



# **ENVELOPPE ADAPTATIVE**

Classification & Outils  
d'aide à la décision

M.GUENA  
M.SYLVESTRE  
Mme.TUSCHER

ENSAPLV

DOMINGO Chris  
15568

Mémoire Master 2

# SOMMAIRE



# /2

## ENVELOPPE

### Adaptative

A/définition

B/Facteurs

environnementaux

C/catégorie

D/enveloppe passive

1/mécanique

2/Smart

E/enveloppe active

1/intelligente

2/Responsive

3/Réactive

4/Interactive

# /4

## COMPARAISON

A/Technologies

1/électro-mécanique

2/Matériaux

B/Mouvements

1/Mécanique

2/Matériel

C/Contrôles

1/Local

2/Central

D/Actionneurs

1/Types

2/Avantages/Inconvénient

E/Classification synthétique

# /6

## CONCLUSION

# /1

## INTRODUCTION

# /3

## CORPUS

### D'exemple

A/Synthèse

B/Choix des cas d'études

C/Corpus

1/Al-Bahars Towers

2/Media-Tic

3/Manitoba Hydro place

4/Cj blossom center

# /5

## CRÉATION

### De l'outil

A/Paramètres généraux

1/limites

2/points essentiels

3/Entrées préalable

B/Méthodologie

# INTRODUCTION

## 1

Au XXe siècle, les mouvements modernes d'architecture ont abouti à des bâtiments qui se ressemblent malgré leurs emplacements et les conditions climatiques différentes. L'objectif de ces mouvements modernes est de combiner le fonctionnalisme avec des principes esthétiques pour la conception architecturale, et de mettre en œuvre les technologies de pointe de leurs époques. L'utilisation extensive du verre et du métal et d'autres nouveaux matériaux industriels dans les bâtiments ont considérablement augmenté le confort et les exigences dans les bâtiments, qui nécessitent de nouvelles techniques pour manipuler le climat intérieur.

En conséquence, divers systèmes mécaniques ont été introduits pour manipuler le climat intérieur, ce qui a poussé à une consommation excessive d'énergie. La prise de conscience environnementale croissante, précipitée par la crise pétrolière et énergétique des années 70, a entraîné de nouvelles exigences en matière d'efficacité énergétique mais aussi des solutions axées sur les fonctions, telles que l'économie d'énergie, la ventilation naturelle, l'isolation, et la protection solaire d'après Lechner, 2009. À mesure que ces nouvelles demandes ont émergé, un nouveau concept a évolué: le développement durable.



Ce mouvement de développement durable, combiné aux préoccupations relatives à la disponibilité des ressources naturelles, a entraîné une augmentation du coût de l'énergie fossile et créé une prise de conscience croissante du public sur des questions environnementales cruciales telles que l'équilibre écologique, la culture verte publique et la planification stratégique durable selon Veliko et Thun, 2013. Cette période a également été témoin de progrès technologiques dans les domaines de l'ingénierie structurelle, de la cybernétique, de l'intelligence artificielle, des technologies de l'information, des systèmes distribués et des matériaux intelligents d'après J. W. Park, 2013 et Perino et Serra, 2015.

Cette approche de la durabilité en matière de conception visant l'efficacité énergétique et l'économie de ressources peuvent conduire à des solutions de conception fonctionnelle qui interagissent avec l'environnement, où la technologie interagit avec celui-ci.

Le plus évident pour réaliser cette économie et créer des solutions qui interagissent avec l'environnement est de se pencher sur la façade du bâtiment. En effet elle est la principale responsable de la consommation d'énergie du bâtiment et c'est l'un des paramètres de conception les plus importants pour gérer l'environnement physique intérieur. Elle est aussi liée au confort thermique, au confort visuel et même à l'efficacité du fonctionnement pendant l'occupation humaine, affectant ainsi l'utilisation d'énergie dans les bâtiments pour l'éclairage, les systèmes mécaniques et la maintenance. De plus, la façade des bâtiments est nocive pour l'environnement en raison de sa fabrication, de son installation et de sa maintenance.

De plus, les caractéristiques d'une façade classique actuelle n'interagissent pas avec leurs environnements, puisque les efforts des concepteurs de bâtiments ont été concentrés sur l'optimisation de l'isolation thermique de ces dernières. On ne peut pas garantir un niveau optimal de performance car elle ne sont pas faites pour fournir un contrôle climatique cohérent en raison des changements météorologiques quotidiens, voir même toutes les heures.

Enfin les revêtements de bâtiments actuels sont construits à partir de plusieurs composants différents ce qui crée trop de possibilités de défaillances matérielles et conduit à la condensation, à la formation de ponts thermiques et à un gaspillage de matériau. Ce sont quelques raisons pour lesquelles les défis de la façade sont un problème contemporain.

Afin de surmonter la limitation des façades traditionnelles existantes, l'idée d'une façade adaptative en tant qu'entité qui s'adapte automatiquement a été proposée. Cela fait suite aux progrès technologiques des dernières décennies, exploitant les avantages potentiels dans la conception d'un système de façade multifonctionnelle. Une façade adaptative peut gérer des environnements internes en modifiant de manière dynamique les caractéristiques d'une enveloppe de bâtiment et en répondant à des paramètres environnementaux externes selon Millard, 2015.

Les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment sont modifiées à l'aide d'un système de contrôle, ce qui permet à l'enveloppe de contrôler, de gérer et de régler un ou plusieurs types de variations extérieures.

Compte tenu des problèmes susmentionnés, l'objectif actuel et futur est une nouvelle formation de façade qui fournit une activité spatiale plus complète, augmentant le confort de l'utilisateur, compatible avec le climat, durable pour les personnes et l'environnement, économe en énergie, multifonctionnelle, modulaire, à la fois intelligente et communicative. A la place des façades de bâtiments actuels.

Des études ont montré que ces modifications peuvent améliorer les performances de la façade active de 40 à 65% par rapport aux façades statiques d'après Dewidar, Mahmoud, Magdy & Ahmed, 2010. Le système de façades adaptatives a été mis en place afin de répondre de manière durable aux stimuli environnementaux afin de fournir aux occupants du bâtiment une satisfaction visuelle et thermique.

Mais un problème se pose aujourd'hui, car les exemples de façades adaptatives ont actuellement tendance à devenir plus complexes et de plus haute technologie. Même si, des constructions simples pour des éléments de façade adaptatifs peuvent encore être très efficaces pour obtenir des maisons à «énergie zéro», les immeubles de grandes hauteurs nécessitent souvent davantage de systèmes d'actionnements et de capteurs technologiques et mécanisés. Les systèmes adaptatifs peuvent contrôler des fonctionnalités telles que la lumière, le flux d'air, le transfert thermique etc..

Ces nombreuses opportunités, et en examinant de plus près les exemples de ces dernières années il y a énormément de choix dans l'utilisation des technologies de contrôle. Ces technologies de contrôle peuvent être classées en systèmes à commande manuelle, systèmes à commutation manuelle, systèmes de contrôle centralisés, systèmes de contrôle décentralisés et systèmes de contrôle basés sur les matériaux.

Mais il n'y a pas que du choix dans les technologies de contrôles, les technologies de détection et de déclenchement ont également évolué au cours des dernières années. Des systèmes avec divers capteurs, tels que des systèmes sans préférence d'utilisateur de capteur, des systèmes avec capteurs centraux, des systèmes avec capteurs décentralisés et des systèmes avec capteurs de matériaux ont été développés. Des actionneurs mécaniques, des actionneurs électriques, des actionneurs etc.. rendent confus dans les choix à faire lors de la conception.

Dans le domaine des façades adaptatives, il n'existe pas de classification générale de ces dernières. Cependant, un modèle de classification clair et scientifiquement durable est nécessaire pour faire un choix plus objectif du système adaptatif. La classification repose sur la prise en compte des différents systèmes de façade, dans la littérature récente et des différents critères qui les composent en tant que façade adaptative. De plus, l'architecture a évolué sans langage commun, méthode de résolution de problèmes ou bases de connaissances communes, et cela entrave souvent le processus de conception. La confusion des frontières entre les disciplines a provoqué une quasi-crise dans la définition de leurs rôles, et de la responsabilisation professionnelle respective. Même dans les adjectifs correspondant aux façades adaptatives tels que «intelligent», «smart», «interactive», "Adaptative" ou "responsive" ont été utilisés de manière interchangeable, créant une confusion quant à leur sens spécifique et à leurs relations conceptuelles avec les performances et la conception du bâtiment.

Dans un premier temps dans le cadre de cette étude, je présente la définition théorique d'une façade adaptative en fonction de celles trouvées dans mes recherches. Ensuite j'introduis et explicite les différents types de façades adaptatives, des différentes catégories et leurs caractéristiques théoriques.

Dans un second temps je parle des critères qui m'ont permis de choisir mes exemples de cas. Car je vais me servir de ces exemples pour comprendre les mouvements et les mécanismes de chaque façades, les types de contrôle, leurs performances, leurs conceptions et matérialités, leurs performances etc... car ils sont peu ou mal détaillés dans la littérature. Cela fait perdre du temps lors de la conception dans le choix des éléments de la façade adaptative.

J'ai pris un exemple de chaque catégorie de façade adaptative qui traite un type d'élément ( la lumière naturelle, qui est lié au chauffage et à la ventilation ) pour une certaine homogénéité et les comparer montrant leurs atouts et défauts.

Enfin j'essaierai de créer un outils de classement des différentes catégories et sous catégories de façades adaptatives, avec tous les composants qui font qu'elles fonctionnent en tant que façades adaptatives, avec leurs atouts et défauts permettant de facilement s'y retrouver pour la conception.

# ENVELOPPES ADAPTATIVES

## 2

Poussé par le problème climatique, l'adaptation s'est imposée en avant dans la conception des bâtiments. L'architecture adaptative en général fait référence à la modification continue de la configuration des bâtiments pour améliorer leurs performances. Les bâtiments adaptatifs sont plus efficaces grâce à une utilisation intelligente de la lumière et de l'espace selon Loonen et al., 2013.

En raison de cette nouvelle approche dans la conception des bâtiments, la façade n'est plus perçue comme une barrière statique séparant l'environnement intérieur du bâtiment. Les façades possèdent la capacité de s'adapter aux changements climatiques.

Pour concevoir une façade adaptée aux conditions climatiques changeantes, plusieurs objectifs sont importants, tels que l'environnement du bâtiment et les objectifs des occupants du bâtiment. Cependant la définition du terme «adaptatif» n'est pas univoque. Afin de formuler une définition bien étayée et plus précise d'une façade adaptative qui sera utilisée dans ce mémoire, nous examinerons d'abord certaines définitions que j'ai pu trouver dans la littérature.

# A

## DÉFINITION

Le terme «adaptatif» a une utilisation qui fait référence à l'adaptation physique en temps réel de la conception au milieu environnant, en fonction des paramètres précédemment établis, à la recherche d'une symbiose améliorée entre le milieu bâti et le milieu naturel. Au final, pour cet article, le terme «adaptatif» décrit une approche de conception qui cherche à réunir des facteurs multi-échelles afin de parvenir à une solution de conception symbiotique économe en énergie. Les systèmes de construction adaptatifs ne conduiront pas seulement à une optimisation en terme de fonctionnalité, mais également ont le potentiel de contribuer à une réduction significative de la consommation d'énergie et des ressources matérielles. En particulier, lorsque les performances du bâtiment sont optimisées en ce qui concerne le confort climatique, des avantages en termes de durabilité sont trouvés. Le système Strata, la façade Helio Trace, avec système de revêtement adaptatif, peut servir ici d'exemple.

Loonen, qui a effectué de nombreuses recherches et rédigé des articles sur les façades adaptatives, donne la définition suivante: «Une enveloppe de bâtiment adaptative au climat à la capacité de modifier de façon répétée et réversible certaines de ses fonctions, caractéristiques ou comportements au fil du temps en réponse à des exigences de performances changeantes et à des conditions variables, et ce dans le but d'améliorer les performances globales des bâtiments. Ces façades peuvent saisir l'opportunité d'économiser de l'énergie en s'adaptant aux conditions météorologiques et soutenir le confort en répondant immédiatement aux souhaits des occupants. »(Loonen, 2013).

Knaack (2007) soutient l'utilisation du terme « adaptatif » dans son travail sur les façades, comme suit : « Les bâtiments capables de s'adapter aux changements climatiques sont appelés des bâtiments intelligents. Comme le terme intelligent peut être trompeur lorsqu'il est utilisé dans le contexte de bâtiments ou de façades, nous utiliserons plutôt le terme façade adaptative. L'adaptation signifie généralement que les bâtiments et les façades s'adaptent aux conditions météorologiques actuelles (Knaack et al., 2007).

Kirkegaard (2011) indique que les bâtiments adaptatifs peuvent « adapter leurs performances, en temps réel, aux changements environnementaux, utiliser moins d'énergie, offrir plus de confort aux occupants et offrir une meilleure efficacité globale de l'espace que les bâtiments statiques» (Kirkegaard, 2011).

Hoberman, avec son initiative de construction adaptative, se concentre sur les façades et les enveloppes de bâtiment adaptatives. Il encourage l'utilisation des systèmes adaptatifs de la manière suivante: « En contrôlant les niveaux de lumière, les apports solaires et les performances thermiques, nos systèmes adaptatifs réduisent la consommation d'énergie, améliorent le confort et augmentent la flexibilité de l'environnement bâti ».

De Boer, explique également quelles exigences définissent une façade adaptative : « La technologie de la façade adaptative pour un confort accru et une consommation d'énergie moindre à l'avenir est que les bâtiments dotés de propriétés thermiques et de lumière du jour adaptables au climat auront une bien meilleure performance énergétique tout en maintenant une résistance élevée ainsi qu'un niveau de confort élevé. Le développement de bâtiments à climat adaptable, basés sur des propriétés d'adaptation théoriquement «idéales», permet de maximiser le confort intérieur et de minimiser la consommation d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation et l'éclairage. Cela permet de réaliser dans un proche avenir des bâtiments produisant presque zéro énergie, voire même des bâtiments produisant de l'énergie. »(De Boer et al., 2012).

En s'appuyant sur les définitions qui précèdent, on peut en déduire la définition suivante et qui sera utilisée dans la suite de ce mémoire pour caractériser une façade « adaptative » : une façade adaptative a la capacité de d'adapter, en temps réel, certaines de ses fonctions, caractéristiques et comportements en fonction de l'évolution des conditions environnementales et des souhaits des occupants. L'adaptation a pour but d'améliorer les performances globales du bâtiment en ce qui concerne la consommation d'énergie primaire (chauffage, climatisation, ventilation et éclairage) tout en maintenant ou en améliorant le confort et en augmentant la flexibilité pendant la phase de vie du bâtiment.

Comme dit dans l'introduction, les chercheurs, les professionnels et mêmes les architectes ont recours à plusieurs alternatives pour le terme «adaptatif», telles que: smart, actif, avancé, dynamique, intelligent, interactif, cinétique, réactif, etc.. perturbant la compréhension quant à leur sens spécifique pour les concepteurs de bâtiments. En réponse, ce chapitre encadre un lexique de termes descriptifs, comportementaux et méthodologiques qui seront liés aux cas d'études afin de nous aider à y voir plus clair dans les différents types de façades adaptatives.



# B

## FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

L'environnement change constamment et crée de nouvelles situations et cela est difficiles d'y faire face. Les façades devront faire face aux demandes, et activités des utilisateurs ainsi qu'aux facteurs environnementaux qui affectent circulation de l'air, humidité, température, rayonnement solaire, qualité de l'air, bruit, etc. La réglementation standard pour les bâtiments indiquent les paramètres requis pour le confort selon l'état physique des occupants. Diverses stratégies pouvant être mises en œuvre dans des enveloppes de bâtiment pour manipuler les facteurs environnementaux pour le confort sont présentés dans le tableau ci-contre.

Dans ce travail, je vais donc présenter les quatre facteurs environnementaux ayant une incidence sur les exigences de confort des occupants car ils perturbent le confort intérieur et par conséquent ils affectent le corps humain et la consommation d'énergie et font donc partis du processus de conception de la façade adaptative d'après Del Grosso & Basso 2010.

### 1/Circulation de l'air

L'un des principaux objectifs de la circulation de l'air sont la ventilation pour éviter de garder un air vicié et le refroidissement. La ventilation ne refroidit pas vraiment l'air, en effet c'est la vitesse de celui-ci qui donne cette sensation. En circulant autour du corps humain rapidement, il emporte de la chaleur par convection mais aussi par évaporation. C'est ce qui donne la sensation d'air froid d'après Lechner 2009.

