wordpress.com/2012/page/2/>

Le mouvement, en plus de fournir une ouverture sur le monde, qui consiste en la mission du bâtiment, permet de créer des pare-soleil formés par les parties mobiles une fois remontées. Par ailleurs, ces panneaux ouvrants permettent de donner naissance à de nombreuses ambiances. L'aspect du bâtiment est complètement changé en fonction du degré d'ouverture des panneaux latéraux, de l'heure de la journée et de l'éclairage. Par exemple lorsque les façades sont ouvertes, on ressent un sentiment de légèreté et de flottement que l'on ne perçoit pas lorsque ces dernières sont fermées.

La lumière est également d'une très grande importance dans le projet de l'Hémisphérique. Les matériaux utilisés dans le projet sont blancs. L'aluminium est peint en blanc, le béton est blanc et les tuiles fragmentées sur la sphère centrale sont également blanches. La blancheur permet de créer une union entre les différents bâtiments de la Cité des arts et des sciences qui reprennent les mêmes matériaux et utilisent des teintes identiques. Cet aspect peut également être retrouvé dans de nombreux projets de Calatrava, ce qui est un des éléments qui permet de reconnaître facilement les projets faits par l'architecte. Dans tous les cas, c'est surtout la couleur des matériaux qui est utilisée, plutôt qu'une peinture. Cette sobriété, venant de l'utilisation du blanc, est enrichie par un jeu d'ombres et de lumières. Ce jeu crée des ambiances riches et variées tout en demeurant très sobre, ce à quoi l'utilisation unique de la couleur peut difficilement arriver. L'utilisation d'une forme géométrique comme la sphère ainsi que l'utilisation d'une structure répétitive permettent de créer des ombres intéressantes.



Figure 23: Jeu de lumière sur L'Hémisphérique

Figure 23. SANTIAGO CALATRAVA LLC (octobre 2014), *Santiago Calatrava*, www.calatrava.com/#/Selected%20works/Architecture?mode=english

Dans le cas d'un planétarium, le contrôle de la lumière est d'une importance marquée. Il est nécessaire d'avoir un espace très sombre pour la salle de projection, soit la sphère en béton qui est complètement fermée. On désire également obtenir un espace avec de la lumière naturelle afin de créer des ambiances de qualité. L'espace entre la structure et la sphère répond à ce critère de lumière abondante grâce à la présence importante de panneaux vitrés. L'utilisation de lumière de différentes couleurs, la nuit venue, permet de créer des ambiances différentes et un aspect d'interpellation envers les visiteurs situés à l'extérieur du bâtiment. D'autre part, le jeu de réflexion sur les bassins tire avantage de la lumière. La lumière enrichit l'image projetée sur les surfaces de l'eau. Cette image étant tributaire de la température, elle n'en est que plus riche. Par exemple, lorsque le vent se lève, la réflexion n'est pas visible. Finalement, la lumière joue un rôle sur plusieurs niveaux du projet et assure une grande partie de la richesse de celui-ci, même si cet aspect n'est pas celui que l'on remarque aux premiers abords.

Par ailleurs, Calatrava travaille généralement la conception de ses projets en coupe. On peut assumer que le projet de l'Hémisphérique fut aussi conçu à l'aide de cette manière de représentation. Pour cet architecte valencien, la résolution en coupe, en plus de permettre de comprendre la composition du bâtiment et les relations entre les différentes parties, permet de voir la beauté et la complexité de la structure, élément constructif qui est très important dans le processus de création de Calatrava. Dans le cas de ce bâtiment pour la cité des arts et des sciences, la coupe permet de comprendre le jeu entre les différents niveaux, ainsi que la force formelle de la sphère dans le concept du projet. On voit également la relation entre les différents éléments structuraux du projet. La fonctionnalité du projet y est grandement résolue. En voyant le projet en coupe, on comprend le celui-ci différemment en comparaison à lorsqu'il est vu seulement de l'extérieur. La coupe nous permet de percevoir une partie de l'expérience que les visiteurs vivront lors de leur déambulation dans l'Hémisphérique.

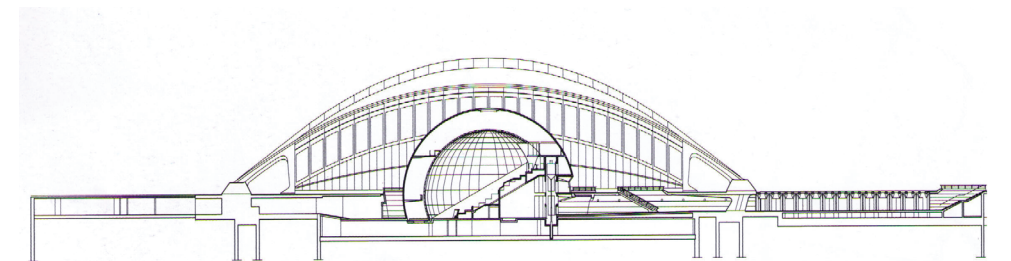


Figure 24: Coupe du projet

En conclusion, l'Hémisphérique tire sa force conceptuelle de nombreux aspects que l'on retrouve dans plusieurs projets précédents de Calatrava. Ces qualités sont l'utilisation de formes de la nature, dans ce cas de la forme d'un oeil, de l'utilisation du mouvement, de l'exploration de l'ombre et de la lumière ainsi que l'approfondissement et l'élaboration du travail en coupe. Le tout permet d'offrir un bâtiment qui sert de vitrine internationale pour Valence à l'image du nouveau millénaire.

Figure 24. TZONIS, Alexander (2007), *Santiago Calatrava, The complete Works*, New York, Rizzoli International Publications, p.216.

D. ATTRIBUTS CONSTRUCTIFS ET DÉTAILS DU PROJET

Dans le complexe de l'hémisphère, Calatrava conçoit le schéma d'une nacelle transparente en béton de 110 mètres de long et 55,5 mètres de large, qui accueillera un planétarium de forme sphérique. Le planétarium, aussi appelé hémisphère, ou hémisphérique, est représenté par un globe flottant à l'image d'un œil, situé sous la coquille transparente de verre et de béton. Rattaché à la coque, un système de lattes montées sur une tige pivotante est retrouvé sur chaque façade.



Figure 25 : Hémisphère en phase de construction

Les étapes générales de la construction :

1. La globe
2. Les contreforts
3. Les arches en béton armé
4. Les contreventement de toiture
5. Les arches secondaires en acier
6. Les entretoises
7. Les «paupières» amovibles
8. La toiture

L'Hémisphère semble d'un bâtiment complexe à première vue, mais les huit éléments clés qui correspondent au processus de construction ont une logique structurale simple. Le globe fut le premier élément construit. Ce dernier, entièrement fait de béton armé, abrite le «Imax Digital», mais ne participe pas au système de structure. Consécutivement, les contreforts sont mis en place afin de permettre une solidité structurale. Pas la suite, les contreventements de toiture, les arches secondaires en acier, ainsi que

Figure 25. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 162.

les entretoises furent construites. Ces quatre éléments solidifient l'arche de la toiture et supportent la structure des paupières amovibles. Finalement, le revêtement de toiture fut ajouté pour compléter l'étanchéité du bâtiment.

Système structural

De manière générale, tous les projets de Calatrava cherchent à résoudre la conception et les questions structurales par l'optimisation, soit en minimisant les ressources ou en maximisant les performances. Ainsi, le profilage des éléments qui composent la structure implique une modification de la forme en fonction des charges reprises. De plus, la différenciation des éléments selon les matériaux et la spécialisation de leur fonction permet de diviser la structure en plusieurs parties, dont chacune performe une fonction différente selon le matériau optimal à celle-ci. Concrètement, un élément qui travaillerait à la fois en compression et en tension serait divisé selon le type de charge repris, auquel le concepteur attribue une matérialité différente qui répond adéquatement à celle-ci. Par exemple, le béton sera préféré aux charges en compression alors que l'acier sera utilisé en tension.