### 2/Température de l'air

La température de l'air influe sur les gains et pertes de chaleur corporelle par convection, l'air ambiant au contact de la peau ou des vêtements se réchauffe et emporte de la chaleur. Mais aussi par rayonnement, la température de l'air et la température moyenne des surfaces environnantes affectent le confort thermique, cela se produit de la surface de la peau ou des vêtements vers les surfaces froides environnantes. La chaleur peut aussi quitter le corps humain par conduction quand ses parties sont en contact avec des surfaces froides.

### 3/Humidité

L'humidité et la température de l'air varient d'un climat à l'autre, et la sensibilité des individus varie dans ce qu'ils trouvent acceptable ou non. De préférence, le taux doit rester compris dans l'intervalle 30 - 70 % pour éviter les situations d'inconfort. Si ce taux est inférieur à 30 %, l'air est trop sec et cela provoquera une peau sèche, des égratignures de la gorge et du nez, des démangeaisons et des gerçures, l'humidité corporelle s'évapore rapidement.

Et à l'inverse si taux d'humidité est supérieure à 70 %, l'air est trop humide. Cela facilite la reproduction des bactéries, des moisissures, endommageant ainsi toutes les surfaces sur lesquelles elles poussent.



## 4/Rayonnement solaire

La principale source de rayonnement est le Soleil. En effet le rayonnement solaire est une source d'énergie idéale de part sa présence toute l'année, mais avec des caractéristiques changeantes, tels que l'altitude, l'angle d'incidence des rayons et la puissance des rayons solaires.

Dans la conception l'orientation est un facteur important influençant la répartition lumineuse et l'intensité de celle-ci dans le bâtiment. Une exposition trop faible à la lumière du jour peut entraîner des problèmes de santé. Mais à l'inverse une répartition uniforme de la lumière peut entraîner éblouissement, et provoquer de la fatigue oculaire et de la distraction. De plus l'absorption, la réflexion et la transmission des rayonnements sont les paramètres de base pour décrire la perméabilité à l'intérieur du bâtiment.

**Tableau montrant les différences entre exigence intérieur et environnement extérieur**

Intérieur Exigence de l'utilisateur	Enveloppe Interface	Extérieur Facteurs environnementaux
<b>Lumière</b> Luminosité 300-500lx	Reflet Absorber Rediriger Diffuser	<b>Radiation solaire</b> Ciel dégagé 50000 lx
<b>Température</b> Hiver 20-23°C Été 22-27°C	Dissiper Gain Conserver	<b>Température de l'air</b> (-20°C) - 40°C
<b>Qualité de l'air</b> CO <sub>2</sub> <1500ppm 30m <sup>3</sup> /h personne	Filtrer Echange	<b>Qualité de l'air</b> CO <sub>2</sub> 350-800 ppm Poussière
<b>Vitesse de l'air</b> Vitesse<0.2m/s	Modifier Flux	<b>Mouvement de l'air</b> 0-25 m/s
<b>Humidité</b> 30-70%	Absorber Collecter Evaporation	<b>Humidité</b>

# C

## CATÉGORIES

Les enveloppes adaptatives sont classées en deux grandes catégories distinctes qui sont eux même divisés en sous catégories. Dans un premier temps nous avons les enveloppes passives et actives. La catégorie passives regroupe les enveloppes mécaniques et les enveloppes dites à matériaux intelligent ou «smart».

Les technologies utilisées dans les enveloppes actives sont classées en quatre catégories: les façades intelligentes, façades réactive, façades interactives et enfin les façades sensibles. Cette catégorisation est basée sur les différentes manières de s'adapter en fonction du type de technologies embarqué à l'intérieur.

L'architecture passive a évolué au cours des siècles pour gérer le confort intérieur en intégrant des éléments de conception offrant des mesures de contrôle saisonnières et adaptées au climat en matière de rayonnement solaire, de circulation de l'air et de stockage thermique d'après Butti et Perlin, 1980, et plus récemment, pour contrer le recours à des systèmes de climatisation mécaniques selon Givoni, 1992; Torcellini et al., 2006.

Cependant, avec les variations saisonnières, les conditions météorologiques changeantes et les besoins en confort et les besoins énergétiques changeants des occupants intérieurs, la conception de bâtiments passifs ne peut pas fournir un contrôle climatique cohérent en raison de changements météorologiques quotidiens. Ce qui mène à la catégorie active.

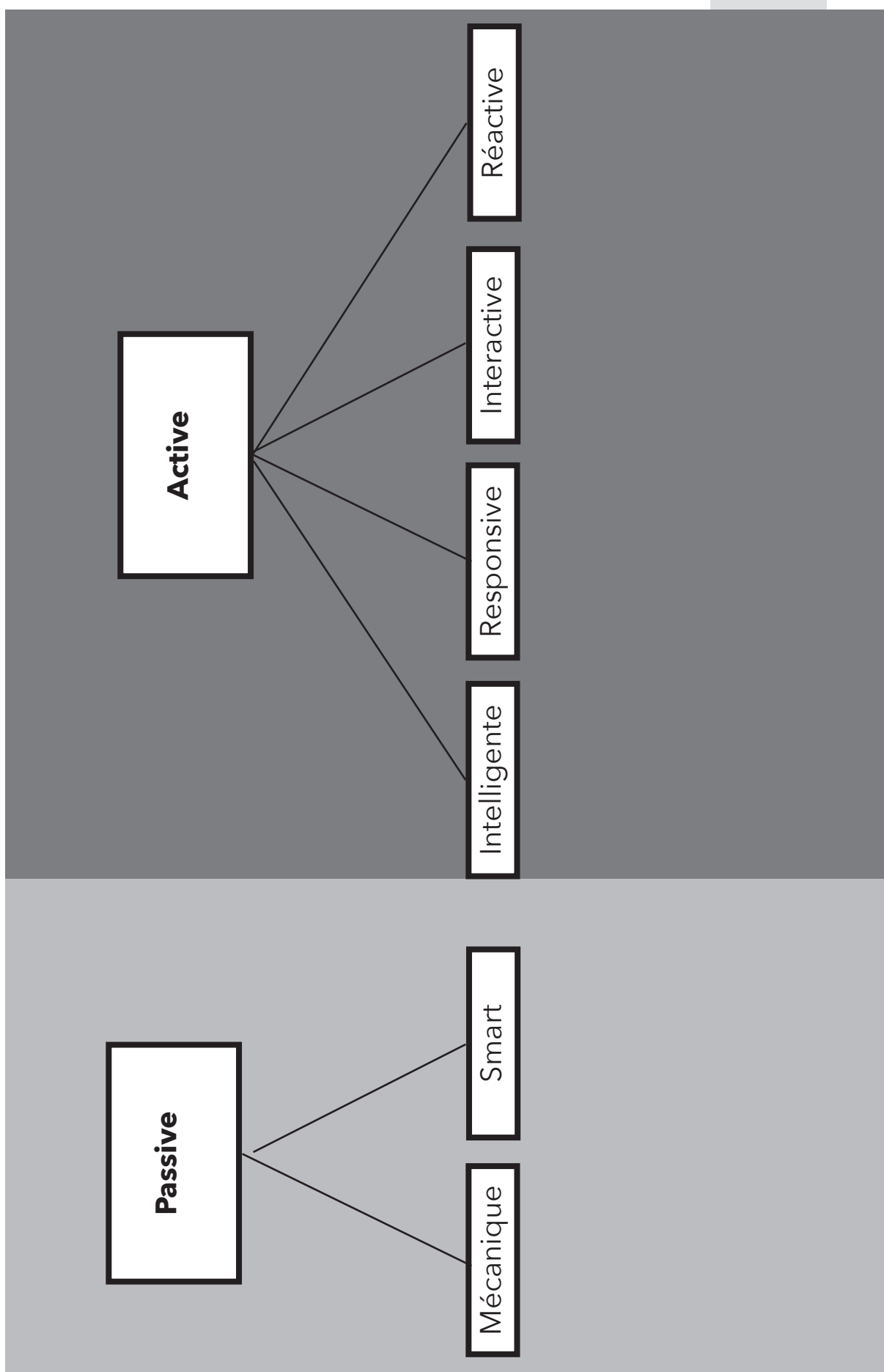


Schéma des grandes catégories de façade adaptative.

# D

## ENVELOPPES PASSIVES

Dans un premier temps, fournir des opportunités d'adaptation conçues dans l'enveloppe d'un bâtiment et améliorer le potentiel d'un bâtiment à répondre aux exigences de confort intérieur par des moyens passifs peuvent potentiellement permettre à un bâtiment d'être moins dépendant des systèmes de chauffage et de refroidissement, ainsi que de l'éclairage et de la ventilation mécanique, ce qui réduit l'énergie consommation.

Étant donné que la forme, la transmissivité, l'absorption, l'isolation, la porosité et la masse de l'enveloppe constituent une barrière substantielle aux éléments de l'environnement, ces propriétés ont été utilisées pour filtrer efficacement les éléments contrôlant la quantité de lumière, d'air, d'humidité et de chaleur et échangés entre les environnements intérieur et extérieur d'après Compagno, 1999; A. Olgyay & Olgyay, 1957).

Pour définir clairement les catégories passives, elles acceptent ou permettent ce qui se passe ou ce que font les autres, sans réaction active ni résistance. Aussi elles ne contiennent aucune source d'énergie ou force électromotrice. Appliqué à une façade, cela signifie que les composants passifs ne réagissent pas électromécaniquement à un changement de circonstances mais peuvent être ajusté manuellement par le biais de l'action humaine (en fermant les volets par exemple).

Les systèmes passifs sont aussi appelé contrôle intrinsèque, ils ont la capacité de s'ajuster automatiquement en réponse à des stimuli environnementaux tels que la température, l'humidité relative, le rayonnement solaire, etc. sans implication de sources électriques externes ou l'action humaine directe. Les systèmes de poulies et manivelle pour actionner des éléments en façades actionnées par l'homme et les matériaux intelligents sont des exemples de systèmes de contrôle intrinsèques. Avec ce type de matériaux la conception est tournée sur la recherche des propriétés et des comportements des matériaux.

## 1/Façade Mécanique

Le slogan architectural commun des années 1960 était « faire d'un bâtiment un système », ce qui a conduit à la conception d'une enveloppe de bâtiment en tant qu'entité indépendante selon Moloney, 2012. Cette approche considérait la conception comme un mécanisme répondant à des objectifs multiples sous l'influence des principes mécaniques.

Ces systèmes consistaient en des éléments mécaniques interdépendants qui modifieraient la magnitude, la direction et le point d'application de forces telles que poulies, roues, charnières, rouleaux, câbles et engrenages. La mise en œuvre de ces composants mécaniques complexes, volumineux étaient l'héritage direct de la révolution industrielle, qui utilisaient des forces externes pour effectuer des mouvements de translation, de rotation ou combinés dans les mécanismes de façade, d'après Decker et Zarzycki, 2013.

Le store à commande manuelle avec mécanisme à engrenages, poulies et câbles fût le premier système de façade sensible. Les premiers exemples sont les stores horizontaux, issus de la Perse antique. Les stores verticaux ont été inventés aux États-Unis, dans les années 1960. La mise en place de stores manuels conçus par Richard Neutra dans le cadre du système d'enveloppe de bâtiments est apparue pour la première fois à la maison Kaufmann en 1947 selon Khoo & Salim, 2013.

Un tel système de façade actionné manuellement pourrait être composé d'un système d'engrenage à crémaillère qui convertit le mouvement linéaire en mouvement de rotation. Le mouvement de ces volets en aluminium a été contrôlé en fonction des préférences thermiques et visuelles de l'utilisateur pour faire face à la lumière naturelle, aux courants d'air et aux poussières indésirables selon Neutra, 1998.

Par exemple, aujourd'hui Tom Kundig est un architecte qui utilise encore des poulies à levier, des manivelles, des engrenages et des rouages pour concevoir des mécanismes de façade. En 2002, il a conçu un engin mécanique à manivelle pour une fenêtre active de Chicken Point Cabin en utilisant un principe de contrepoids avec un jeu d'engrenages afin de minimiser les forces d'entrée. Kundig a également utilisé un mur-rideau actif pour California Gallery utilisant un volant pour actionner une série d'engrenages et de poulies pour le mouvement de façade en 2012.

## 2/Façade Smart

Le terme « smart » est un terme couramment utilisé en rapport avec les matériaux et les surfaces. Le terme «smart» définit les caractéristiques de base des matériaux intelligents comme: «l'immédiateté» (réponse en temps réel), la «transparence» (réagissant à plus d'un état de l'environnement), actionnement (intelligence interne), sélectivité (une réponse est discrète et prévisible) et direct (une réponse est locale aux événements activant). Les surfaces et les matériaux intelligents peuvent jouer un rôle important en matière de gestion intelligente, adaptative et réactive des enveloppes à cause de ces propriétés intrinsèques.

En effet les progrès de la science des matériaux ont ouvert la voie à d'autres approches pour la conception de façades adaptatives. Les actionnements basés sur les matériaux offrent la possibilité de l'utiliser lui-même pour remplacer des composants mécaniques.

Ces actionneurs fonctionnent en conséquence de changements moléculaires dans les structures des matériaux lorsqu'ils sont stimulés par des signaux externes tels que des photons de lumière, des changements de température, des substances chimiques, des forces de champ magnétique et des flux d'électricité.

Ils ont donc la capacité de transformer leurs propriétés physiques et/ou leur forme, ou d'échanger de l'énergie sans nécessiter de source d'énergie externe.

Les mouvements de la matière sont créés par des changements de volume, de forme, de couleur, de fluidité et de courants électriques selon Decker & Zarzycki, 2013. Par conséquent, ils sont extrêmement attrayants pour les concepteurs de bâtiments qui cherchent à accroître la fonctionnalité et les performances tout en réduisant la consommation d'énergie.

Plusieurs matériaux intelligents, tels que les alliages à mémoire de forme, les polymères à mémoire de forme, les polymères électro-actifs et les matériaux à changement de phase, pourraient être utilisés comme actionneurs et capteurs dans la structure de façades sensibles. Cette technologie ne nécessite aucun capteur, actionneur ni ressource énergétique externe d'après Perino & Serra, 2015. La réponse des matériaux intelligents aux stimuli environnementaux est fixe, limité et non programmable d'après Decker, 2013.



# E

## ENVELOPPES ACTIVES

En définition actif, par opposition à passif, répond à son environnement. Le terme lui-même a plusieurs significations mais dans ce contexte signifie travail / opératif et/ou capable de changement automatique en réponse à une entrée ou à un retour.

Pour rendre tous systèmes adaptables, dynamiques et adaptatifs, ils doivent être actifs, c'est-à-dire qu'une entrée de mouvement doit être transférée au système afin qu'il puisse atteindre les performances requises. Ceci est généralement obtenu par le contrôle des charges externes, des forces internes ou des déformations.

Les actionneurs ont besoin d'un système de contrôle qui traduit les signaux entrants issus de l'interaction de l'utilisateur ou du changement climatique en commandes d'actionnement. Les capteurs sont le lien entre l'espace environnemental et le système adaptatif ; ils enregistrent les modifications externes, les confrontent à l'état souhaité et transfèrent les informations au processeur, en surveillant tous les effets sur la structure et ses réactions.

Les actionneurs sont les éléments qui convertissent l'énergie en mouvement et produisent une réaction dans le système, modifiant la géométrie ou les caractéristiques principales, c'est-à-dire la taille ou la rigidité, en fonction des stimuli perçus par les capteurs et élaborés par le processeur.

Le processeur est une unité de contrôle (système informatique) où les données entrantes sont traitées et élaborées en une réponse adéquate qui respecte les exigences de conception initiale. Les systèmes de contrôle basés sur des actionneurs, des capteurs et des processeurs sont identifiés dans la littérature en tant que systèmes actifs. Comme dit précédemment les adjectifs qui définissent les sous catégories actives sont:

Intelligent: signifie littéralement «la capacité de faire varier son état ou son action en réponse à diverses situations». Pour fonctionner correctement, ils doivent être connectés à une source d'électricité.

«Responsive», ou «avoir une intelligence rapide» est souvent utilisé comme synonyme d'intelligent, mais avec une différence. C'est un matériau intelligent qui a besoin d'électronique pour ajuster ses caractéristiques.

Le terme «interactif» est moins fréquemment utilisé dans les enveloppes de bâtiments, et autres environnements de ce type encourageant la participation active du public. Et par extension cela veut dire que les occupants peuvent intervenir dans le fonctionnement de la façade.

Réactif: signifiant «répondre volontairement et positivement», ce qui signifie «faire quelque chose en réaction». En ce qui concerne les façades, cela signifie simplement une réaction à diverses situations, comme l'environnement extérieur, aux expériences passées et préférences humaines.