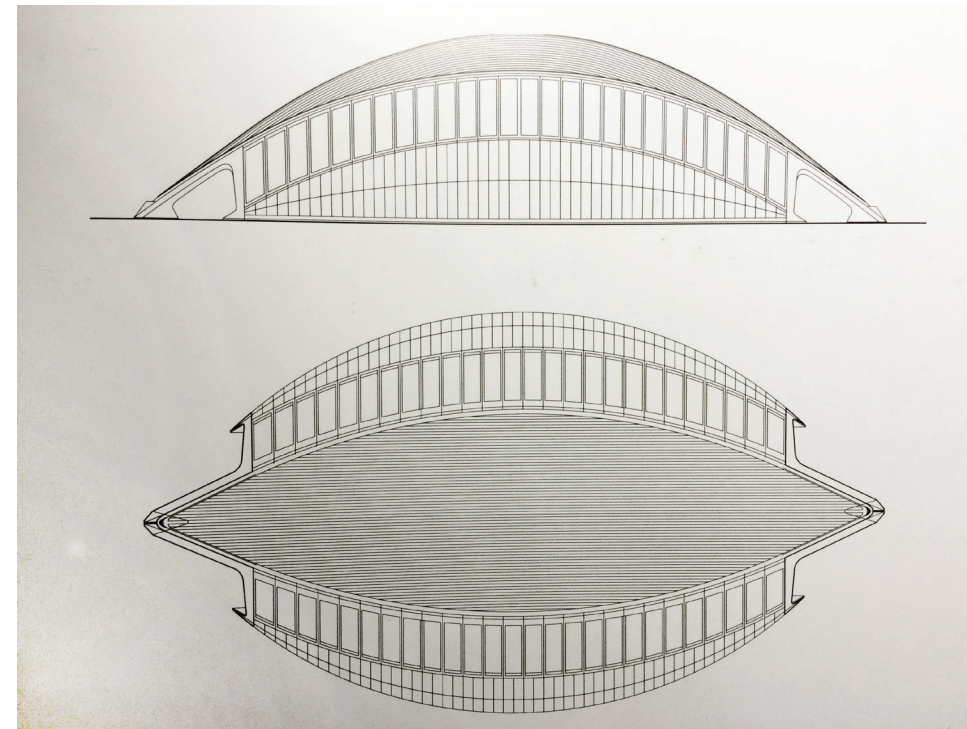


Figure 26 : Élévation et plan formel de l'Hémisphère

Santiago Calatrava conçoit la structure à partir d'une recherche entre une composition qui appartient au domaine de la nature et de l'innovation dans ses recherches formelles. En raison de sa formation d'ingénieur et d'architecte, il cherche à innover sans toutefois faire de ses projets un éloge aux possibilités permises par la technique. Il parvient donc, dans l'Hémisphère, à créer un équilibre entre l'esthétisme formelle et les prouesses techniques.

Figure 26. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 161.

Concernant les distributions de charges dans les différents éléments structuraux de l'Hémisphère, on retrouve un système plutôt simple mais efficace. En effet, les forces verticales sur la toiture du planétarium sont transférées aux arches en bétons armés. Ensuite, ces efforts, maintenant en compression dans les arches, sont retenus aux extrémités par des contreforts triangulaires. Ces charges sont redistribuées finalement au sol grâce au système en compression. La symétrie du bâtiment permet le bon fonctionnement de ce système de transfère de charge.

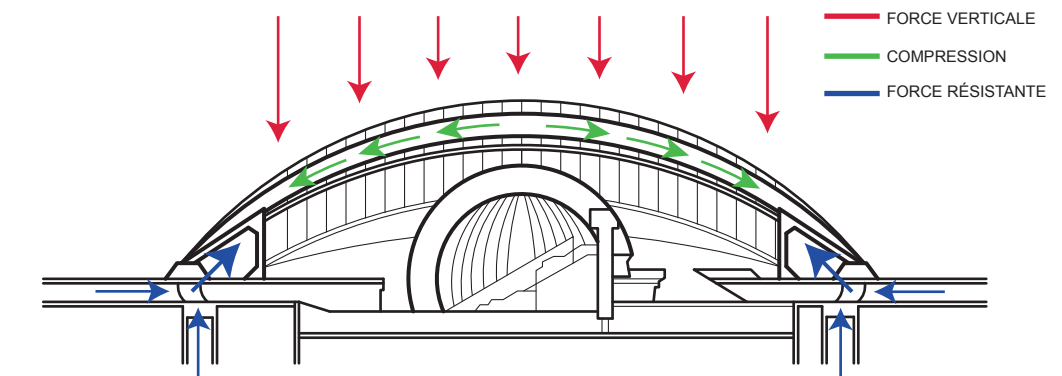


Figure 27 : Schéma des forces verticales

Le poids de la partie amovible, soient «les paupières», est transféré à travers les meneaux en acier qui travaillent en tension pour passer aux arches secondaires, également en acier, et finalement à travers l'arche principale en béton armé. Comme pour les forces verticales de la toiture, le poids de la paupière est enfin transféré au sol à l'extrémité des arches.

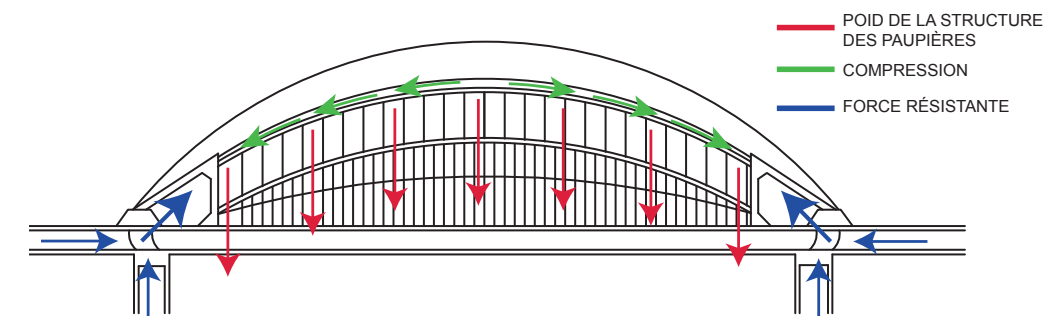


Figure 28 : Schéma des forces sur la partie amovible de l'Hémisphère

Dans un autre sens, les forces externes latérales appliquées aux côtés du bâtiment sont balancées par les contreforts triangulaires. Les forces en compression sont transférées aux coins perpendiculaires à l'arche en béton, tandis que les forces en tension sont transmises aux coins parallèles de l'arche (Voir figure 29).

Figure 27 et Figure 28. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 161.

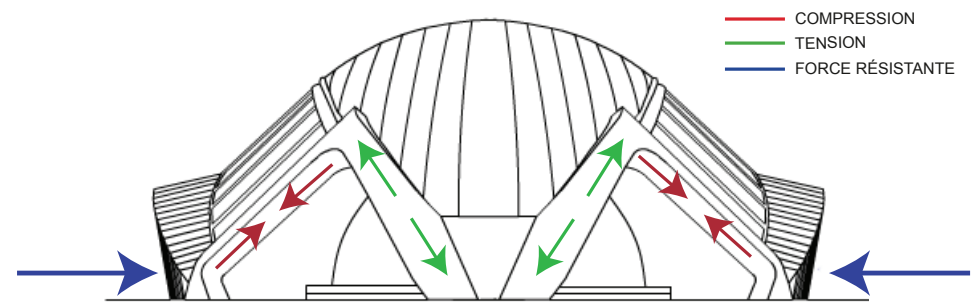


Figure. 29 : Schéma des forces latérales

Le vent est un aspect que l'on ne peut pas négliger avec des formes sphérique comme celles utilisées dans l'hémisphère. En effet, les surfaces qui sont parfois complètement ouvertes représentent un véritable défi. Par exemple, si Calatrava avait utilisé une toile pour couvrir le bâtiment, celle-ci n'aurait pas résisté aux forces ascendantes qui entrent et qui auraient soulever la structure. Dans le cas de l'Hémisphère, la force ascendante du vent à l'intérieur du bâtiment est contrebalancée par le poids de la partie en béton de la toiture.

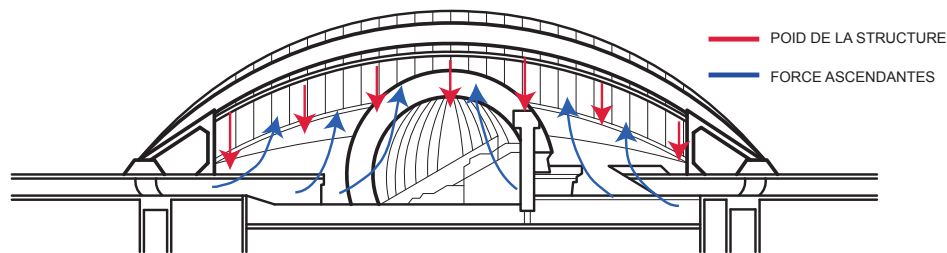


Figure. 30 : Schéma des forces ascendantes du vent

La toiture agit comme une poutre suspendue aux deux extrémités. Sa forme reçoit le plus de fléchissement à la partie centrale et est donc plus épaisse au centre. Les deux extrémités recevant moins d'effort de fléchissement doivent résister aux forces de cisaillement et ont donc plus d'attaches pour soutenir l'arche. Les charges latérales appliquées au toit sont transmises au sol à travers les entretoises.

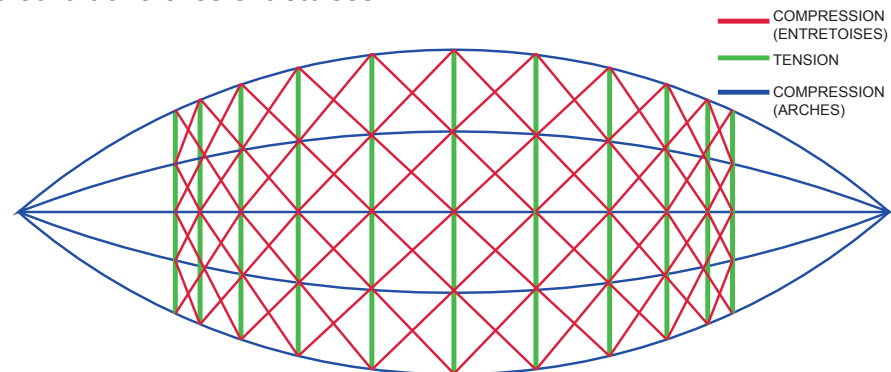


Figure. 31 : Schéma de toiture

Figure 30. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), Spain, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 161.