## 1/Façade Intelligente

Par rapport à la peau des bâtiments, le terme « intelligent » implique un ordre d'organisation et de performance supérieur à celui du terme « smart ». Au sens large, l'objectif d'une peau de bâtiment intelligente est d'optimiser les systèmes du bâtiment en ce qui concerne le climat, le bilan énergétique et le confort humain, généralement basés sur des modèles prédictifs. Ceci est souvent accompli par le biais de l'automatisation des bâtiments et d'éléments physiquement adaptatifs tels que des persiennes mécanique, des assemblages de matériaux intelligents etc..

Brian Atkin, définit les bâtiments intelligents comme ceux qui «connaissent» les conditions environnementales extérieures et intérieures, qui «décident» de la manière de fournir un environnement confortable aux occupants et qui «répondent» rapidement. Ceci est généralement réalisé à l'aide d'une variété d'appareils de détection qui communiquent avec les systèmes de contrôle du bâtiment pour optimiser les conditions intérieures, y compris des protocoles informatiques capables de rééquilibrer le système le tout communiquant l'information de mise en mouvement du/des mécanisme(s) d'adaptation de la façade.

Quasiment de la même manière que Addington et Schodek décrivent le terme «intelligent» à l'aide de ces trois caractérisations: celle de l'environnement (environnements environnants, environnements d'utilisation), celles de la cognition (systèmes d'information, systèmes experts, intelligence artificielle) et enfin celles de la mise en œuvre (méthodes de fonctionnement et contrôle).

Les façades « intelligentes » se caractérisent par un ordre d'organisation complexe. Elles associent les caractéristiques environnementales à des systèmes d'information et à une expertise pour obtenir une performance accrue. L'intelligence des façades réside dans la recherche de solutions offrant un confort maximal (température de l'air, température de surface, etc.) tout en maintenant une faible consommation d'énergie selon Addington et Schodek.

Cela se fait donc par utilisation de l'automatisation et le calcul comme éléments de contrôle par le biais d'ordinateurs en comparant l'environnement intérieur et extérieur, qui décide ensuite des réglages globaux à faire pour le mécanisme en façade. Enfin les façades «intelligentes» nécessitent une énergie externe pour atteindre leurs objectifs.

## 2/Façade Responsive

Comme mentionné plus haut, les capacités des matériaux intelligents offrent des opportunités économes en énergie, certes mais ils reçoivent des stimulus d'entrée provenant de certaines variables climatiques, ce qui est limité. Aussi, en raison des limitations de la contrôlabilité dans la technologie basée sur les matériaux, on peut avoir à utiliser des systèmes de contrôle en plus pour varier l'éventail d'adaptation.

Le terme «responsive» comprend les mêmes aspects que dans «smart» et «intelligent»: capteurs temps réel, matériaux intelligents, automatisation... (Velikov & Thun, 2013). De plus ce type de façade se veut d'apporter une réponse rapide au changement de l'environnement.

Ce type de système est la combinaison entre le système électronique de la façade intelligente et des matériaux de la façade smart. Alliant une plus grande plage de contrôle que les façades smart et une faible consommation d'énergie en évitant d'utiliser des mouvements mécaniques. Les matériaux qui constituent cette façade nécessitent une entrée externe directe pour permettre leur déformation. Cette force contrôlée artificiellement peut être causée par un courant électrique, un fluide en mouvement ou une source de mouvement externe.

Cependant les façades «responsives» se caractérisent par une organisation moins complexe et plus rapide que la façade intelligente.

Les systèmes à l'intérieur de la façade ne font pas appel à des composants décisionnels externes, mais reposent sur un contrôle direct en transformant les impacts environnementaux. Ces entrées environnementales, telles que la température, la vitesse du vent, le rayonnement solaire ... déclenchent l'adaptation automatique de la façade selon Decker & Zarzycki, 2013. Car dans ce type de système, seuls les capteurs sont externes, les actionneurs et micro-processeurs sont combinés en une seule étape car ils sont tous infusés dans le corps des matériaux intelligents d'après D. Park & Bechthold, 2014.

La différence entre les façades « responsive » et « intelligent » tient au fait que, dans les façades de type « responsive », le contrôle du système est principalement associé à des propriétés matérielles, et des composants décisionnels internes. Mais leur degré d'adaptation reste limité à certaines plages de conditions environnementales. Cela contraste avec les façades «intelligentes» qui utilisent l'automatisation et le calcul comme éléments de contrôle. Les façades «intelligentes» nécessitent plus d'énergie externe pour atteindre leurs objectifs et leur portée opérationnelle est moins limitée que celle des matériaux «intelligents».

### 3/Façade Interactive

Les vingt dernières années ont été témoins d'une augmentation explosive du nombre et de la gamme des dispositifs interactifs utilisés à cette fin ; en partie à cause de la miniaturisation croissante de la technologie, rendant omniprésents et peu coûteux les composants de détection, de calcul et de micro-traitement nécessaires à leur adoption généralisée. Cependant, la caractérisation la plus significative du terme est celle d'un système interactif qui nécessite fondamentalement l'intervention humaine pour déclencher la réponse.

L'utilisation de la technologie (capteurs, microprocesseurs) en façade est toujours présente, comme pour les façades intelligentes, mais elle est en combinaison avec une intervention humaine pour le déclenchement de la réponse. Des systèmes à rétroaction ou d'autres systèmes de gestion de bâtiment automatisés peuvent aider la façade à optimiser l'utilisation d'énergie et à contrôler le confort des occupants en même temps. La communication entre les composants architecturaux et les utilisateurs d'un tel système est un dialogue avec de nouveaux messages liés à des messages précédents. Le système peut modifier activement son propre comportement et réagir aux changements en fonction du comportement de son utilisateur. En outre, il a la capacité d'apprendre et / ou de développer des interactions antérieures.

Pour surveiller non seulement le climat intérieur, mais également pour suivre et enregistrer les informations, l'algorithme informatique apprend avec le temps et commence à anticiper les préférences de l'habitant. Outre l'observation informatisée du comportement humain, les progrès en matière de capacité d'interprétation des gestes et des actions présentent un intérêt particulier. Contrairement aux interfaces de saisie humaine plus familières que sont les claviers et les écrans tactiles, les préférences des habitants sont assimilés via une interface avancée basée sur la reconnaissance. Cela met non seulement en avant le facteur humain dans l'équation bâtiment-énergie-environnement, mais pose également des questions plus profondes d'importance corporelle et psychologique lors de la conception d'environnements interactifs et de leurs composants matériels.

La différence entre «intelligent» et «interactive» tient au fait que, les façades «intelligentes», utilisent l'automatisation et le calcul comme éléments de contrôle du système. Tout comme les façades «interactives» sauf que celles-ci enregistrent l'intervention humaine pour connaître ces préférences et s'adaptent à ce dernier. Cependant avec un nombre accrues d'utilisateurs différents (tels que les logements), les façades «interactives» nécessitent plus d'énergie externe pour atteindre leurs objectifs et satisfaire les exigences des utilisateurs.

## 4/Façade Réactive

Le terme «réactif» est utilisé dans le même contexte que «interactif» et «adaptatif». Le terme est lié à l'interaction entre le bâtiment, l'habitant et l'environnement pour développer la capacité d'adaptation. Le terme «réactif» inclut les mêmes aspects que dans la façade «smart» et «intelligente»: capteurs temps réel, matériaux intelligents, automatisation, remplacement par l'utilisateur ... De plus, les caractéristiques «interactives» sont incluses dans ce terme.

En effet cela comprend des fonctionnalités telles que la détection en temps réel, éléments cinétiques adaptant le climat, matériaux intelligents, automatisation et possibilité de passer outre à l'utilisateur qui sont des caractéristiques similaires à celles d'une peau de bâtiment «intelligente». Mais il inclut également, des algorithmes de calcul qui permettent au système de bâtiment de s'auto-ajuster et d'apprendre avec le temps. Ainsi que la possibilité pour les habitants de manipuler physiquement des éléments de l'enveloppe du bâtiment afin de contrôler les conditions environnementales, venant de l'enveloppe interactives. En conformité avec les conditions environnementales changeantes et les préférences des habitants, de sorte que l'algorithme anticipe les configurations souhaitables.

Par conséquent, une enveloppe de bâtiment réellement réactive comprend non seulement des mécanismes de détection et de rétroaction des habitants, mais s'engage également à éduquer à la fois le bâtiment et ses occupants. Des informations sont fournies aux habitants du bâtiment afin qu'ils puissent également apprendre au fil du temps et modifier leurs actions en fonction du climat et de la consommation d'énergie. De cette manière, le bâtiment et l'occupant sont engagés dans une conversation continue et en évolution.

Dans un milieu réactif, fonctionnant selon les principes de la cybernétique, l'utilisateur et le système sont capables de créer un ensemble illimité de résultats et de performances. Plutôt que le concepteur prédéfinisse les réponses appropriées aux entrées utilisateurs, c'est au système de mesurer les réactions à ses sorties et modifier continuellement ses actions en fonction de ces réponses. Dans un cas le plus poussé, les bâtiments et les environnements pourraient co-évoluer et se transformer en fonction de modèles cognitifs et biologiques.

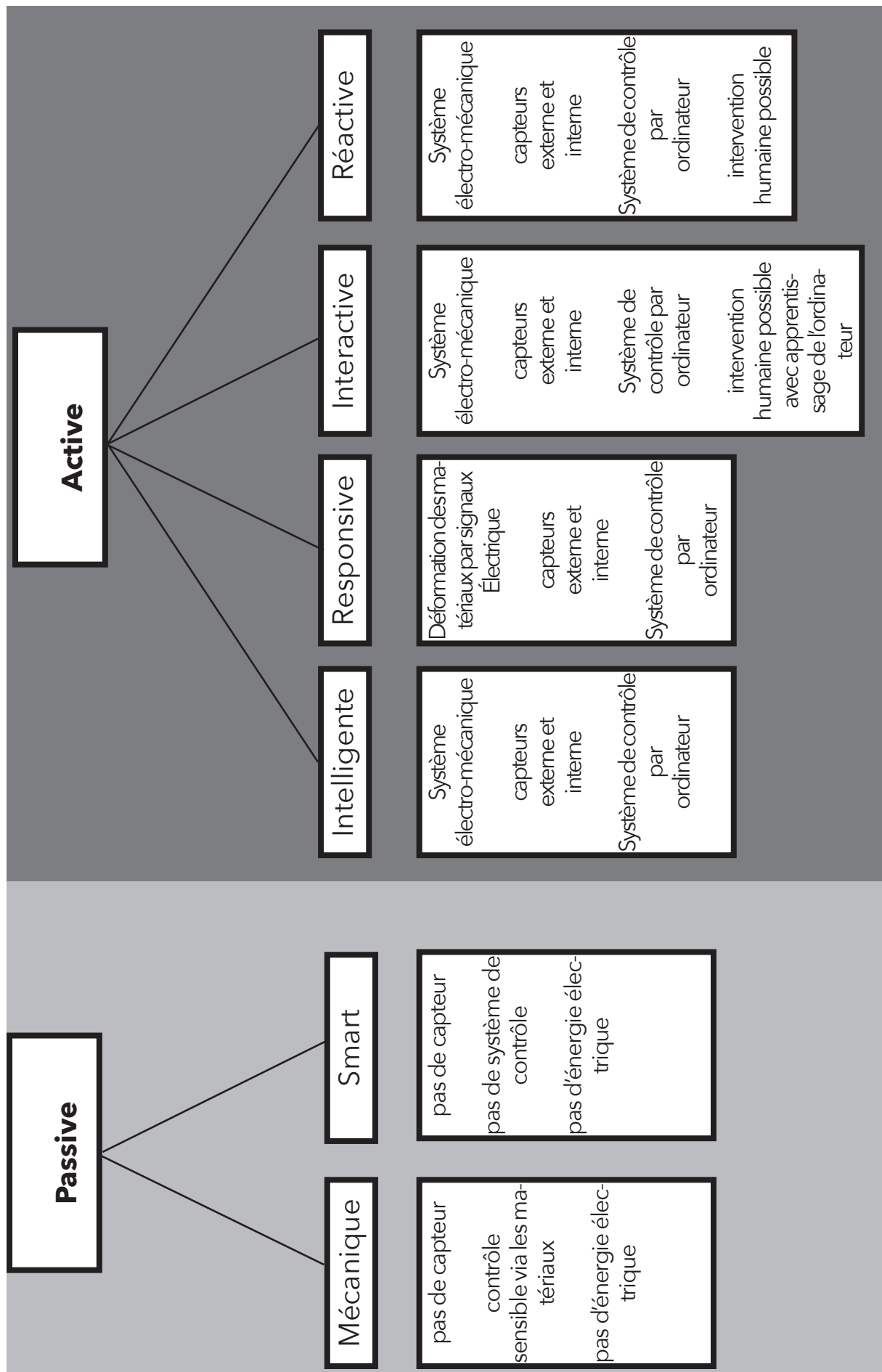


Schéma des grandes catégories de façade adaptative et principales caractéristique.

## CORPUS

# 3

L'étape réalisée en parallèle de la recherche dans la littérature, a été la recherche de cas d'étude permettant d'établir les critères de conceptions liés aux façades adaptatives. Pour ce faire, des critères de choix ont été établis. Une fois ces critères remplis, les cas d'études étaient retenus. Au total, quatre cas ont été analysés dans le but d'avoir une certaine représentativité des systèmes de chaque catégories de façades adaptatives actives réalisées à l'heure actuelle. Le choix des cas d'analyses a été soumis à plusieurs critères de validation. Ces derniers sont les suivants :

# A

## SYNTHÈSE

Dans cette recherche, je retrace les technologies utilisées dans six systèmes répartis en deux groupes distincts, représentant de manière substantielle les systèmes de façades adaptatives existantes dans la littérature et qui seront prises en compte pour la classification.

De plus, on a pu voir que l'évolution des systèmes de façades actives en tant que solutions hautes performances pour les bâtiments sont liés à deux facteurs déterminants. Tout d'abord, vis-à-vis des façades passives les façades actives sont mieux adaptées à une large plage de conditions environnementales et aident à faire face aux problèmes environnementaux actuels. Les capacités croissantes des outils informatiques et des dispositifs électroniques facilitent la conception et le contrôle de systèmes dynamiques. La planification, la simulation, la fabrication et le contrôle des processus dynamiques sont les facteurs clés de la construction, ce qui les rends préférable aux système passif.

Cependant dans le domaine des façades adaptatives actives, il n'existe pas de classification générale des façades détaillée. Les différents systèmes de classification dans la littérature récente, ne détaillent pas assez où sont exprimé de manière trop complexe pour pouvoir faire un choix objectif et efficace dans les technologies de façades actives.

Sauf qu'un modèle de classification clair est nécessaire pour faire un choix plus objectif des éléments du système adaptatif car ils sont nombreux et complexes. Mais les propositions de classification qui ont été faite ne prennent pas en compte le mouvement et le contrôle comme des facteurs fondamentaux, alors que le type de système de contrôle et le type de mouvement sont des aspects fondamentaux de la conception et de l'exploitation des façades actives. Et encore moins l'équipement associé à ces processus qui comprennent des microprocesseurs, des capteurs et des actionneurs.

Enfin en l'absence de renseignements clairs sur les technologies mises en œuvre dans les systèmes de façades adaptatives dans la littérature et comme, l'objectif principal de cette étude est de faire une classification des technologies utilisées dans les façades de bâtiments adaptatives. Je vais donc faire une analyse comparative des systèmes de façades adaptatives existantes pour constituer des ressources utiles me permettant de classer les différents systèmes de contrôle, les mouvements et les différents éléments liés à chaque catégorie de façade en essayant de voir leurs avantages et inconvénients.

# B

## CHOIX DES CAS D'ÉTUDES

### Le choix des catégories:

Je choisis de développer les catégories actives puisque les catégories passives sont moins performantes. Les systèmes sont équipés de nouveaux matériaux performants, capteurs, actionneurs et d'une intelligence informatique permettant de contrôler des fonctionnalités telles que la lumière, le flux d'air, la transmission du son, etc.. Enfin les systèmes adaptatifs basés sur un principe de mouvement basé sur la mécanique offrent de nombreuses opportunités pour un contrôle efficace de la consommation d'énergie. Les futurs systèmes pourraient combiner des principes mécaniques et matériels pour créer de nouveaux concepts.

De plus, les modèles biologiques gagnent en popularité et constituent l'inspiration pour de simples façades adaptatives efficaces selon Kolarevic et Parlac, 2015 et Velikov et Thun, 2013.

### Choix d'un type d'adaptation homogène:

Différents mécanismes peuvent être responsables de la régulation de l'adaptation aux fonctions de la façade. Premièrement, l'humidité peut être régulée en absorbant, en recueillant ou en s'évaporant. Deuxièmement, la température peut être régulée en se dissipant, en gagnant ou en conservant. Troisièmement, la qualité de l'air (liée au niveau de dioxyde de carbone) peut être régulée par filtrage ou échange. Enfin, la lumière peut être régulée en absorbant, redirigeant ou diffusant. L'éventail des mécanismes d'adaptation est assez large. Dans mes exemples et pour obtenir une comparaison homogènes avec des catégories de façades différentes je choisis le même type d'adaptation pour chaque catégories de façades.

### Choix de l'adaptation

J'ai choisis comme adaptation commune la thermique et l'optique car l'étude des différents domaines physiques permet de conclure que les domaines thermiques et optiques sont étroitement couplés. Leur comportement fluctuant aux niveaux quotidiens et mensuels est souvent plus important que les fluctuations saisonnières.

Par conséquent, les systèmes adaptatifs s'adaptant à court terme semblent plus intéressants pour les développements futurs. En plus une performance plus élevée peut être obtenue en combinant l'utilisation de cellules photovoltaïques avec des éléments adaptatifs qui améliorent la qualité du flux thermique, optique et / ou de l'air. Ce sont les deux raisons qui m'ont poussé à choisir cette adaptation, elle touche plusieurs éléments et offrent de grandes possibilités pour l'économie et la production d'énergie.



## Informations

Le nombre d'informations trouvées est un point important. En effet, l'objectif est de recueillir des projets assez documentés afin de les inclure dans l'étude. Par documentation, on entend des informations liées aux performances énergétiques qu'apportent ce genre de façades, aux divers plans, témoignages...

En effet pour la catégorie de façades réactives je n'ai pas trouvé d'exemples construits dans la réalité. Il n'existe que des concepts théoriques à petites échelles, peut-être trop complexes à mettre en place, et/ou pas assez rentables en terme d'économie d'énergie. Mais je tiens à remplacer cet exemple par une façade adaptative intelligente qui s'inspire de la nature car elles permettent de créer des façades adaptatives plus simples et économes en matière. Et je voudrais en étudier pour savoir quel type de mouvements et de systèmes sont mis en place etc.. Et ainsi la comparer avec une autre façade de la catégorie intelligente car il n'y a que dans cette catégorie que les concepteurs se sont inspirés de la nature pour le moment. C'est ainsi que quatre cas d'études en sont ressortis après de nombreuses recherches et de lectures d'articles en architecture:

**Al bahars  
Towers**  
façade  
Intelligente



**Cj blossom  
center**  
façade  
Intelligente



**Manitoba  
hydro place**  
façade  
interactive

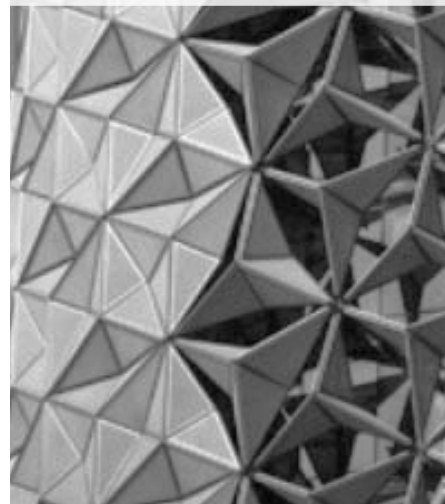
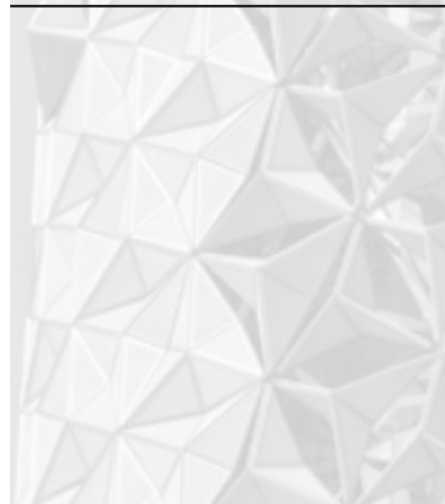
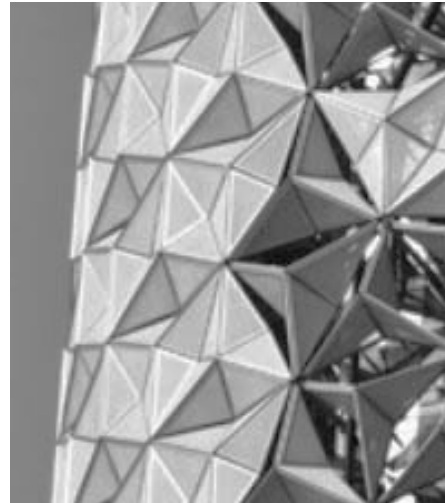


**Média-Tic**  
façade  
Responsive



**B**

**CORPUS**





# **Al-Bahars Towers**

Abu Dhabi

**Façade intelligente**  
(Biomimétisme)



## Concept

Le concept du projet s'inspire de l'objet islamique traditionnel «Moucharabieh» qui se démarque par deux tours circulaires recouvertes d'une structure inspirée d'un nid d'abeille et de son écran solaire dynamique automatisé. Le «Moucharabieh» est un écran en treillis en bois de l'architecture islamique traditionnelle, utilisé comme un moyen de garantir la confidentialité et le contrôle de l'environnement, y compris la ventilation naturelle, le contrôle solaire et la réduction de l'éblouissement. Mais ce projet s'inspire surtout de références dans la nature. Deux exemples directs ont été pris, qui sont la fleur d'un cactus et l'ananas. Un cactus a les caractéristiques d'un parapluie pour protéger sa peau sensible aux intempéries. Les fleurs s'ouvrent et se ferment en fonction des conditions météorologiques. L'enveloppe hexagonale de l'ananas recouvre efficacement une surface à double courbure. Les architectes ont cherché à incorporer ces attributs dans la conception des tours tout en gardant l'esprit du moucharabieh.

La superficie du projet est de 56 000 mètres carrés et est principalement destinée aux bureaux (Banque). Le projet présenté par l'architecte Abulmajid Karanouh (Aedas) propose deux tours circulaires de 150 mètres de haut recouvertes d'un mur rideau qui couvrent par un système d'ombrage cinétique. Les bâtiments sont entièrement climatisés avec différentes zones à l'arrière associées au stockage et à la restauration.

## L'enveloppe

Les deux tours circulaires sont revêtues d'un mur-rideau en verre résistant aux intempéries. Le mur-rideau est composé de panneaux motorisés avec une hauteur de sol à plancher de 4200 mm et une largeur variable de 900 à 1200 mm. Du sol au plafond, la zone de vision du mur-rideau s'étend sur 3100 mm. Le mur-rideau est séparé du système d'ombrage cinétique de 2 m par une sous-structure au moyen de joints de mouvement. Le système d'ombrage est un écran composé d'unités triangulaires telles que les parapluies en origami. Les unités triangulaires agissent comme des dispositifs d'ombrage individuels qui se déplient sous différents angles en réponse au mouvement du soleil afin d'obstruer le rayonnement solaire direct. Le dispositif d'ombrage comprend des cadres de support en acier inoxydable, des cadres dynamiques en aluminium et un remplissage en treillis de fibre de verre. Le système de pliage transforme l'écran d'ombrage d'un voile sans couture en un motif semblable à un réseau pour fournir de l'ombre ou de la lumière.

Chaque dispositif d'ombrage comprend une série de panneaux étirés en polytétrafluoroéthylène (PTFE). Lorsque le dispositif d'ombrage est fermé, les occupants peuvent toujours voir de l'intérieur vers l'extérieur. Au total, chaque tour dispose de 1049 dispositifs d'ombrage moucharabier, chacun pesant environ 1,5 tonne. La forme du bâtiment en plan et en élévation a conduit à 22 variations différentes dans les géométries de moucharabier, ce qui en soit a créé un défi pour la gestion de leur fabrication et de leur assemblage.

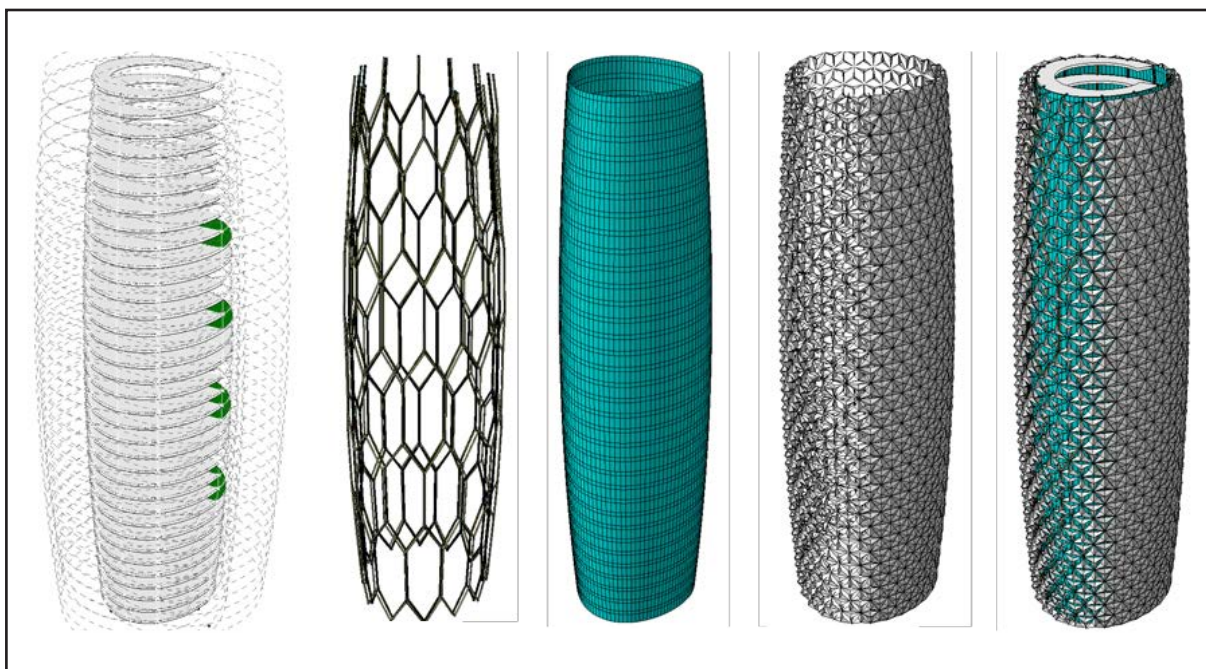
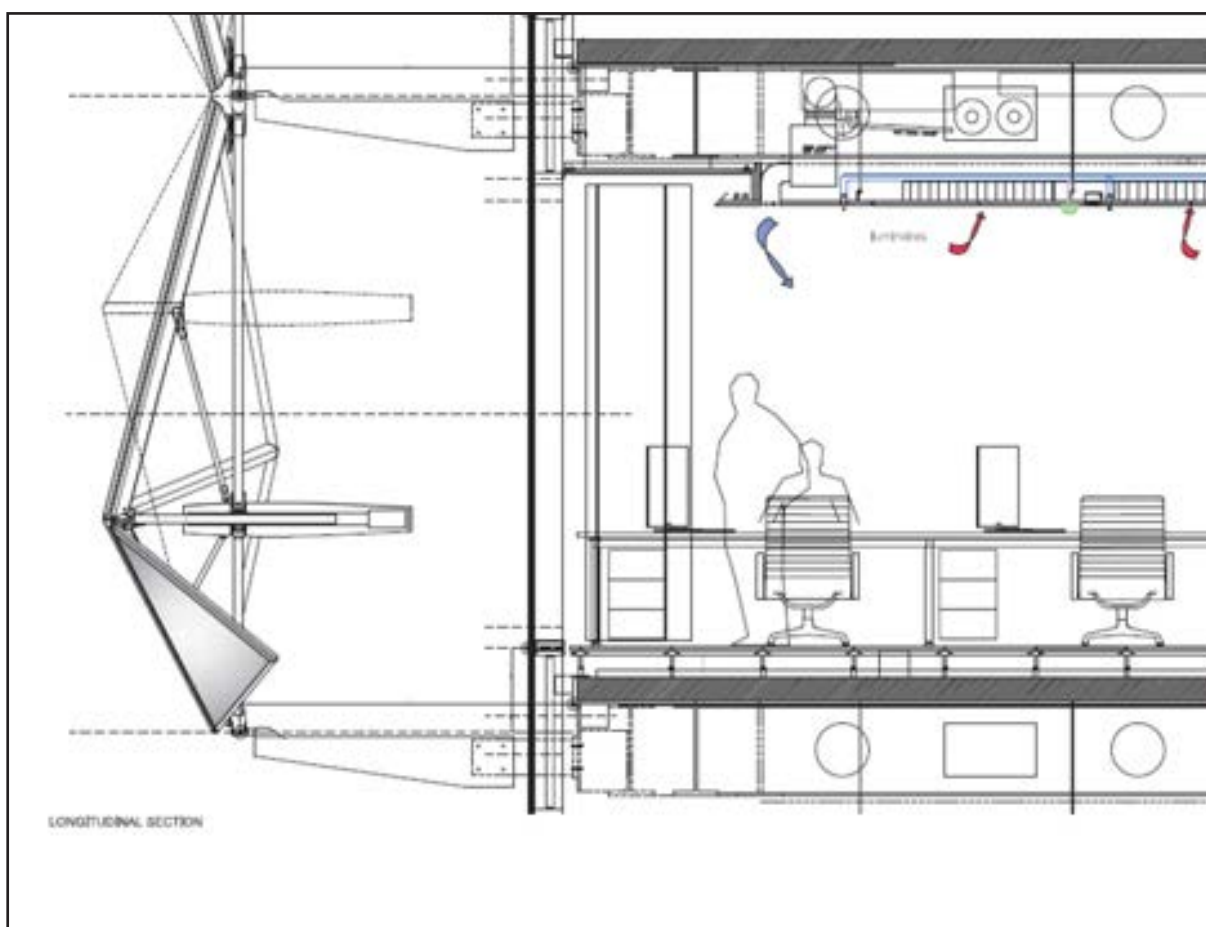


Schéma des différentes couches de peau



Coupe détails de la façade

## Automatisation et adaptation

L'écran d'ombrage est contrôlé par ordinateur pour répondre aux conditions optimales d'éclairage solaire. Les dispositifs d'ombrage Moucharabieh sont regroupés en secteurs et sont gérés par un logiciel de suivi du soleil qui contrôle la séquence d'ouverture et de fermeture en fonction de l'angle du soleil. Chaque dispositif d'ombrage comprend une série de panneaux étirée et est entraînée par un actionneur linéaire. L'actionneur est responsable de l'ouverture et de la fermeture une fois par jour selon une séquence préprogrammée pour empêcher le rayonnement solaire direct. Par temps couvert ou par vent fort, une série de capteurs intégrés à l'enveloppe du bâtiment enverra les signaux enregistrés à l'unité de contrôle pour ouvrir toutes les unités. La figure montre un modèle 3D détaillé d'un dispositif d'ombrage individuel avec l'actionneur, les manches, les bras et la maille de tissu.

Cette façade adaptative est constituée de 1 049 panneaux hexagonaux avec quatre actionneurs hydrauliques linéaires connectés à un système de gestion du bâtiment (BMS) (Wilkinson & Wood, 2012). Les capteurs implémentés dans chaque panneau hexagonal interagissent individuellement avec le système BMS. Le système BMS fournit à l'opérateur la vitesse du vent en temps réel, l'intensité de la lumière, les niveaux de pluie, les positions de repliement des panneaux et les défaillances d'un panneau (Karanousha & Kerberb, 2015) sont ce système de gestion du bâtiment permet de contrôler chaque unité individuellement ou en groupe. En cas d'événement météorologique, le programme automatisé est remplacé. C'est utilisé pour annuler le programme prédéfini et placer les unités en position mi-pli lors de conditions inhabituelles. Le mashrabiya a une durée de vie de 20 ans, y compris le tissu en fibre de verre revêtu de PTFE et les actionneurs ont une durée de vie de 15 ans.

La géométrie de pliage dynamique permet de surmonter les limitations des grilles d'aération verticales et horizontales traditionnelles lorsqu'elles sont appliquées à des bâtiments complexes. Le système de pliage transforme l'écran d'ombrage d'un voile sans couture en un motif semblable à un réseau qui, le cas échéant, fournit de l'ombre ou de la lumière. Cela réduit les reflets solaires, tout en offrant une meilleure visibilité en évitant le verre teinté sombre et les stores intérieurs qui faussent l'apparence de la vue environnante. Ce système offre une meilleure admission de la lumière naturelle diffusée. Cela réduit l'utilisation de la lumière artificielle et les coûts énergétiques associés. L'apport solaire réduit sur la peau principale les charges de refroidissement par l'air, la consommation d'énergie et la taille de la salle de fabrication.