Système de «paupières»

Une architecture permettant le mouvement est une caractéristique fréquente des projets de Santiago Calatrava. Le mouvement a toujours fasciné ce dernier et est une source d'inspiration et d'évolution pour certaines parties de ses structures. Pour lui, un édifice n'est pas juste une image faite de différents volumes et textures, mais bien un objet dynamique. Deux parties du toit du pavillon s'ouvrent et se ferment, ce qui permet d'offrir des vues dégagées sur le ciel. Ces ouvertures, souvent appelées les «paupières», sont équipées d'un système de lames montées sur des tiges de pivotement central qui sont opérées par un mécanisme hydraulique commandé par ordinateur. Pendant les journées calmes et dégagées, les «paupières» sont ouvertes pour de meilleures vues et une meilleure ventilation. Lors des journées venteuses ou pluvieuses, les paupières sont fermées pour abriter les visiteurs. Normalement les paupières s'ouvrent et se ferment plusieurs fois par jours, malgré la consommation d'électricité élevée que le système induit. Quand le mécanisme hydraulique se contracte ou se dilate, les angles entre chaque tige et arche en acier changent. Pour rendre ce mouvement possible, des joints en charnière sont utilisés. Il y a trois grandeurs différentes de tiges en acier pour composer les paupières. Les trois tiges rentrent les unes dans les autres pour créer le mouvement d'ouverture et de fermeture. Elles sont ressorties au maximum lorsque les paupières sont ouvertes et rétractées à leur minimum lorsque les paupières sont fermées. Les deux paupières sont indépendantes l'une de l'autre donc l'une peut être ouverte lorsque l'autre est fermée.

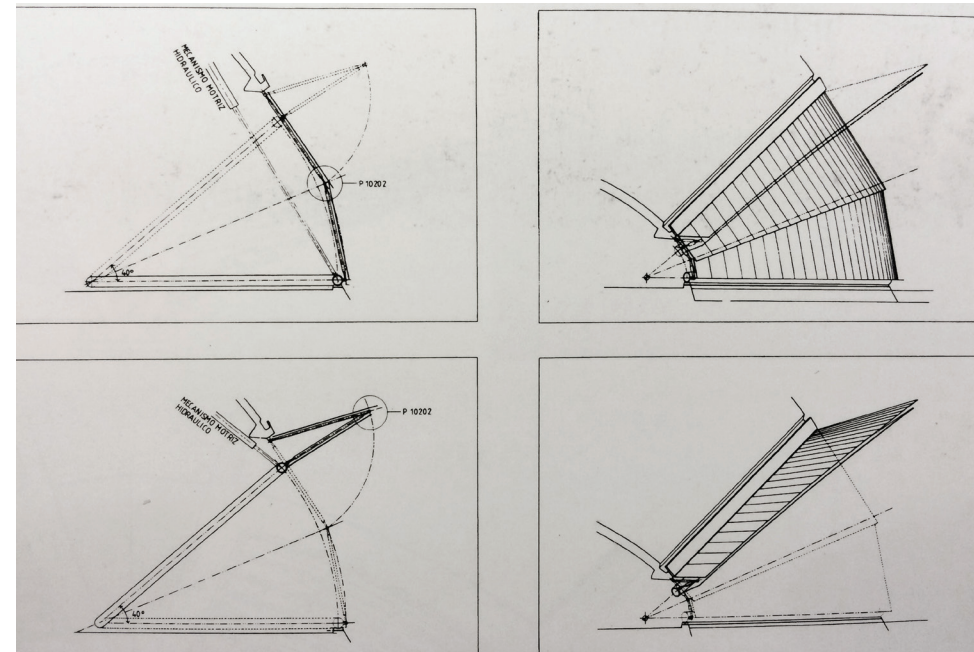


Figure. 32 : Détail des «paupières»

Le planétarium obtient un effet de légèreté et de flottement lorsque sa structure s'ouvre. La cavité en béton de l'œil contient des auvents en aluminium qui varient en terme de grandeur. Ces derniers peuvent se plier vers le haut

Figure 32. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), Spain, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 163.

de façon collective ou individuellement. Le tout forme un toit brise-soleil qui s'ouvre le long de l'axe central courbe afin d'imiter la structure d'une plume. L'encaissement de béton a été agrandi vers le haut et les brise-soleil ont été réduits et remplacés par un système de lattes montées de chaque côté d'un pivot. Les brise-soleil sont rétractés à l'extérieur de la structure par des cylindres télescopiques (voir figure 33).

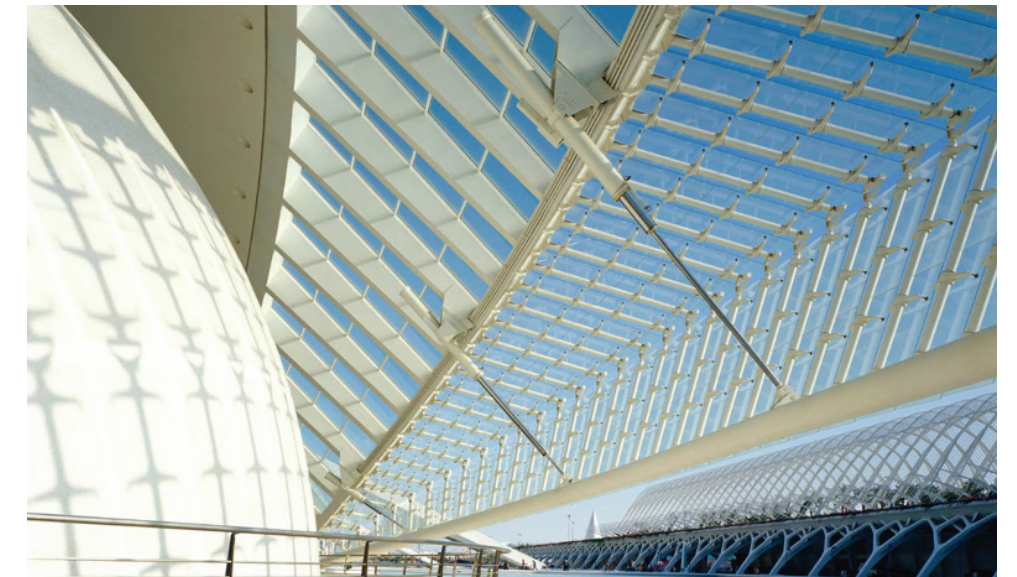


Figure. 33 : Cylindres télescopiques en fonctionnement

Matériaux

Le choix des matériaux est également un élément du projet qui est essentiel pour Calatrava. Le bois, l'acier ou le béton peuvent être utilisés selon les circonstances locales et économiques. Ces éléments, ainsi que d'autres, conduisent à certaines solutions structurelles par un processus d'élimination. Il n'utilise pas beaucoup de couleur, si ce n'est la couleur des matériaux en soit. Il utilise par contre la lumière et l'ombre comme élément d'expression dans son architecture.



Figure. 34 : Vue d'une «paupière» ouverte

Les trois matériaux principaux de l'Hémisphère sont le béton, le verre et l'acier. Comme d'habitude, Calatrava choisit le béton comme matériau de prédominance pour le bâtiment. La structure principale de l'ellipse est une énorme surface en béton fait de profilés en I laminés. La couleur plutôt blanchâtre du béton est laissée pour se fondre avec le ciel et l'eau autour du

Figure 33 et Figure 34. IDESIGNARCH, www.idesignarch.com/wp-content/uploads/LHemisf%C3%A8ric-Valencia_4.jpg

bâtiment. Comme Gaudi, Calatrava a aussi utilisé des fragments de tuiles brisées pour ce bâtiment de Valence, où la tuile consiste en qui est une importante industrie. Ces matériaux unifient les différents éléments de structures (figure 35).



Figure. 35 : Vue intérieure de l'Hémisphère

Le verre

Les « paupières » rétractables sont composées de verre laminé. Un grand défi du projet fut de réaliser des surfaces vitrées de grandes dimensions (3,1 m par 1,8 m), puisque les assemblages se font seulement en quatre points. Le toit est couvert avec du verre sur une structure fixe à la différence

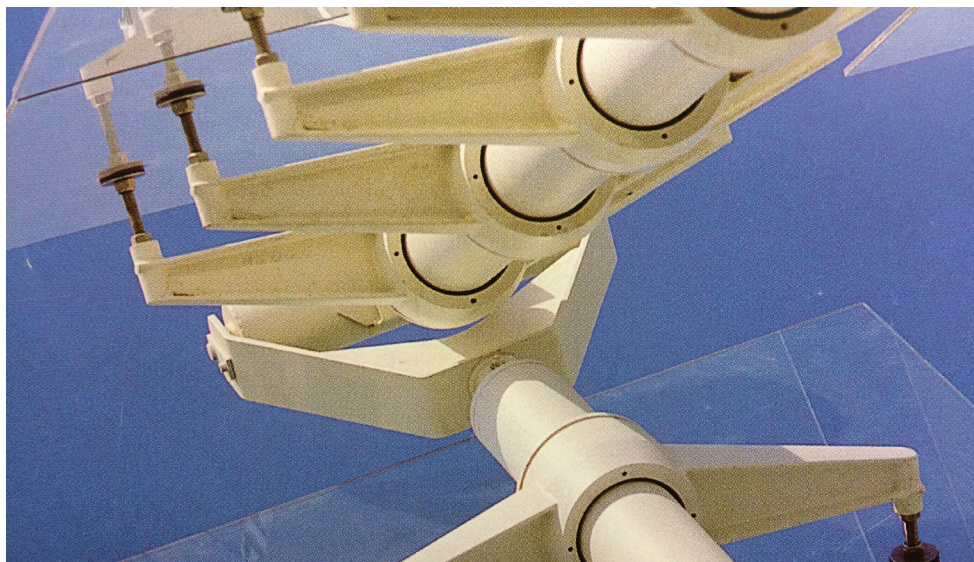


Figure. 36 : Partie amovible

des paupières. Un total de 372 pièces irrégulières de verres ont été utilisées pour couvrir une superficie totale de 1500 m².

L'acier, qui a été utilisé comme structure secondaire pour la toiture et pour

Figure 35. PHOTOMAPS, *Hemisféric (Interior)*, www.photonmaps.com/data/2376/cache/354954t740r50012.jpg

Figure 36. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 163.

maintenir le verre en place, est peinturé en blanc pour s'agencer avec la couleur naturelle du béton.

Équipements techniques

Les équipements pour les générateurs, les pompes, les filtrations et les services d'urgence se retrouvent aux niveaux -11.00 mètres (le premier sous-sol) du côté ouest du bâtiment. Le planétarium a un système central qui contrôle l'électricité, les détecteurs d'incendies, la purification de l'eau des bassins

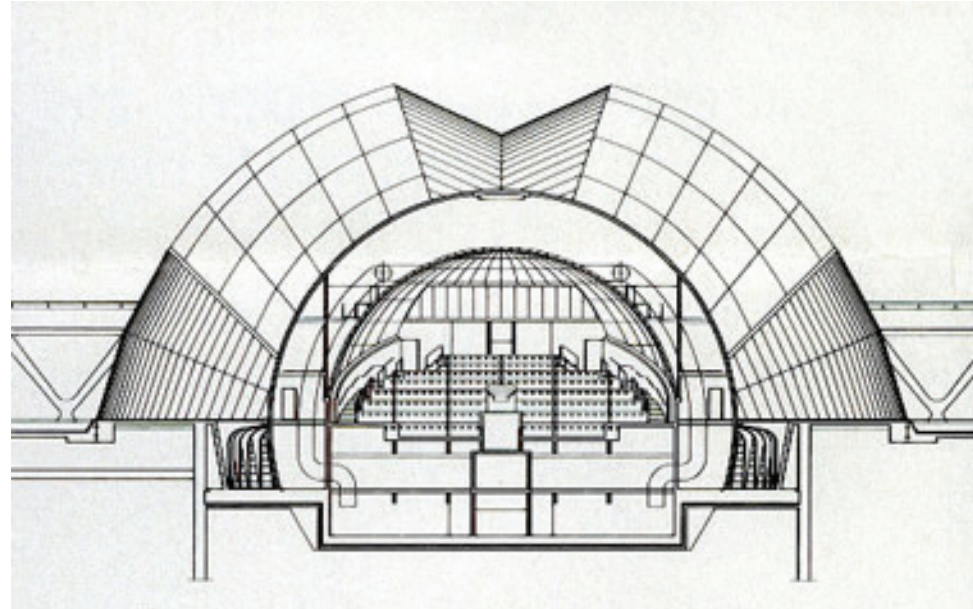


Figure. 37 : Coupe latérale de l'Hémisphère

du site, le mouvement des murs amovibles et les lumières intérieures et extérieures du bâtiment. Ce système s'adapte également à la température. Le projet de l'Hémisphère utilise des systèmes environnementaux comme la lumière et la ventilation naturelle. En plus de la grande utilisation de verre pour ce bâtiment, l'eau qui l'entoure est conçue tel un miroir pour amener davantage de lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment. Les grandes paupières permettent de plus une ventilation naturelle quand elles sont ouvertes. Cependant, ce bâtiment n'est pas un bon exemple de projet durable

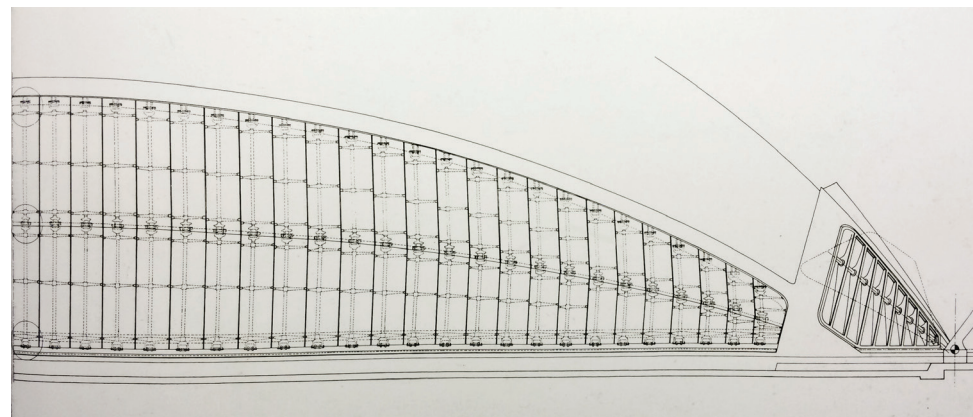


Figure. 38 : Détail de la façade amovible

Figure 37 et Figure 38. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, pages 160 et 163

en raison de sa forte consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement du système mécanique des paupières.

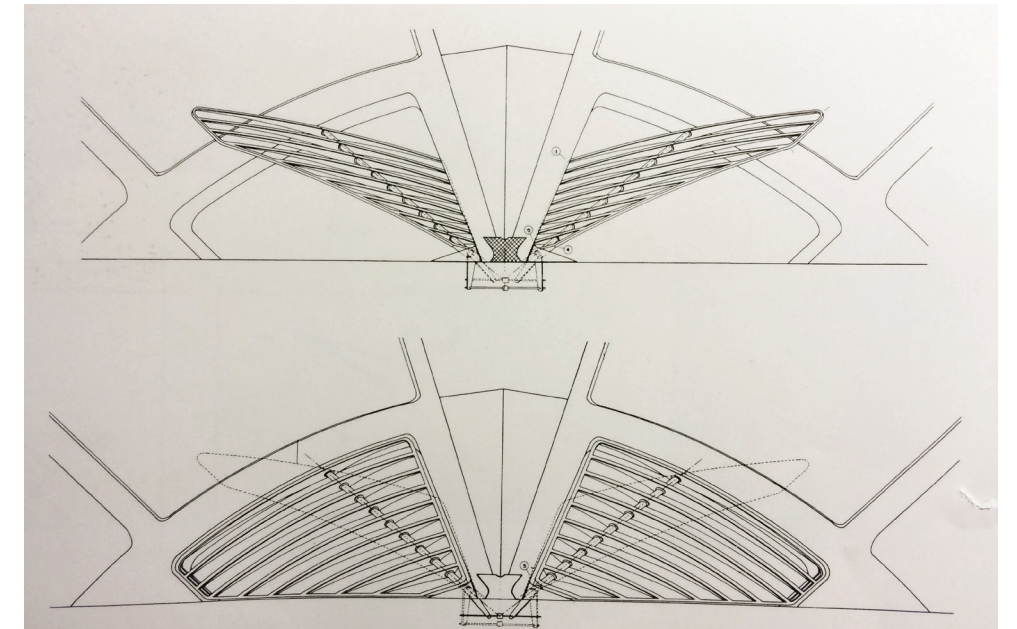


Figure. 39 : Dessins des portes d'entrées

Comme pour les paupières, l'entrée du bâtiment est inspirée par un mouvement dynamique. Le mouvement est réalisé par un système de murs qui tournent autour d'un axe décentré. L'ouverture est créée lorsque les murs sont pivotés à 90 degrés.

Calatrava met l'emphase sur la stabilité ainsi que sur la défense à long terme de la désintégration de ses projets. Le programme et la façon dont les gens expérimentent le bâtiment est également un facteur crucial pour l'architecte. Enfin, l'enveloppe qui recouvre tous les éléments du projet est souvent traitée comme coquille protectrice des espaces. Tout ceci est bien démontré dans le projet de l'Hémisphère. Ainsi, celui-ci tient compte d'un programme particulier ainsi que de l'environnement dans lequel il s'inscrit.