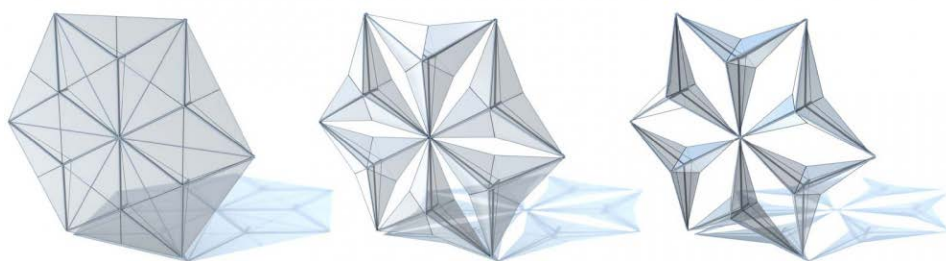
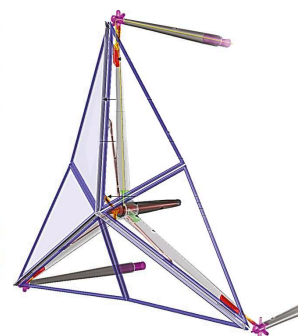


Schéma du pliage d'un module



Axonométrie des pièces

## Performances

Les tours sont bien connues pour leur conception hautes performances, avec une réduction d'environ 50% de la consommation d'énergie. Cela représente une grande quantité d'économies d'énergie, en particulier pour les immeubles de grande hauteur. Le World Trade Center à Bahreïn, qui est classé dans le même type de région, a réalisé une réduction de 14% de la consommation d'énergie grâce à l'installation d'éoliennes. Comment cet objectif était réalisable ? En outre, le rôle principal de la façade cinétique dans la création d'une grande performance environnementale pour ce projet. L'aspect principal des tours Al Bahar est la réinvention du Mashrabiya traditionnel. En résumé, ce système de façade cinétique réduit le gain solaire, améliore l'éclairage intérieur, augmente le confort des occupants et réduit la consommation d'énergie ainsi que les émissions de CO<sub>2</sub> de 1 750 tonnes par an.

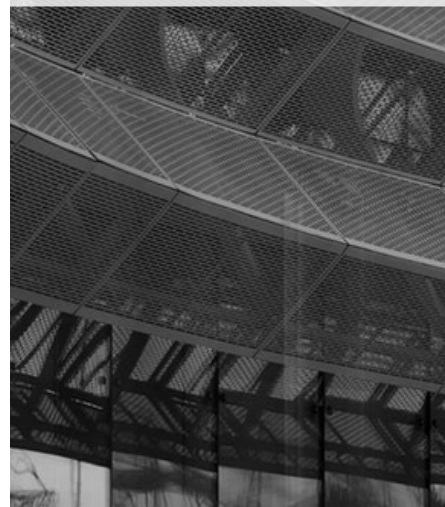
Les avantages suivants sont mesurables du système de façade innovant. En détaillant on a 50% d'économie d'énergie pour les seuls bureaux et jusqu'à 20% pour l'ensemble du bâtiment. Une réduction de 20% des émissions de carbone, avec un maximum de 50% pour les espaces de bureau uniquement.

En terme de matériaux on a une économie de 20% dans l'utilisation de ces derniers ainsi qu'un allègement du poids total en raison de l'utilisation hautement fluide, rationnelle et optimisée conception.

Enfin les avantages non mesurables du système de façade innovant sont les suivants: une amélioration du confort de l'utilisateur et amélioration du bien-être physique et psychologique des occupants. Les espaces sont plus agréables car ils sont naturellement éclairés grâce à une meilleure admission de la lumière naturelle diffusée. Cela offre aussi une meilleure visibilité des vues naturelles externes, moins recours au piégeage obstructif et psychologique des stores.

On note aussi une amélioration du confort en réduisant les charges lourdes de climatisation et le tirage d'air. Enfin la façade produit une identité iconique globale du bâtiment. En effet elle confère au bâtiment une identité unique, enracinée dans le patrimoine et l'environnement local et cette fonctionnalité unique et divertissante aux occupants et au public de passage.









---

# **CJ BLOSSOM PARK**

Séoul

## **Façade intelligente**

---

## **Concept:**

Le centre de recherche et de développement CJ Cheiljedang est un projet qui propose de regrouper sous un même toit plusieurs entreprises disparates de CJ Corporations. L'entreprise a cherché à créer un environnement véritablement unique se servant du centre de découverte scientifique pour refléter un état esprit «ne faire qu'un». Le projet, un centre de recherche proposé à Séoul, en Corée du Sud, a été conçu pour donner à la société une image respectueuse de l'environnement.

Ce nouveau centre de recherche et développement de 365 000 mètres carrés a été conçu pour prendre en charge un nouvel environnement de travail scientifique doté de toute une gamme d'équipements destinés à favoriser la créativité et l'innovation. Le concept se sert de l'identité du client pour concevoir une forme de fleur à trois pétales qui représente une «vie meilleure» de bonheur, de plaisir et de commodité, qui, conjuguée à un programme soutenant trois divisions scientifiques axées sur la recherche bio / alimentaire, a contribué à inspirer l'empreinte du nouveau bâtiment. Trois tours entourées d'un verre incurvé organique sans meneaux et d'un canevas personnalisé se dressent autour d'un atrium central qui favorise l'interconnectivité et la circulation des fluides tout en enrichissant la lumière naturelle.

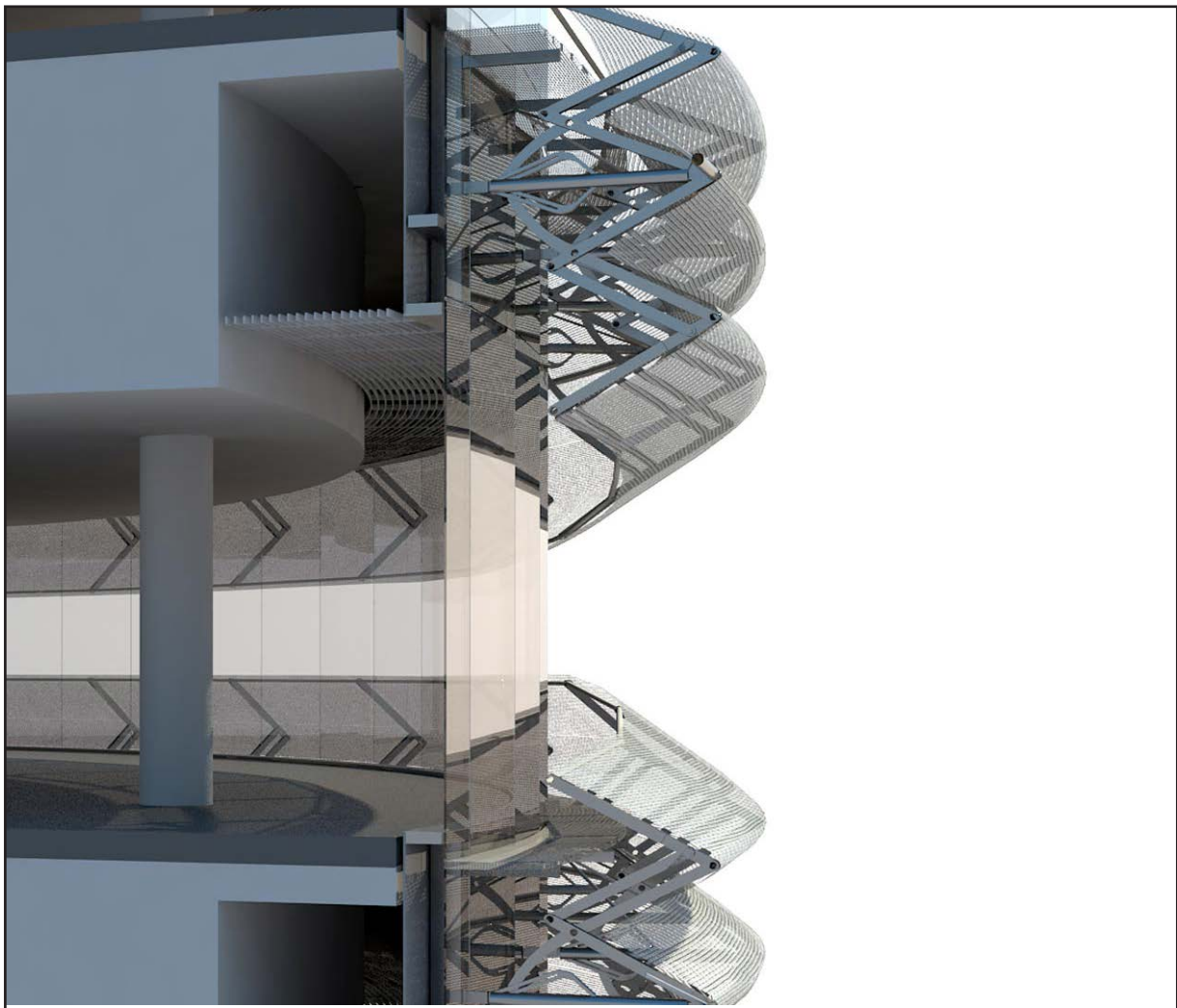
L'atrium agit comme la tige nourrissante croissante qui se développe avec l'activité et la vie. Métaphoriquement, la base du bâtiment est la graine à partir de laquelle tout le reste s'est épanoui

## **L'enveloppe:**

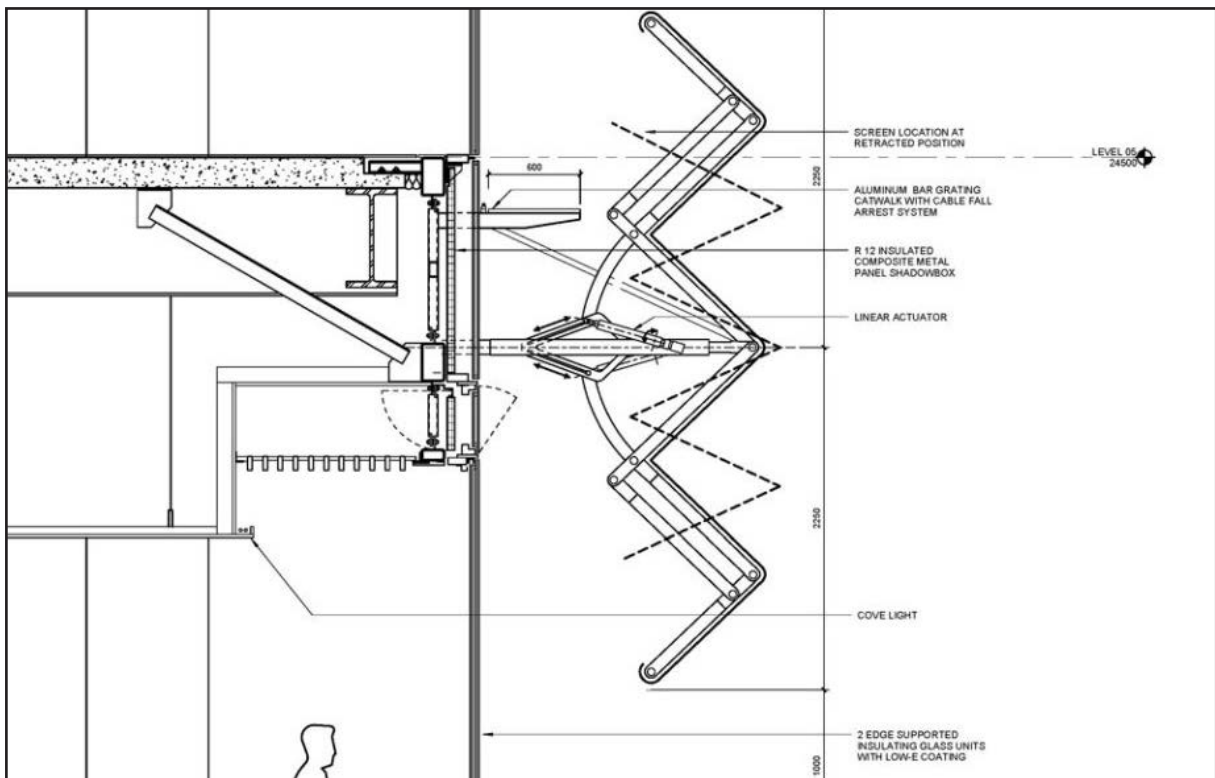
Le programme de l'immeuble nécessitait de protéger les laboratoires de recherche de l'éblouissement solaire, tout en maintenant les vues et l'éclairage naturel du jour. La solution retenue est une façade cinétique réactive composée de panneaux plissés. Ces panneaux sont des voiles fait de métal perforé dont les diamètres ont été fixés et restreints par le volume selon les bureaux ou les laboratoires nécessitant un rayonnement solaire plus ou moins limité.

Cependant ce n'est que dans les zones clés, que le système de façade se plie pour optimiser le contrôle solaire à l'aide d'un mécanisme rétractable conçu sur mesure. Chaque unité est disposée entre les étages en groupes de trois rubans, ce qui permet de couvrir ou d'exposer complètement les fenêtres.

Et fonctionne ainsi, lorsqu'il est complètement ouvert, le système fournit une lumière du jour diffuse dans les laboratoires, le protégeant ainsi des rayons du soleil estival. Une fois plié, le système permet l'éclairage diurne direct dans les laboratoires. Les plis et les perforations de la seconde peau pliable du bâtiment sont soigneusement disposés pour optimiser l'efficacité à l'intérieur.



Coupe de la façade montrant le positionnement du système.



Coupe détail du système.



## Automatisation et adaptation

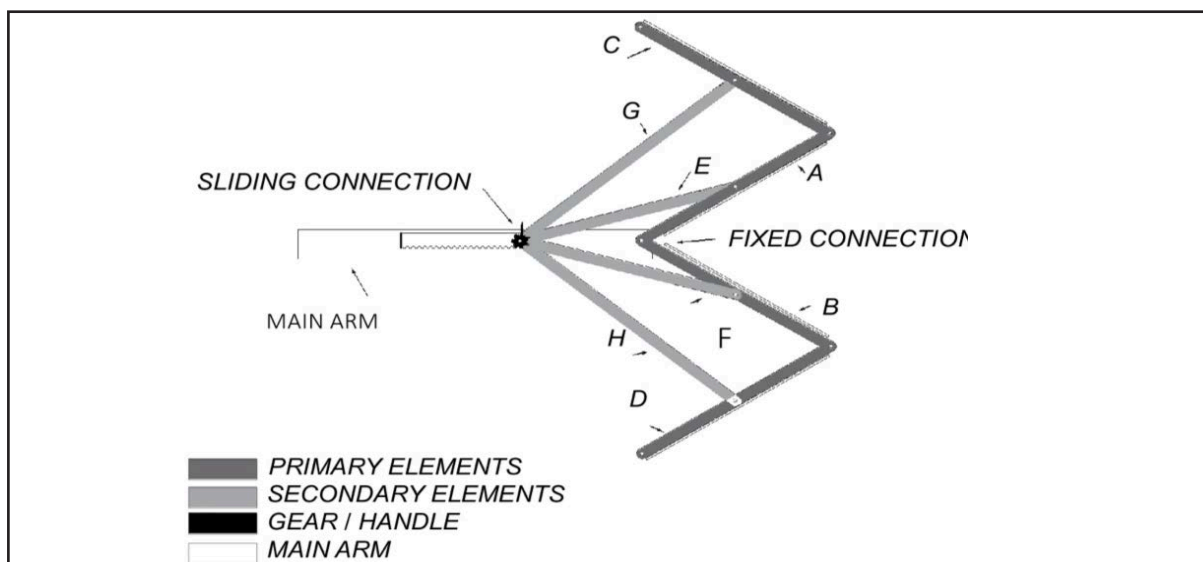
La façade cinétique capable de réagir et de s'adapter en temps réel au rayonnement solaire et à la saisie de l'utilisateur.

En effet une approche globale et complète de la lumière du jour a été réalisée avec un grand atrium central, des capteurs de périmètre à contrôle de l'éblouissement et de lumière du jour. La flexibilité et l'efficacité sont assurées sur chaque étage au moyen d'un système de poutres climatiques pour le contrôle de la température. De nombreux matériaux ont été achetés localement pour aider à assurer la réduction du carbone dans le processus du projet. Le rayonnement solaire du bâtiment a été étudié pour optimiser le pourcentage de perforations de la façade. De plus le confort physique et psychologique a été pris en compte grâce à la distribution d'air, à l'amélioration de l'éclairage, aux options de travail flexibles et à la technologie. Cela permet à l'environnement d'être accessible, esthétique et productif.

Le système cinétique utilise des éléments pantographiques entraînés par moteur pour s'étendre et se rétracter. Les rubans sont segmentés de manière à ce que des parties d'un côté du bâtiment puissent être ouvertes, tandis que des parties du côté opposé peuvent être fermées. Ils ne doivent pas travailler à l'unisson, car les conditions d'éclairage sur les côtés opposés du bâtiment seraient très différentes.

Chaque unité est composée de six panneaux d'ombrage, avec des unités pantographiques régulièrement espacées entre elles autour du bâtiment. Six éléments pantographiques principaux (qui supportent les six panneaux d'ombrage) sont connectés au bras principal. Des éléments pantographiques secondaires et tertiaires poussent et tirent les éléments principaux afin de plier les unités dans le système. L'ouverture de plusieurs ancrages adjacents à différents degrés permet d'ouvrir des poches de la façade, tandis que d'autres restent fermées.

Il existe trois connexions critiques qui déterminent le mouvement du système. Les éléments pantographiques primaires et secondaires sont attachés via une connexion fixée. Les éléments pantographiques tertiaires sont connectés via une connexion coulissante et une connexion fixée. Cette liaison coulissante est motorisée, déplaçant l'ensemble des éléments pantographiques.



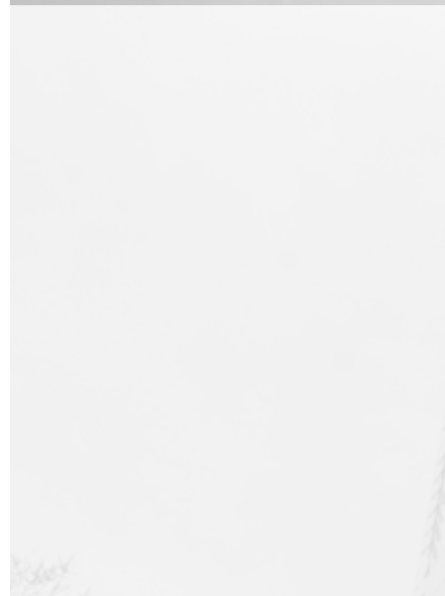
## Performances

Le rayonnement solaire du bâtiment a été étudié pour permettre une variation de 30% à 50% des perforations en fonction de l'orientation. Cela permet au bâtiment d'économiser de l'énergie, en réduisant les émissions de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre, contribuant ainsi à réduire l'empreinte carbone du bâtiment. De plus ce projet a mobilisé des milliers de personnes dans le pays pour la construction dans de nombreux domaines et soutiendra permettant ainsi de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>

L'efficacité thermique du bâtiment a été accrue grâce à l'enveloppe et à l'optimisation du gain de chaleur solaire. Cependant les équipes de développement ont communiqué très peu de chiffres sur les performances du bâtiment. Ils ont seulement communiquer les chiffres liés à l'éclairage et aux système de refroidissement. En effet la stratégie d'éclairage combiné au contrôle du rayonnement solaire permet d'économiser plus de 52% de la puissance d'éclairage par rapport a la moyenne des immeubles en Corée.

Le système de refroidissement est composé de poutre froide actif et est unique en Corée. Il comprend un concept de système de récupération d'énergie à caloduc centralisé qui dessert tous les espaces de laboratoire ouverts et fonctionne en collaboration avec un système de centrale de traitement qui dessert les espaces de laboratoires ouverts de chaque tour à pétales. La flexibilité qu'offre ce système et celui de l'enveloppe en ce qui concerne les charges de refroidissement changeantes, génère plus de 9% d'économies d'énergie sur l'ensemble du bâtiment (63% d'économies d'énergie de ventilateur) par rapport à un système de ventilo-convecteur CV classique.

Ici les avantages non mesurables du système de façade innovant est l'amélioration du confort de l'utilisateur et amélioration du bien-être dans des conditions précises tels que des laboratoires. Les laboratoires sont plus agréables car ils sont naturellement éclairés par une meilleure admission de la lumière naturelle. Cela offre aussi une meilleure visibilité des vues naturelles externes, sans avoir à utiliser de stores.





---

# **Manitoba-hydro**

Winnipeg

## **Façade interactive**

---

## **Concept:**

Le programme est un immeuble de 210 000 mètres carrés dans le centre-ville de Winnipeg. L'objectif principal du bâtiment est de réduire la consommation d'énergie par rapport au bâtiment modèle du Code national de l'énergie du Canada de 60%. Le climat extrême de Winnipeg était initialement perçu comme un défi aux objectifs de réduction d'énergie. La température de la ville varie annuellement de -35 ° C en hiver à + 35 ° C en été. De plus Winnipeg en été reçoit également plus de soleil que la plupart des grandes villes canadiennes et possède une abondance inhabituelle de vents forts du sud. L'équipe de conception s'est servi de cela pour répondre au défi climatique afin de réduire la consommation d'énergie et de créer un lieu de travail sain.

La conception qui en découle est unique : deux grandes masses séparées par un atrium transparent, exposé au sud et à structure légère. La première tour est évasée et contient des atriums de trois et de six étages servant de capteurs solaires, d'échangeurs d'air, de systèmes de traitement d'air et de conduits de ventilation. Le tout orienté plein sud dans le but de capter l'abondante lumière du soleil de Winnipeg en hiver et les vents forts du sud. L'air frais est tiré dans l'atrium sud et il est climatisé pendant son ascension à l'intérieur de l'atrium.

La tour principale fonctionne comme un capteur solaire passif. A l'est et à l'ouest se trouvent des lofts, ils sont ouverts à l'extrémité sud et séparés par des jardins d'hiver qui maximisent le gain de chaleur solaire. Les lofts se rejoignent à l'extrémité nord de la tour, ce qui réduit l'exposition directe au nord et minimise les pertes de chaleur.

## **L'enveloppe:**

Une tour de verre dans le climat extrême de Winnipeg était paradoxalement logique. Par temps extrêmement froid, il fait également très beau, propice aux gains solaires. La réduction de la demande de chauffage pour la Place Manitoba Hydro est en grande partie attribuable à la conception hautement performante du mur-rideau à double façade. Cela contredit l'approche classique d'une enveloppe économe en énergie, qui augmente les zones opaques et l'isolation à l'extérieur du bâtiment. Un taux de vitrage limité compromettrait deux qualités essentielles d'un environnement intérieur de haute qualité: la lumière du jour maximale et les vues extérieures. En introduisant des façades tampons sur les faces est-ouest et en élargissant les zones tampons de la façade sud pour en faire des jardins d'hiver, il est possible de maintenir une excellente lumière du jour et des points de vue tout en renforçant l'efficacité énergétique.

Les façades est et ouest fonctionnent selon trois modes principaux. En hiver, la façade est scellée et sert de capteur solaire. En été, des centaines de fenêtres ouvrantes de la façade extérieure s'ouvrent et permettent à la ventilation par le vent et à l'air de convection de ventiler la double façade. Pendant les saisons intermédiaires, la façade extérieure est ouverte et les employés sont invités à ouvrir les fenêtres manuelles du mur rideau intérieur. Le mur-rideau modulant est un exemple visible de la réponse climatique approche à la Place Manitoba Hydro et est devenue une image emblématique du centre-ville de Winnipeg.



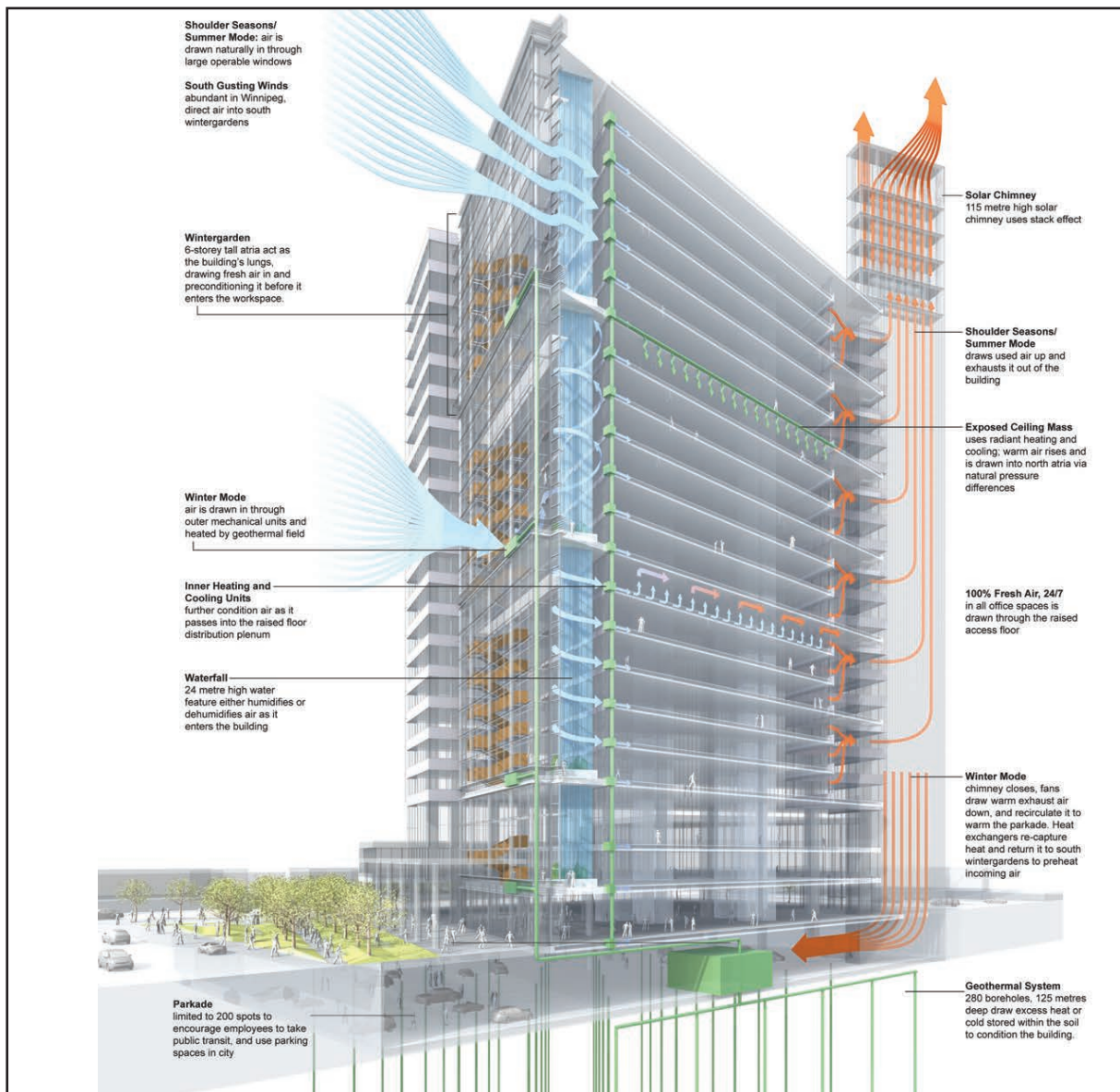
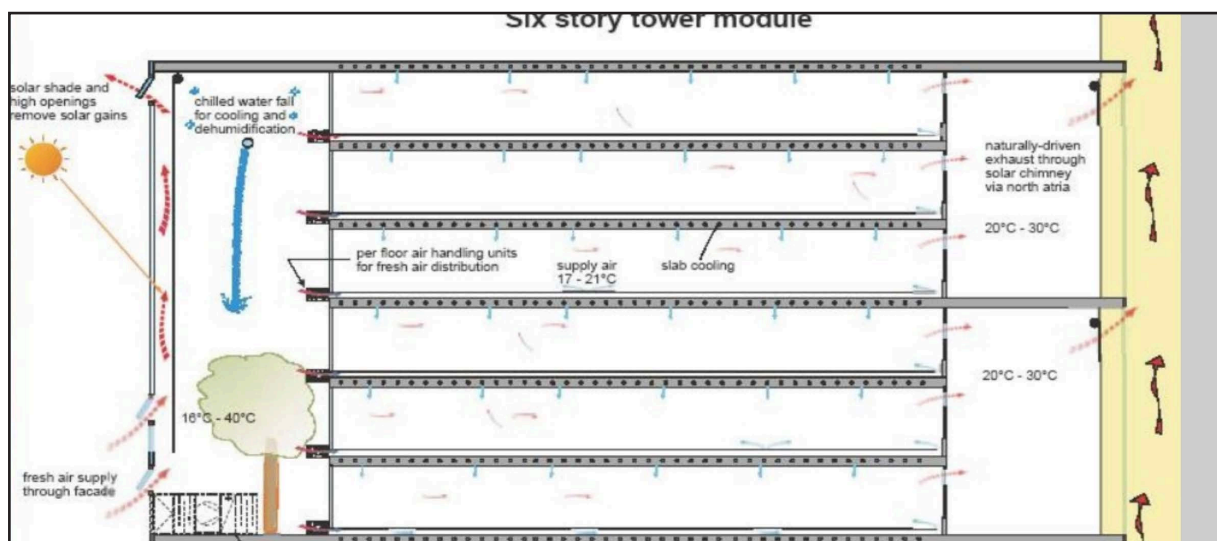


Schéma des grands principe de circulation d'air



Coupe principe des atriums et de la double peau.

## Automatisation et adaptation

La façade extérieure est motorisée et à commande centrale, tandis que la façade intérieure est à commande manuelle mais motorisée. La façade extérieure est contrôlée automatiquement en fonction des conditions intérieures et extérieures, notamment de la température de l'air extérieur et interstitiel, de l'humidité, des niveaux de luminosité et de la vitesse du vent.

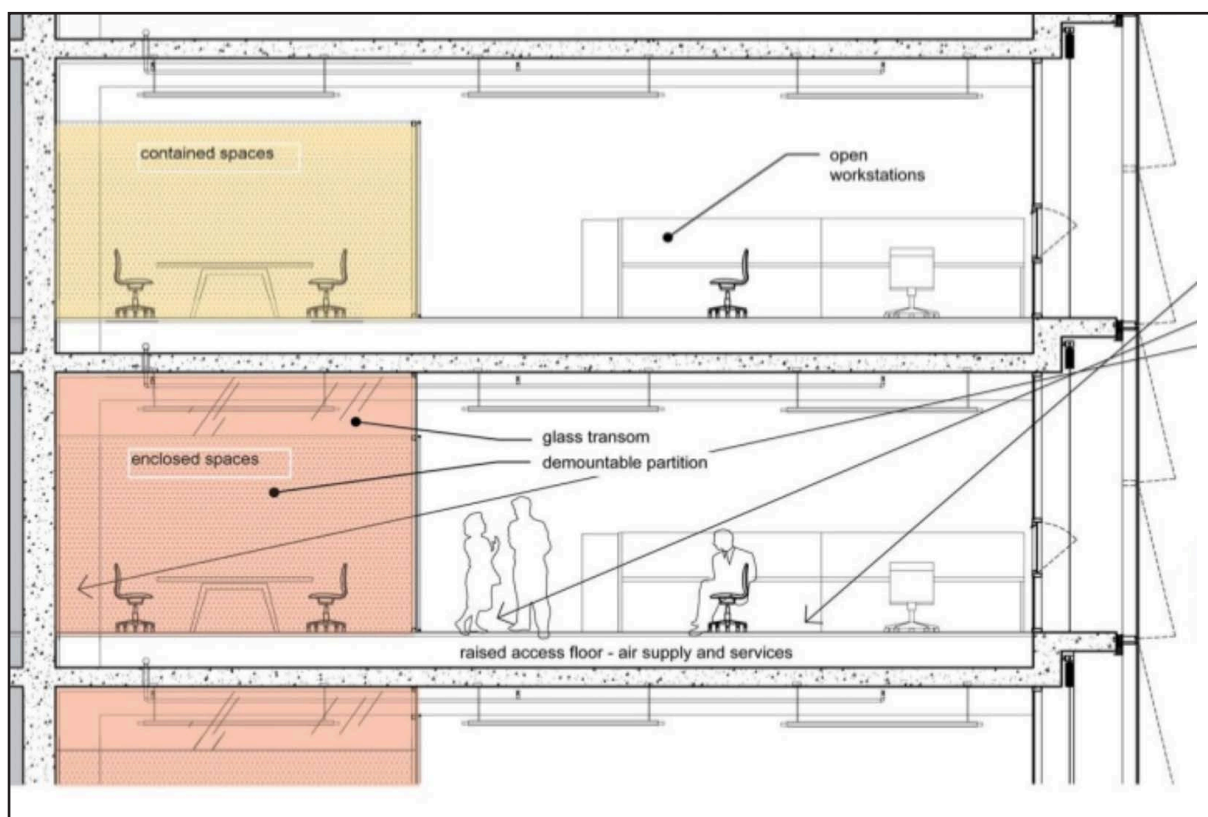
Cependant, l'objectif principal de la Place Manitoba Hydro a toujours été le contrôle personnel pour une perception accrue du confort. Chaque employé a accès à une vue extérieure et reçoit de la lumière naturelle pendant 80% des heures normales. Pour le contrôle personnel, ils peuvent atténuer la lumière avec le dispositifs d'ombrage depuis leur ordinateur, ainsi qu'un accès à des fenêtres ouvrantes pour un meilleur contrôle du confort. Le système d'ombrage sont des stores à persiennes automatisés qui sont situés dans la zone tampon. Cela permet d'avoir le contrôle de l'éblouissement et du gain de chaleur. Mais aussi cela garantit que les demandes de refroidissement ne soient pas augmentées par la façade.