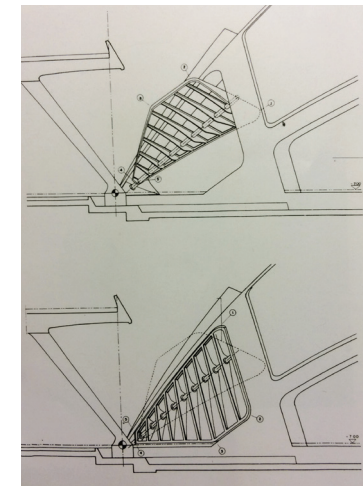


Figure. 40 : Dessins des portes d'entrées

Figure 39 et Figure 40. CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 164.

E. RAPPORTS ENTRE LES INTENTIONS CONCEPTUELLES ET LES ATTRIBUTS CONSTRUCTIFS DU PROJET

Le projet pour la cité des arts et des sciences cultive un rapport très étroit entre les idées conceptuelles initiales et les choix techniques et matériels. En premier lieu, ce rapport relève de principes formels soigneusement étudiés dans les observations artistiques de l'architecte. Ses nombreux croquis sur l'étude de l'œil humain, déjà présents dans ses précédents travaux, sont ici approfondis de manière beaucoup plus symbolique. L'analogie de l'œil à la formalisation finale du projet ne relève toutefois pas d'un simple fantasme de l'architecte. Elle permet d'une part une réponse programmatique adéquate relative à la demande du client, soit celle d'un planétarium. La forme sphérique habituellement associée à ce type de bâtiment est réinterprétée de manière à lui attribuer une signification. La métaphore de l'œil, dans ce cas précis, est justifiée par la vision de l'homme sur le monde qui l'entoure, ainsi que de sa position en tant qu'observateur dans un univers. Plutôt que de simplement répondre au programme par une forme, cette symbolique devient porteuse d'une image à laquelle le futur utilisateur du bâtiment peut s'attacher et découvrir à sa manière.

D'autre part, le rapport entre l'idée de l'œil et sa formalisation permet d'orienter l'organisation structurelle et spatiale de la construction. La structure même de l'œil et l'organisation interne de l'organe permettent à l'architecte de guider son travail par rapport à la construction. Ainsi, la paupière supérieure est perçue tel un élément mobile qui permet un rapport direct entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, au même titre que cette section de l'organe dicte notre rapport visuel entre nous et notre milieu. La sclérotique, qui caractérise le blanc de l'œil, est transcrite par un espace vaste qui appuie et navigue autour d'un élément central. Le planétarium, qui consiste en le principal élément du programme est comparé à la pupille comme point névralgique du projet.

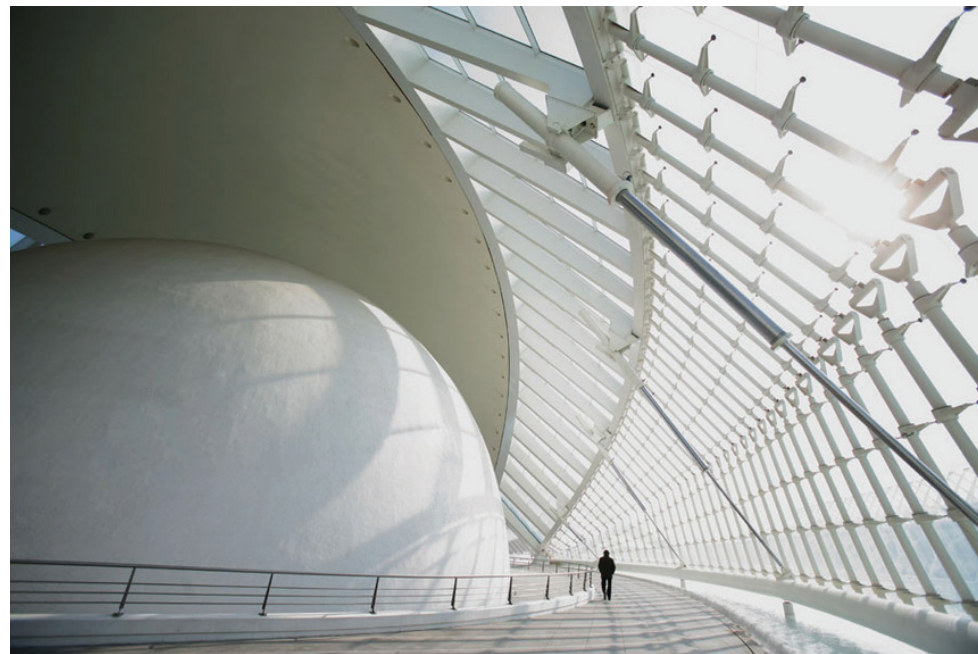


Figure 41: Espace servant autour du planétarium

Figure 41: DE PRENSA, Gabinete (octobre 2014), «Hemisfèric», <http://www.cac.es/prensa/galeria/hemisferic/>

Cette structuration du programme à la manière de l'œil apparaît également dans les proportions générales du bâtiment. Ainsi, le rapport d'échelle qu'entretient le planétarium avec les espaces de soutien est similaire à celui de la pupille et de la sclérotique. Ces relations de proportions sont permises grâce aux explorations que l'architecte fait en début de projet. Ainsi, ses croquis initiaux analogiques à l'œil sont porteurs autant de l'organisation spatiale que du rapport entre les éléments qui composent le projet. C'est à cette étape que la plus grande partie des idées formelles de l'architecte se construisent et s'organisent.

Le schéma de l'œil se dévoile également dans l'ordonnance de la structure du bâtiment. La façon dont l'architecte organise le système structural suit une logique très similaire à la structure de l'œil. Les arches de béton armé qui reprennent la charge de la toiture définissent la limite supérieure du bâtiment de façon similaire à l'orbite qui charpente l'organe visuel. Ces arches sont reprises à la base par des contreforts qui rappellent étonnamment la manière dont se terminent les coins inférieurs de l'œil. Ces éléments structurels ajoutent à la valeur symbolique du bâtiment. Comme pour le planétarium, Calatrava parvient à donner un sens à l'ensemble du système qui hiérarchise le projet, autant sur le plan constructif, que fonctionnel. La technique sert donc pleinement à l'architecte afin de matérialiser son idée de départ.

Calatrava applique toutefois des principes d'optimisation à la structure du bâtiment. Ces principes, qui se retrouvent dans la totalité de son œuvre au fil de sa carrière, lui permettent de réfléchir la formalisation de son idée initiale à un degré supérieur. Dans un premier temps, le profilage de la structure suit les forces de tension ou de compression qui la traverse. Il se crée donc un rapport étroit entre les contraintes structurales et l'organisation de la structure. Calatrava réplique aux charges structurales par une réponse conforme aux mouvements qu'elles dictent. Par exemple, l'arche de béton armé qui supporte la toiture est épaissie au centre puisqu'elle doit reprendre une charge plus grande. Le profil de la structure se raffine toutefois au fil que la charge devient moins importante. Très attentif aux demandes de la structure, l'architecte y voit plutôt une opportunité à suivre celles-ci. Le profilage sert de plus à bonifier le concept par une sorte d'élégance qui en résulte.

Dans un second temps, l'optimisation est appliquée au choix des matériaux. Chacun des éléments qui composent le projet a une matérialité soigneusement sélectionnée pour répondre pleinement à la fonction qui lui est demandée. Ainsi, le béton choisit pour les arches et les contreforts permettent une optimisation de la charge en compression, alors que l'acier utilisé pour les éléments mobiles est plus efficace en tension. Aucun de ces éléments n'est laissé au hasard. L'ensemble des attributs constructifs du projet relève ainsi d'un choix d'optimisation. Toutefois, Calatrava parvient, en demeurant fidèle à ses idées conceptuelles initiales, à les formaliser de manière beaucoup plus significative.

La matérialité atteint un nouveau degré dans le rapport qu'elle entretient avec les espaces et l'idée formelle de l'œil. D'une part, le verre est utilisé sur la grande partie des surfaces de l'enveloppe afin de créer le contact visuel entre le milieu intérieur et l'environnement extérieur. La transparence permet à l'observateur situé à l'intérieur d'être constamment en lien direct avec le site, et particulièrement avec le ciel qui laisse pénétrer une lumière abondante. L'observateur situé à l'extérieur, quant à lui, distingue facilement les traits intérieurs de l'espace, annoncés particulièrement par l'importance attribuée à la sphère du planétarium. Ce rapport est ainsi un dialogue visuel, à la manière d'un œil, comme si le bâtiment regardait réellement le monde qui l'entoure. D'autre part, le choix de la couleur blanche pour la majorité des composantes du projet suit les mêmes prémisses initiales au concept. Le blanc permet la réflexion de la lumière dans les espaces intérieurs, qui contraste fortement avec l'intérieur sombre du planétarium. Cette opposition met une profonde emphase sur l'espace du planétarium lorsque le visiteur est appelé à y entrer. L'analogie à la rétine de l'œil est ainsi fortement suggérée, avec la sphère du planétarium faisant office du globe oculaire. Outre ce lien au concept initial de l'œil, le blanc est aussi caractérisé par l'utilisation d'un matériau local. Ce dernier, formé par des tuiles blanches qui recouvrent l'extérieur de la sphère, ainsi qu'une partie des surfaces intérieures et des contreforts, est associé à plusieurs projets de l'architecte Antoni Gaudí. Les tuiles permettent alors un ancrage encore plus fort avec le site et son milieu. Ceci démontre de la sensibilité de l'architecte à produire un projet qui dialogue avec l'environnement dans lequel il est implanté. Pour contraster avec le blanc à l'extérieur, des panneaux métalliques de couleur grise sont utilisés par l'architecte pour recouvrir la toiture. Ceux-ci viennent définir de manière encore plus significative l'emphase sur la sphère et les espaces intérieurs vus de l'extérieur.