Sur le plan esthétique, la transparence des systèmes de vitrage permet d'atténuer la masse et l'ampleur globales du bâtiment dans le paysage de rue.

Enfin une excellente qualité de l'air intérieur est une des autres caractéristiques contrôlable pour le confort. En effet la ventilation par déplacement est déployée via une série de grilles de plancher contrôlées par les occupants, permettant aux utilisateurs de contrôler leur environnement de travail immédiat.

Le système de gestion technique du bâtiment (BMS) utilise les conditions existantes (températures, rayonnement, vent, précipitations) pour l'intégration en temps réel de l'architecture et les systèmes individuels pour le confort et l'efficacité. Deux stations météorologiques sur site collectent des données climatiques, qui sont manipulées à l'aide de séquences de construction en commandes pour différents points de contrôle (fenêtres ouvrantes, positions d'ombrage, températures des dalles, etc.). Ces séquences sont optimisées en permanence en fonction de l'amélioration du confort des occupants et des économies d'énergie. Par exemple, un programme de construction nocturne a été mis en place lorsqu'il a été observé que le centre-ville de Winnipeg présentait souvent des variations de température suffisantes en été.

Le BMS sert également à vérifier et à optimiser les objectifs énergétiques et à observer de près les performances des bâtiments. Plusieurs centaines de mètres surveillent l'éclairage, les charges de fiche, le chauffage de l'eau, l'énergie des pompes et des ventilateurs et les charges hydrauliques, entre autres. Ces points de mesure ne représentent qu'une petite partie des plus de 25 000 points de contrôle et d'observation du système de gestion des bâtiments.



Coupe détail de la double peau.

## Performances

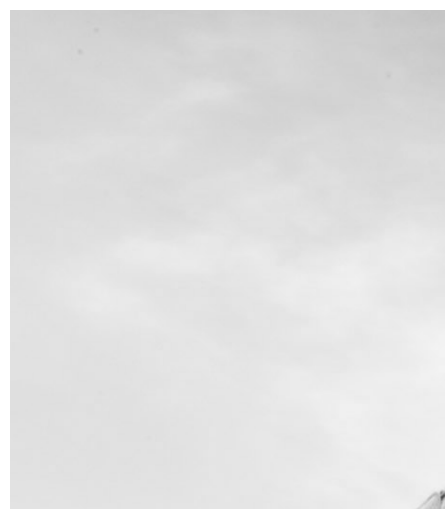
Le Manitoba Hydro place a une réduction d'énergie de 317 MJ / M<sup>2</sup> ce qui équivaut à 66% en moins par rapport au modèle national energy code for buildings. Grâce au système automatisé d'ouverture des façade et à la gestion complexe de la circulation d'air. Qui permet d'éviter l'utilisation de chauffage et de la climatisation.

De plus il produit un pourcentage de 98% d'énergies renouvelables fournies par le réseau. Le pourcentage de la superficie totale du bâtiment éclairé par la lumière du jour est de 85%. En terme de perception de confort, le bâtiment peut être ventilé ou refroidi avec les fenêtres ouvrantes sur la totalité de l'espace de bureau.

Les précipitations sont gérées sur place à 100% car elles sont redirigées vers un réservoir d'irrigation. Le pourcentage de l'eau totale provenant de sources récupérées proviennent à 100% de l'eau utilisée à l'extérieur.

Enfin comme pour les autres façades les avantages non mesurables du système de façades innovantes sont une amélioration du confort de l'utilisateur puisque les espaces sont naturellement éclairés grâce à une meilleure admission de la lumière naturelle. Cela offre aussi une meilleure visibilité des vues naturelles externes, on a moins recours à l'obstruction des stores. Il y a aussi une amélioration du confort en réduisant les charges lourdes de climatisation et de tirage d'air et la possibilité de contrôler la circulation d'air naturelle dans les bureaux. De plus les occupants peuvent contrôler personnellement leur environnement, ils peuvent interagir avec la façade ce qui évite de provoquer une gêne généralisée liée à la passivité envers le contrôle de leur environnement intérieur.







---

**Media-Tic**

Barcelona

**Façade Responsive**

---

## Concept

Conçu par Cloud9, MediaTIC forme un cube de 44 m x 44 m x 37,82 m situé au 22 @ Barcelona. C'est un bâtiment en forme de cube composé de plusieurs grandes poutres en fer recouvertes de bulles de plastique gonflables. La couverture atrayante est également fonctionnelle en tant qu'instrument de régulation de la lumière et de la température.

En ligne avec le thème pro-technologie du quartier 22 @, l'architecte du projet et fondateur de Cloud 9, Enric Ruiz Geli, a fait de la technologie un élément central de la création du bâtiment en intégrant des technologies de pointe à l'architecture réelle du bâtiment afin d'améliorer l'efficacité énergétique.

De plus la vision paramétrique de l'architecte a permis de penser le bâtiment en termes de modules: la structure est un module de 5 m x 14,7 m; les faux toits sont des modules de 30 cm; les sols surélevés sont des modules de 50 cm; tout est connecté et lié. Le programme du bâtiment et ses plans possibles ont été étudiés à l'aide de logiciels de CAO liés à Excel et d'un script programmé dans Cloud 9. Ils optimisent ainsi les 36 m de distance d'évacuation en cas d'incendie, la surface maximale du programme avec éclairage naturel, le rapport de m<sup>2</sup> répartis par rapport au m<sup>2</sup> construit etc...

Conçu pour l'avenir, le Media-TIC est construit comme une série de ponts reliant les façades et laissant un espace libre pour les auditoriums ou les expositions. Le point culminant du bâtiment est sa façade extérieure, qui le protège de la chaleur et de la lumière, tout en s'adaptant pour laisser entrer la lumière lorsqu'il est avantageux de le faire. 40% du budget de construction est destiné à la structure du bâtiment (au lieu des 25% ou 30% habituels). Une structure habitable, semblable à une vie entourée par le réseau, une structure qui soutient le bâtiment mais comprend des espaces ouverts translucides et flexibles.

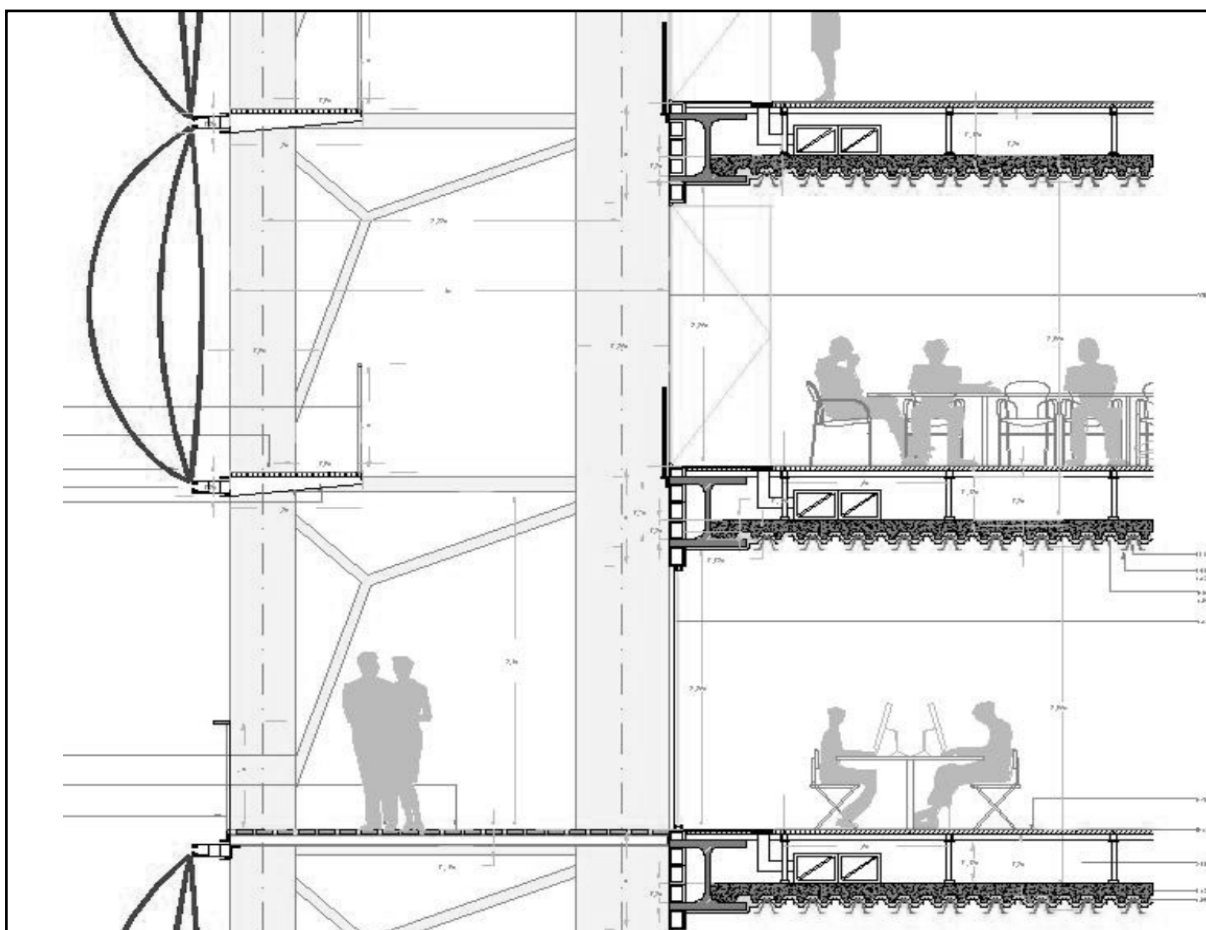
## L'enveloppes

Toutes les façades de Media-TIC sont différentes. Certaines parties des espaces intérieurs sont révélées de l'extérieur et fournissent des expressions diverses.

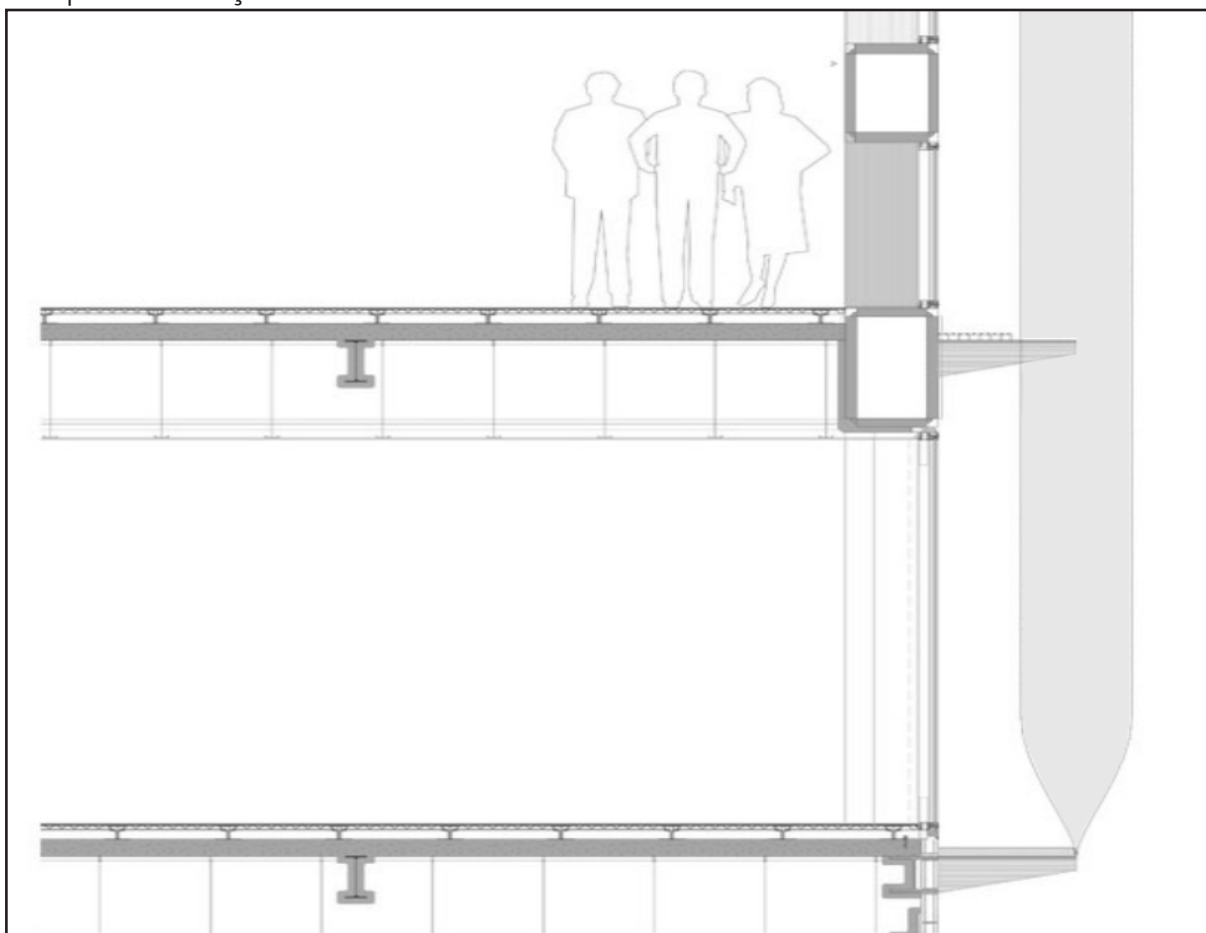
Un revêtement ETFE (éthylène tétrafluoréthylène) translucide et révolutionnaire, un matériau récemment approuvé pour la construction, est en soi une innovation dans le bâtiment espagnol. Cette enveloppe en polymère de 2 500 m<sup>2</sup> sert à la fois de couverture externe et d'écran solaire mobile pour faciliter la pénétration de la lumière et permettre de réduire les factures de chauffage.

L'épaisseur de la façade est réduite au minimum grâce à l'utilisation de cette peau en plastique léger (d'une épaisseur totale de 0,2 millimètre), tandis que le filtre solaire a un coefficient de filtrage de la lumière UV de 85%. Le matériau très dense est également anti-adhérent et ne se salit guère. Son application sur le bâtiment Media-TIC lui donne l'apparence d'un gigantesque cube garni de bulles de plastique.





Coupe détail façade Sud-Est



Coupe détail façade Sud-Ouest

## Automatisation et adaptations

Ce revêtement intelligent Texlon ETFE sur les façades sud-est et sud-ouest. Les coussins ETFE à contrôle climatique de la façade sud-est reçoivent en moyenne six heures de soleil par jour et utilisent un texlon spécial pour optimiser les apports solaires sous tous les climats. Le revêtement a trois couches de matériau sur la façade sud-est qui reçoit le plus de soleil. Ces couches peuvent être gonflées automatiquement à l'aide de capteurs pour former deux chambres à air.

La première couche d'ETFE est transparente, mais les deuxième et troisième couches ont un motif inversé qui, une fois gonflé ou dégonflé, rend la façade transparente ou opaque. Cela évite l'entrée de lumière et de chaleur en période d'ensoleillement maximal. C'est ce que l'on appelle la configuration «membrane ETFE». Le système peut gérer le mouvement de l'air autour de toute la façade, avec des résultats très favorables en termes d'efficacité énergétique.

Les façades nord ouest et nord-est du cube sont vitrées et peu exposées au soleil. Le toit du bâtiment abrite une couverture photovoltaïque et, dans une partie, un jardin naturel. Les eaux de pluie sont collectées dans un réservoir afin de maximiser l'utilisation des circuits de traitement des eaux usées du bâtiment.