Figure 42: Contact visuel avec le ciel depuis l'intérieur

Figure 42: PHOTONMAPS (octobre 2014), «Hemisfèric, City of Arts and Sciences, Valencia», <http://www.photonmaps.com/data/2376/cache/354953z752u500k2.jpg>

Les croquis initiaux de Calatrava pour le projet du planétarium et l'analogie à l'œil traduisent son désir de mouvement. Cette recherche du dynamisme est plutôt appréhendée comme une quête qui sert ultimement à bonifier l'expérience spatiale et à créer la cohérence entre les systèmes constructifs. Contrairement au projet de la gare de Lyon-Saint-Exupéry, où la poétique du mouvement de l'œil est ancrée dans une structure fixe, l'architecte pousse sa logique encore plus loin en appliquant un véritable mouvement potentiel à la structure. Ce dernier est obtenu grâce à un assemblage qui n'est pas sans rappeler l'un de ses précédents projets pour l'entrepôt Ernsting à Coesfeld en Allemagne, décrit précédemment. Un système hydraulique permet de soulever la quasi-totalité de la façade du bâtiment pour créer un lien encore plus direct entre le planétarium et son environnement. Comme pour l'entrepôt Ernsting, ce mouvement se termine par la formation d'une marquise au-dessus de la place. Comparée à une paupière, l'analogie à l'œil est ainsi complétée par le mouvement qui l'accompagne. Ceci démontre également l'habileté de l'architecte à réintroduire des principes précédemment réfléchis dans son travail pour les faire mûrir dans un nouveau contexte. La carrière même de l'architecte devient ainsi un milieu d'explorations dont le fil conducteur suit les principes du mouvement et son application à la construction.

La symbolique associée aux projets de Calatrava prend alors son sens. Celle-ci est beaucoup plus utilisée comme une méthode exploratoire que comme une finalité en soi. L'analogie, souvent récurrente dans l'élaboration de ses concepts, sert uniquement de ligne directrice pour créer une cohérence dans les éléments constitutifs du projet.



Figure 43: Croquis initial pour la conception des contreforts de béton

Figure 43: CALATRAVA, Santiago (octobre 2014), «Ciudad de las artes y de las ciencias», <http://www.calatrava.com/#/Selected%20works/Architecture/Valencia%202?mode=english>

La maîtrise de la structure et de la technique est certainement liée au passé du concepteur qui combine à la fois l'ingénierie et l'architecture. Si Calatrava ne fait pas de distinction entre le rôle de l'architecte et de l'ingénieur dans son processus de conception, un troisième rôle, celui de l'artiste, entre assurément en ligne de compte. Les croquis et sculptures qu'il fait en parallèle de sa pratique professionnelle lui permettent de structurer la manière dont il aborde et élabore ses projets. Comme dans le cas du planétarium, le bâtiment résulte d'une synthèse précédemment explorée dans le projet de la gare de Lyon-Saint-Exupéry qu'il approfondit par de nouvelles recherches. La relation qu'il entretient par la suite entre son expérience d'ingénieur et d'architecte lui permet de pousser sa synthèse à un niveau constructif et spatial beaucoup plus élaboré. Calatrava aborde ainsi la construction selon des principes structurels logiques combinés à des espaces riches en expériences. La structure est vue comme un générateur spatial, alors que la forme est nourrie par des concepts dynamiques justifiés par ses explorations. Cette intégration des différents domaines de pratique dans un même ensemble permet la cohérence générale des projets qui caractérise le travail de Calatrava.

Le sens attribué à la construction dans la pensée de l'architecte lui permet de valider le concept. La matérialité, les assemblages et la structure véhiculent tous la même idée. Dans le cas du planétarium, cette idée initiale de l'œil caractérise ultimement le mouvement et la dynamique de l'espace. Tous les éléments qui composent le projet travaillent en cohésion pour atteindre et matérialiser celle-ci. Le rapport est ainsi direct entre les attributs constructifs et l'idée génératrice du projet.

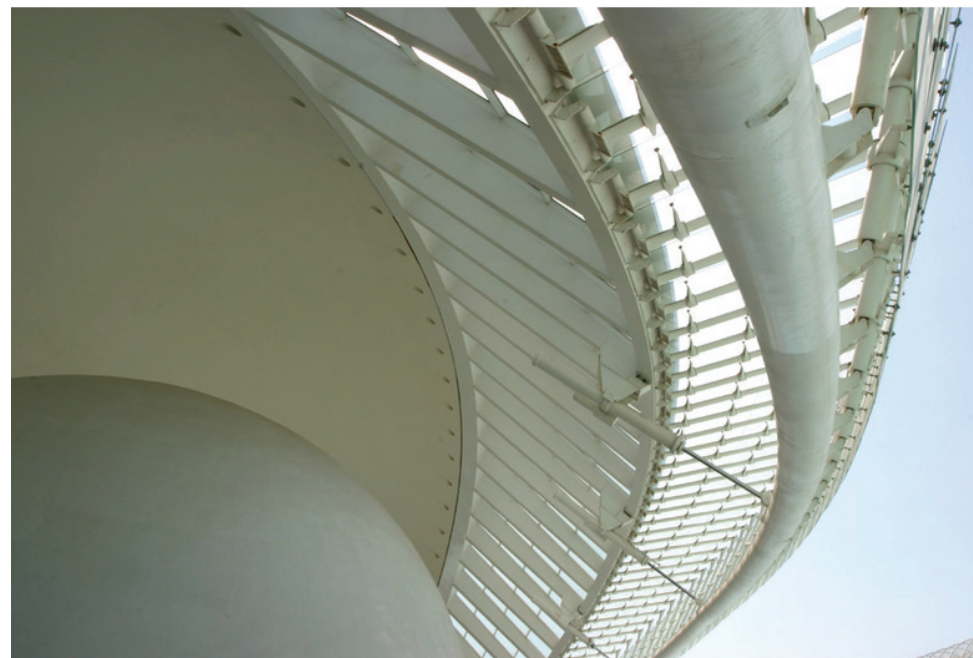


Figure 44: Vue du mécanisme d'ouverture de la façade

Figure 44: DE PRENSA, Gabinete (octobre 2014), «Hemisféric», <http://www.cac.es/prensa/galeria/hemisferic/>

L'approche constructive de Calatrava, vue selon la perspective des différentes catégories de Pierre Von Meiss par rapport aux attitudes des architectes envers la construction, navigue entre la technique exaltée et la technique servante. D'une part, la technique utilisée est résolue selon des principes logiques par l'optimisation des systèmes constructifs. L'optimisation justifie en partie l'approche formelle de l'architecte par rapport à la construction en plus de servir à générer et à raffiner le projet. En phase conceptuelle, son expérimentation régulière dans la sculpture ne suit généralement aucune forme prédéfinie et s'appuie sur le rapport matériel et structurel de l'objet. De plus, la technique est utilisée comme lieu d'expérimentation pour de nouvelles innovations, comme dans le cas du système hydraulique qui soulève la façade de l'hémisphère. D'autre part, Calatrava ne se limite pas à une approche pure et dure de la construction. Il l'utilise également au service d'un concept pour la subordonner à ses idées. Dans ce cas, la technique sert à autre chose qu'à s'exprimer elle-même. Dans le cas du planétarium, les éléments constructifs du projet véhiculent l'idée de l'œil et contribuent à amplifier cette image. Le travail de Calatrava résulte donc d'un équilibre entre ces deux approches.

L'architecte, dans la finalité du projet, provoque des expériences significatives réalisées grâce à l'intégration de la construction et du design dans un seul et même processus. En premier lieu, le rapport entre la matérialité et la lumière à l'intérieur des espaces est structuré par des principes constructifs. Cette relation crée des expériences spatiales uniques au projet. L'espace applique une importante correspondance entre les ambiances produites par les matériaux et la sensation provoquée chez l'observateur pour stimuler ses sens. En second lieu, le rapport qu'entretient le bâtiment à son contexte permet une évolution de son environnement. Intégré au site, le planétarium offre une nouvelle perspective de son entourage. L'ajout d'un bassin pour rappeler le passé fluvial du site crée en quelque sorte une nouvelle harmonie avec celui-ci. La réflexion du bâtiment sur la surface de l'eau crée également une illusion d'optique qui complète l'œil. Calatrava boucle ainsi la boucle derrière l'idée génératrice du projet.

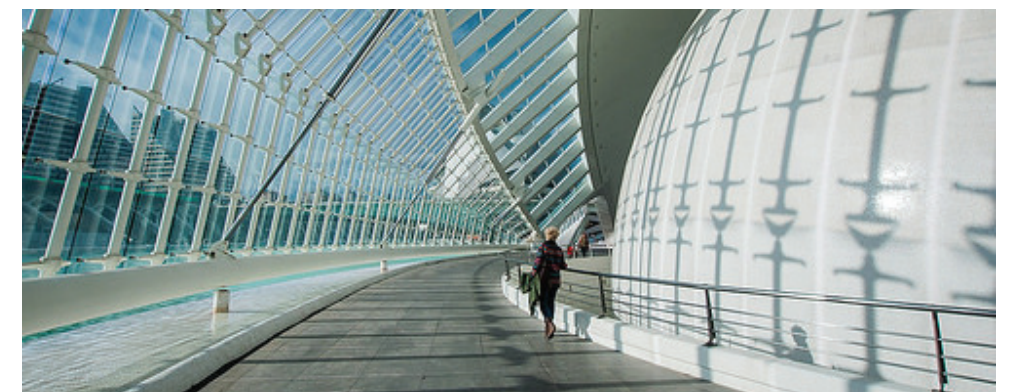


Figure 45: Espaces intérieurs sous la lumière du jour

Figure 45: CONDE, Javier (octobre 2014), «Hemisféric - Valencia - España (Spain)», <http://www.flickr.com/photos/53051728@N07/12569942965>

CONCLUSION

À la fois ingénieur, sculpteur et architecte, Calatrava utilise dans ses œuvres des matériaux comme le béton, le verre et l'acier, en plus de pousser ces derniers au-delà de leurs limites traditionnelles. Sa motivation pour explorer des concepts inspirés de la nature et du mouvement a mené Calatrava à créer une architecture dynamique. Son processus de travail entre la sculpture et le dessin lui permet de réaliser la complexité de ses structures. Sa pensée constructive appliquée à toutes étapes de ces projets l'aide à créer une composition architecturale efficace.

Le projet de l'Hémisphère fait l'objet d'un design complet fondé sur des idées architecturales prenant en compte le programme ainsi que l'environnement particulier de celui-ci. L'emploi d'un organe humain comme inspiration pour développer le projet est une méthode qui défie au maximum les lois de la physique et de la nature en architecture. Le mouvement des paupières qui transforme l'atmosphère de l'espace est un exemple authentique de l'expression du mouvement pour Calatrava. Ce projet démontre bien les pratiques fondamentales de l'architecte, soit des structures qui s'inspirent de la nature et une architecture qui exprime le mouvement.

Calatrava est un architecte avec une pensée très avancée sur l'architecture qui a été développée sur plusieurs années. Par contre, à plusieurs reprises, Calatrava a été poursuivi pour des déficiences architecturales d'assez grande importance. En effet, même avec une connaissance et une précision de techniques aussi poussées que celles utilisées par Calatrava, nous sommes rarement à l'abri de défaillances durant et après la réalisation du projet.

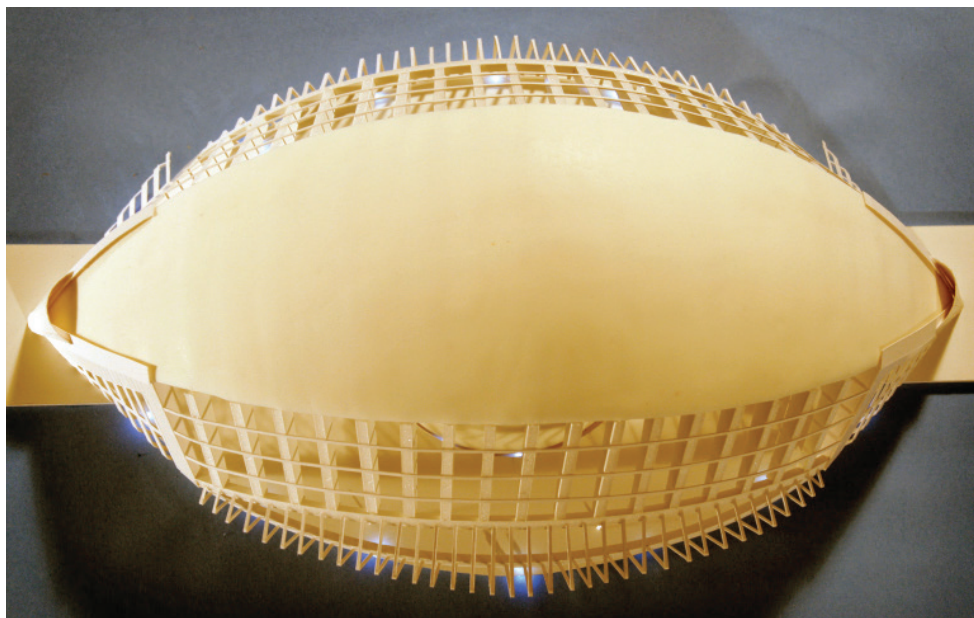


Figure. 46 : Maquette du projet

Figure 46. VCR DESIGNS, *Hemisfèric Model*, www.vcrdesigns.ca/images/architectural/calatrava/calatrava-6.jpg



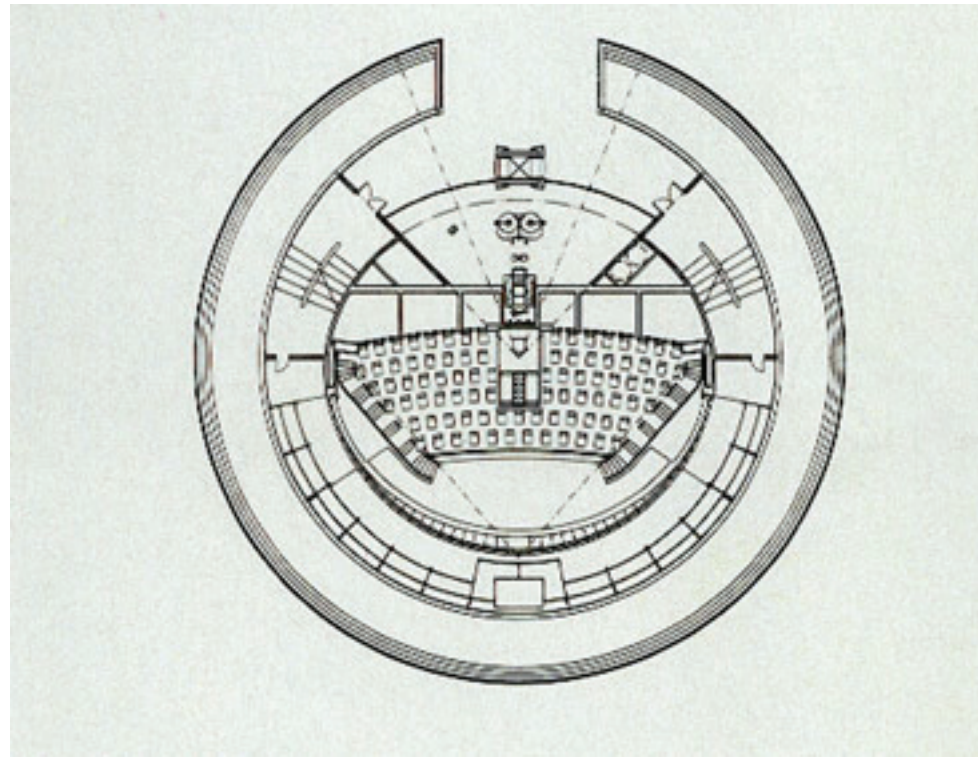
ARCHITECTURE LAB (septembre 2014), *Santiago Calatrava*, cdn.architecturelab.net/wp-content/uploads/2014/09/Santiago_Calatrava.jpg

BIBLIOGRAPHIE

- ARCSPACE (octobre 2014), «City of Arts and Sciences, Santiago Calatrava», www.arcspace.com/features/santiago-calatrava/city-of-arts-and-sciences/
- AHCOR (2002), www.ahcor.com/hemisferic/webpage.swf
- CALATRAVA, Santiago (1993), *Dynamische Gleichgewichte Neue Projekte*, Zurich, Artemis.
- CHARIOT, Constantin (2010). *Santiago Calatrava : sculptectures*, Bruxelles, Fonds Mercator, 63 p.
- CIUDAD DE LAS ARTES Y LAS CIENCIAS (octobre 2014), «Know the Hémisfèric», www.cac.es/hemisferic/conoce/
- GREENE, Robert (octobre 2014), «How Santiago Calatrava blurred the lines between architecture and engineering to make buildings move», *Archdaily*, www.archdaily.com/321403/how-santiago-calatrava-blurred-the-lines-between-architecture-and-engineering-to-make-buildings-move/
- JODIDIO, Philip (2003), *Santiago Calatrava*, Cologne, Taschen, 192p.
- MCQUAID, Matilda (1993), *Santiago Calatrava Structure and Expression*, New York, Harry N. Abrams, 40p.
- MOREAEDSIGN (octobre 2014), «More About: Valencia City of Arts - Valencia, Spain», <http://moreaedesign.wordpress.com/2012/page/2/>
- PHELPS, B. (octobre 2014), «Valencia's Green River», *Metropolis*, www.metropolismag.com/Point-of-View/June-2012/Valencias-Green-River/
- SANTIAGO CALATRAVA LLC (octobre 2014), *Santiago Calatrava*, www.calatrava.com/#/Selected%20works/Architecture?mode=english
- SHARP, Dennis (1996). *Architectural Monographs No 46, Santiago Calatrava*, Chichester, Academy Editions, 128p.
- TISCHHAUSER, Anthony (1998) *Calatrava, Public Buildings*, Barcelona, Editorial Productions, 389p.
- TZONIS, Alexander (2007), *Santiago Calatrava, The complete Works*, New York, Rizzoli International Publications, 479 p.
- TZONIS, Alexander (1999). *Santiago Calatrava : the poetics of movement*, New York, Universe, 239 p.

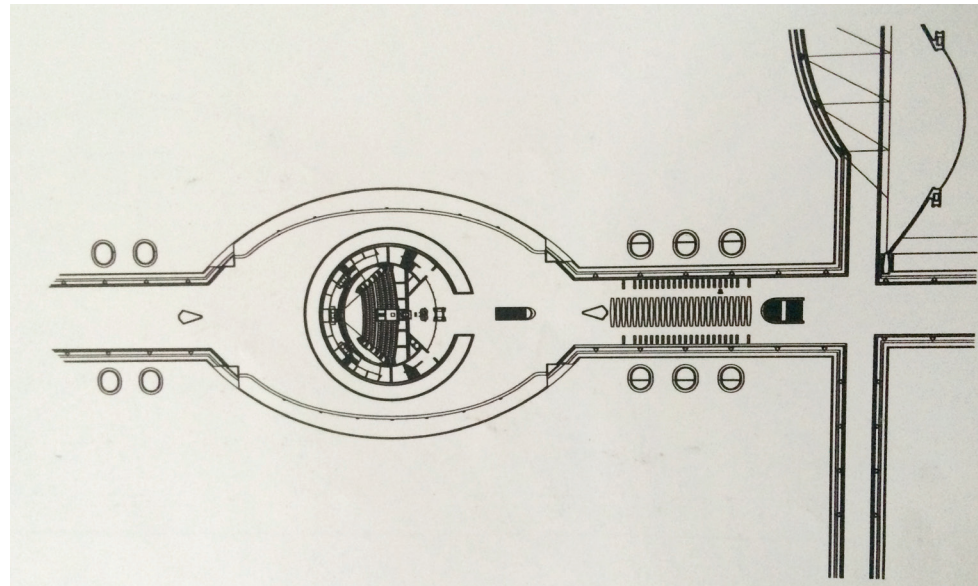
ANNEXE

Plan de la salle de projection



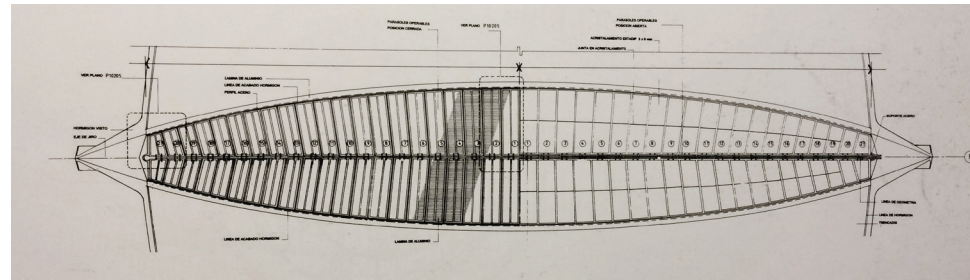
ARCSPACE (octobre 2014), «City of Arts and Sciences, Santiago Calatrava», www.arcspace.com/features/santiago-calatrava/city-of-arts-and-sciences/

Plan du rez-de-chaussée de l'Hémisphère



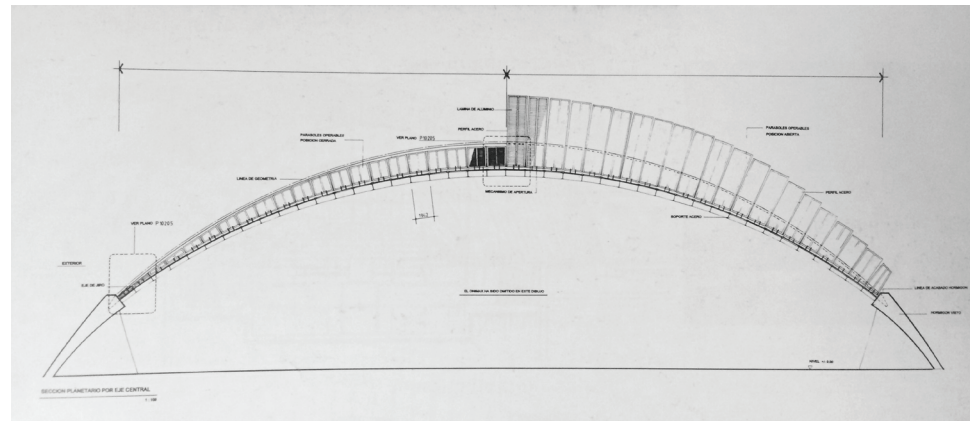
CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 159

Détail de toiture



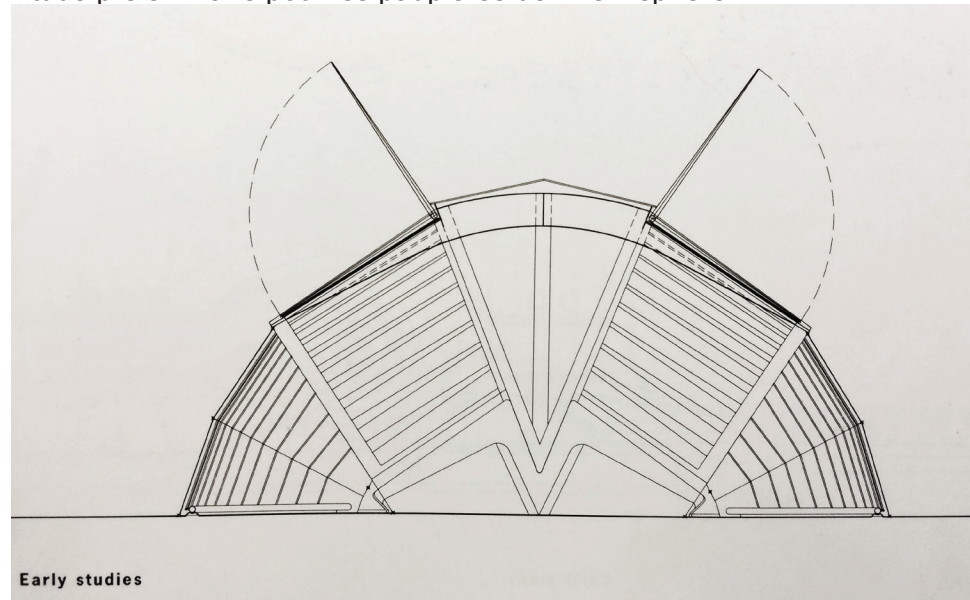
CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 159

Coupe longitudinale de la coque



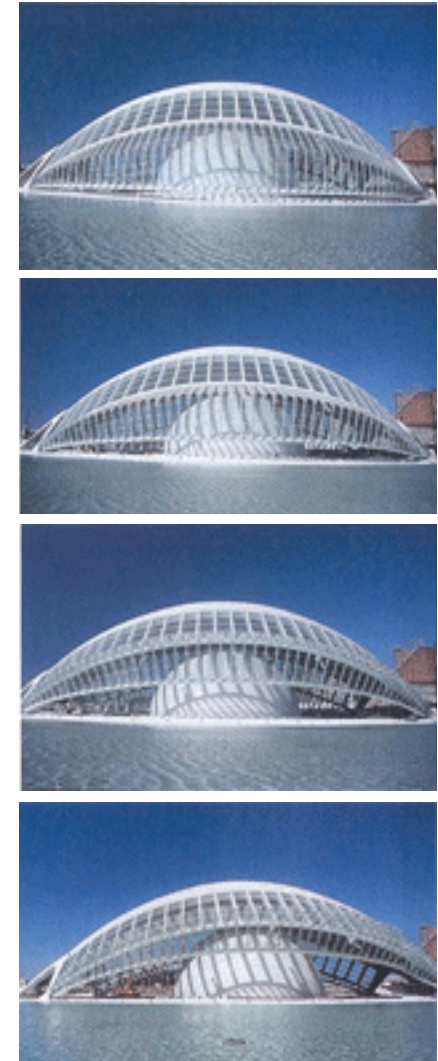
CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 159

Étude préliminaire pour les paupières de l'Hémisphère



CALATRAVA PUBLIC BUILDINGS (1998), *Spain*, Birkhauser - Publishers for Architecture, page 159

Mouvement de la paupière



First Monday (2006) Santiago Calatrava's L'Hemisfèric auditorium, www.firstmonday.org/ojs/index.php/fm/rt/printerFriendly/1563/1478