La façade sud-ouest incorpore un deuxième type de texlon qui génère un brouillard à base d'azote dans plusieurs sacs longitudinaux en ETFE disposés le long de la façade et qui agit comme un filtre solaire au moyen des particules de gaz opaques et denses entre deux couches de feuille Texlon. En augmentant des particules, ils produisent une plus grande opacité, protégeant ainsi les utilisateurs.

Ces mécanismes, ainsi que les capteurs de température, d'humidité et de pression dans les façades ont des coûts d'exploitation très bas et garantissent l'efficacité écologique de Media-TIC.

Son système de contrôle se compose de micro-contrôleurs et de coussins pneumatiques à base d'Arduino (Kolarevic et Parlac, 2015). Les coussins d'air en éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE) sont dotés de capteurs répartis pour détecter la chaleur et la lumière du soleil. Les réponses des capteurs peuvent être l'inflation, le dégonflage et l'augmentation de la densité de coussins d'azote. Ces facteurs influencent sur l'apparence de la façade (Mondia, 2014).

Chaque panneau de ce système se compose de capteurs photo et UV, de capteurs de pression pneumatiques, d'actionneurs pour le corps souple et de microcontrôleurs, intégrés dans un corps souple pour répondre à la luminosité ou aux rayons UV du soleil. Sur la base de données environnementales détectées par des capteurs, les micro-contrôleurs contrôlent le flux d'air sous pression dans le corps mou. L'air provoque une déformation de la géométrie du corps mou, qui régule de manière dynamique l'opacité de la façade (Park & Bechthold, 2014).



## Performances

Media-TIC vise à atteindre une réduction de 1 à 20% des émissions de CO<sub>2</sub> due à l'utilisation du refroidissement urbain, énergie propre 2 à 10% de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> grâce au toit photovoltaïque produisant environ 29 000 kWh / an . 3 à 55% de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> grâce au filtre solaire ETFE dynamique 4 à 10% de réduction de CO<sub>2</sub> due à l'efficacité énergétique liée aux capteurs intelligents. Avec une réduction totale de 95% de CO<sub>2</sub>, Media-ICT est presque un bâtiment Net Zero. Le projet construit de Media-ICT a obtenu la «cote énergétique A».

Les mesures d'économie d'énergie de Media-TIC consistent à empêcher le rejet dans l'atmosphère de 114 tonnes de CO<sub>2</sub> par an, ou la production de l'électricité produite par 700 capteurs photovoltaïques.

L'étude sur l'exposition au soleil du bâtiment a révélé que le coût le plus important en termes de climatisation serait le refroidissement, les frais de chauffage étant minimes. En intégrant de l'ETFE sur les façades faisant face au SE (Sancho de Ávila) et au SO (façade CAC), la charge énergétique est considérablement réduite, ce qui permet d'économiser jusqu'à 20% des coûts de refroidissement grâce à l'utilisation du filtre solaire.

## COMPARAISON

4

Cette comparaison est basée sur les types de technologies, les types d'actionnement utilisées dans les systèmes de façade adaptative, mais aussi le types de mouvements, le type de système de contrôle ainsi que les capteurs de données (voir tableau ci-contre). Afin de pouvoir les comparer car à mon sens ce sont les principaux facteurs qui diffère selon les exemples pour concevoir une façade adaptative.

Projet	Manitoba hydro place	Tour Al Bahar	Cj blossom park	Media-Tic
Année	2008	2012	2016	2011
Localisation	Winnipeg, Canada	Abu Dhabi, E.A.U	Seoul, Corée du Sud	Barcelone, Espagne
Architectes	Kuwabara Payne McKenna	Aedas	Cannon Design	Enric Luiz Geli
Technologie implantée	Technologie Electro-mécanique	Technologie Electro-mécanique	Technologie Electro-mécanique	Technologie basé sur les matériaux
Système de contrôle	Contrôle centralisé BMS Contrôle manuel	Contrôle centralisé HMI & BMS	Contrôle centralisé	Système de contrôle décentralisé
Type de contrôle	extrinsèque	extrinsèque	extrinsèque	intrinsèque
Type de mouvement	Macro	Macro	Macro	Micro
Types de capteurs	Capteurs externe et internes reliés aux contrôle centralisé et station météo	Capteurs externe reliés aux contrôle centralisé et station météo	Capteurs photosensible et capteurs thermique internes	Capteurs thermique, réseaux de capteurs interne
Types d'actionnement	Actionneurs linéaire	Actionneur hydraulique	Actionneurs linéaire	Actionneur pneumatique
Matériaux de la façade	Verre	PTFE Fiberglass	Metal perforé	ETFE
Structure de la façade	Béton	Seconde peau en poteaux-poutre	Béton, acier	Poteaux-poutre
Performance de la façade et du bâtiment	Bâtiment en entier permet 65-66% d'énergie 50% de CO2	Façade permet 50% d'énergie 20-50% de Co2 20% d'économie de matière	Bâtiment en entier permet 52% de puissance d'éclairage 63% d'énergie pour la ventilation	Façade ETFE: 3 à 55% de Co2 Capteurs 4 à 10% Co2

Tableau de synthèse des différentes caractéristiques de façades actives.

## 1/Électro-mécanique :

Dans ces exemples, il y a deux types de technologies : les technologies électro-mécaniques et les technologies basées sur les matériaux. Pour commencer la technologie électro-mécanique qui est présente dans trois des quatre exemples analysés (manytoba-hydro, al-bahars towers et cj blossom park).

Suite à une entrée spécifique venant de l'environnement, cette technologie consiste à répondre en la convertissant en mouvement mécanique pour un système mécanique externe. Le cheminement se fait comme suit : les capteurs internes/externes enregistrent une donnée qui est transmise par signal électrique au système de contrôle et au système de management des énergies. Ces deux systèmes transforment cette information en indication de mouvement qui est ensuite transmise par signal électrique aux actionneurs, et ceux-ci mettent en mouvement le/les mécanisme(s) extérieur(s). Cette technologie inclue les catégories de façade active suivante, intelligente, réactive et interactive.

Cette technologie utilisée dans les façades adaptatives est une technologie mature et est considérée comme une technologie fiable qui présente des avantages importants, tels que la standardisation des pièces, des composants de conception modulaires, un coût initial peu coûteux, et un contrôle des dépenses d'énergies.

Les inconvénients de cette technologie sont la complexité des pièces mécaniques lourdes, d'après Tashakori (2014), la défaillance potentielle de la fatigue des matériaux, la difficulté de remplacement des pièces due à cette complexité d'assemblage et aux répétitions pour effectuer un mouvement souvent complexe. De plus, les coûts de maintenance et de réparation sont élevés et il y a une dépendance aux puissances électriques, d'après Adriaenssens et al. (2014), et un contrôle invariable par des actionneurs uniques, selon Decker & Zarzycki (2013).

Cependant, la consommation d'énergie électrique par les composants est minime et les inconvénients de cette technologie ont incité les concepteurs à promouvoir d'autres technologies. Notamment sur la performance des actionneurs avec la possibilité de faire varier les mouvements avec différents types et différents degrés de mouvements. Grâce à la création des actionneurs électro-mécaniques, les actionneurs pneumatiques, les actionneurs hydrauliques et les servomoteurs sont devenus des dispositifs courants en tant que composants de façades pour faire face aux conditions climatiques et pour compléter cette technologie.

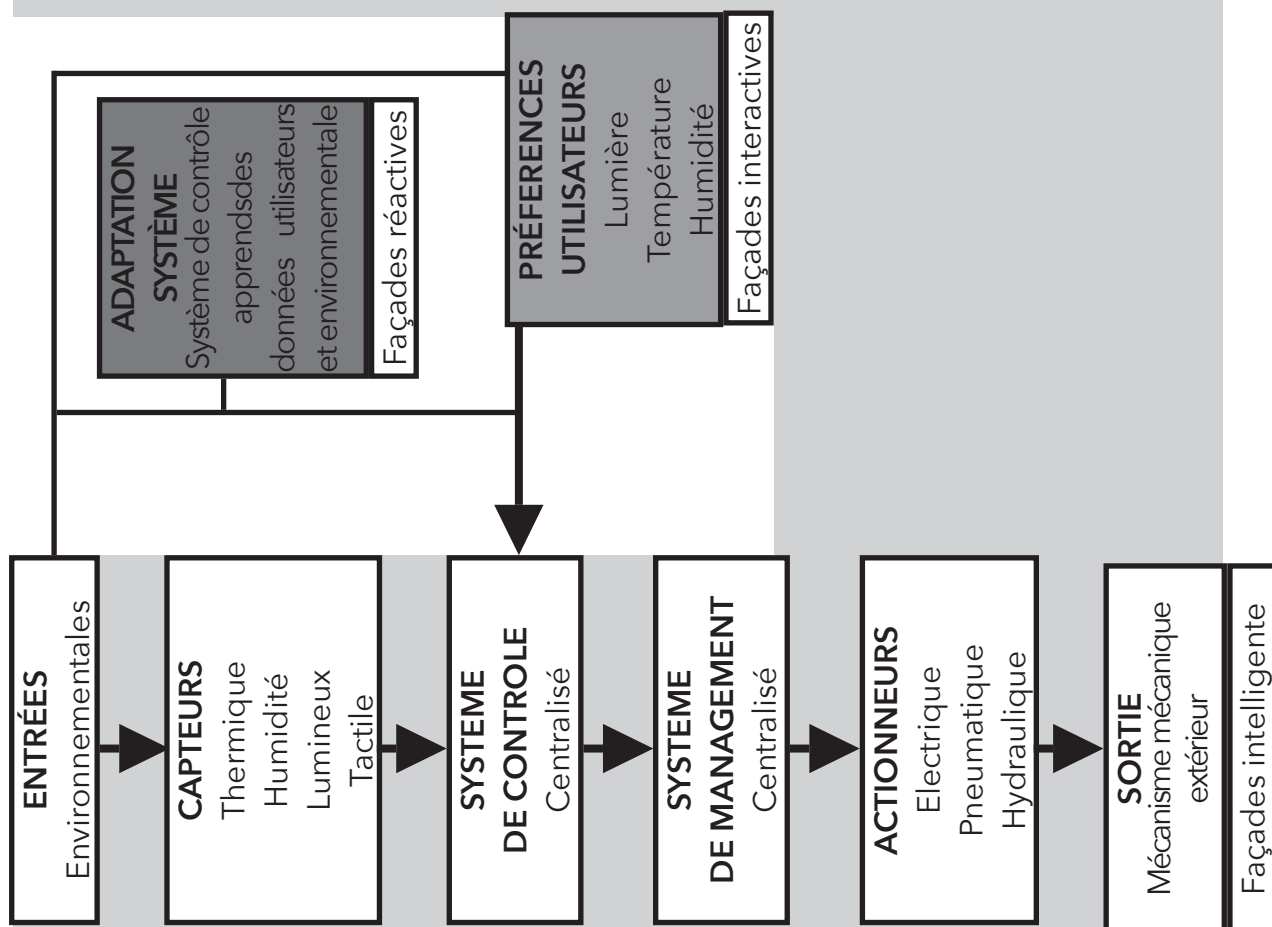


Schéma représentant le fonctionnement général d'une façade électro-mécanique

Ces dispositifs courants intègrent les façades des trois bâtiments équipés de la technologie électro-mécanique.

Cependant, en raison de la complexité de certains des mécanismes, ces dispositifs ne sont pas soumis de la même façon aux inconvénients de l'usure et de la défaillance des pièces. Pour préciser, ce sont des pièces qui sont conçues pour des dizaines d'années, donc, quand je parle de probabilité d'usure et de défaillance, c'est la probabilité que cela arrive tôt dans la durée de vie des pièces.

En effet, pour le Manitoba hydro-place, le mouvement est simple (ouverture linéaire des fenêtres automatiques pour faire entrer plus ou moins d'air selon les besoins en ventilation) et nécessite donc moins de pièces complexes pour faire le mouvement. Chaque unité est composé d'une épaisse plaque de verre. Moins de pièces pour le mouvement diminue les chances de défaillances et les préservent de l'usure.

Mais cette façade combine sa simplicité avec l'utilisation d'une double peau en verre et a obligé les concepteurs à soigner l'orientation et la volumétrie pour créer une circulation d'air et un réchauffement de l'air naturels, afin d'obtenir un certain degré de performance énergétique.

En ce qui concerne les tours Al-Bahars le mécanisme est plus complexe car une unité combine plusieurs mouvements pour plier plusieurs panneaux. Cependant, grâce au matériau pliant, la géométrie et le mécanisme inspirés de la nature ont permis d'être simplifier au maximum. Mais, comme dit ci-dessus, cela nécessite des pièces complexes en plus grand nombre que dans le Manitoba hydro-place pour faire le mouvement. Cela augmente les chances de défaillances d'autant plus qu'il faut compenser les pertes d'énergie entre chaque pièce en mouvement en augmentant l'énergie au départ et accentuant l'effort sur les pièces.

Enfin, pour le CJ Blossom Park, c'est celui qui a le mécanisme le plus complexe dû aux nombreuses pièces qui le composent et qui entrent en mouvement pour positionner les différentes plaques de métal perforées. À cause de cette complexité de mouvements et d'assemblages, due au nombre de pièces et à la quantité d'énergie qui augmente progressivement pour mettre en mouvement toutes les articulations et compenser les pertes, c'est le mécanisme qui est le plus exposé à la défaillance et à l'usure des pièces. Même si il reprend le mécanisme du parapluie, il n'est pas utilisé tous les jours et ne porte pas de charge lourde, juste une toile.

## **2/Technologie des matériaux :**

Ensuite vient la technologie liée aux matériaux intelligents. Cette technologie équipe un seul des exemples analysés plus haut : le Media-Tic à Barcelone.

Cette technologie a modifié la manière dont le système de contrôle des systèmes électro-mécaniques est mis en œuvre, puisqu'ils ne sont plus à l'extérieur de la façade ni centralisés. L'idée du système de contrôle utilisé dans ces façades est de contrôler des panneaux composés du dit matériaux en étant interconnectés à l'aide de micro-contrôleurs sans passer par un ordinateur central, selon Grobman et Yekutieli (2013).

Suite à une entrée venant des variations de l'environnement extérieur, les capteurs locaux (de chaque panneau) fournissent les données directement aux micro-contrôleurs, en vue du traitement et du codage des exécutions par des actionneurs qui modifient l'état du matériau, d'après Decker & Zarzycki (2013). Cependant un contrôle central est également possible du même type que pour les façade électro-mécanique.

Les changements que les matériaux actifs peuvent apporter sont généralement réversibles et répétables. Les matériaux doivent rester stables dans leurs différentes configurations et lors des changements selon López et al., (2015) et Velikov & Thun, (2013). Cette technologie inclue les catégories de façades actives suivante : intelligente, responsive, réactive et interactive.

Cette technologie est plus récente et moins connue, mais elle possède des avantages que la technologie électro-mécanique ne possède pas. Elle possède peu de composants électronique, ne possède pas de composants mécaniques lourds, un système plus simple, et une répétition du même panneau avec un type de matériaux. Elles est donc économes en énergies électriques car elle n'a pas besoin de mouvement mécanique, ainsi que peu soumis à l'usure car elle n'utilise pas de système mécanique et les matériaux sont adapter aux changement d'états, selon Decker & Zarzycki, 2013 et Grobman & Yekutieli, 2013.

Les inconvénients de cette technologie est que le réglage des propriétés et des variables du système est effectué dans une plage de conditions attendues car il faut garder une certaine contrôlabilité physique du matériau. En effet, les changements moléculaires dans les structures des matériaux peuvent être difficile à maîtriser et cela peut limiter les plages d'adaptation météorologique. De plus, la difficulté d'assemblage et de remplacement des pièces, due au fait que les actionneurs se trouvent dans le matériaux ou liés à eux, mais aussi les coûts élevés en maintenance et réparation, une dépendance aux puissances électriques et enfin une connaissance des matériaux smart est requise pour savoir comment les manier et les intégrer.

Pour le Media-Tic, le mouvement est simple (des coussins de EFTE se gonflent par injection d'air ou d'azote) et nécessite donc moins de pièces complexes pour faire le mouvement. Chaque unité est composé d'une pièce en EFTE avec capteur et micro-contrôleur. Moins de pièces pour le mouvement diminue les chances de défaillances et moins d'effort sur les pièces les préservent de l'usure, ainsi qu'une réponse beaucoup plus rapide et économe en matière et énergie électrique que les trois exemples électro-mécaniques.

Mais cette façade a besoin d'une plage de réglages météorologiques parfaite en fonction des conditions météorologiques globales mais les réglages pour l'adaptation peuvent être limités en fonction des limites de changement d'état du matériaux, des conditions météorologiques exceptionnelles, qui sortent des réglages, et du manque de contrôlabilité du matériau.



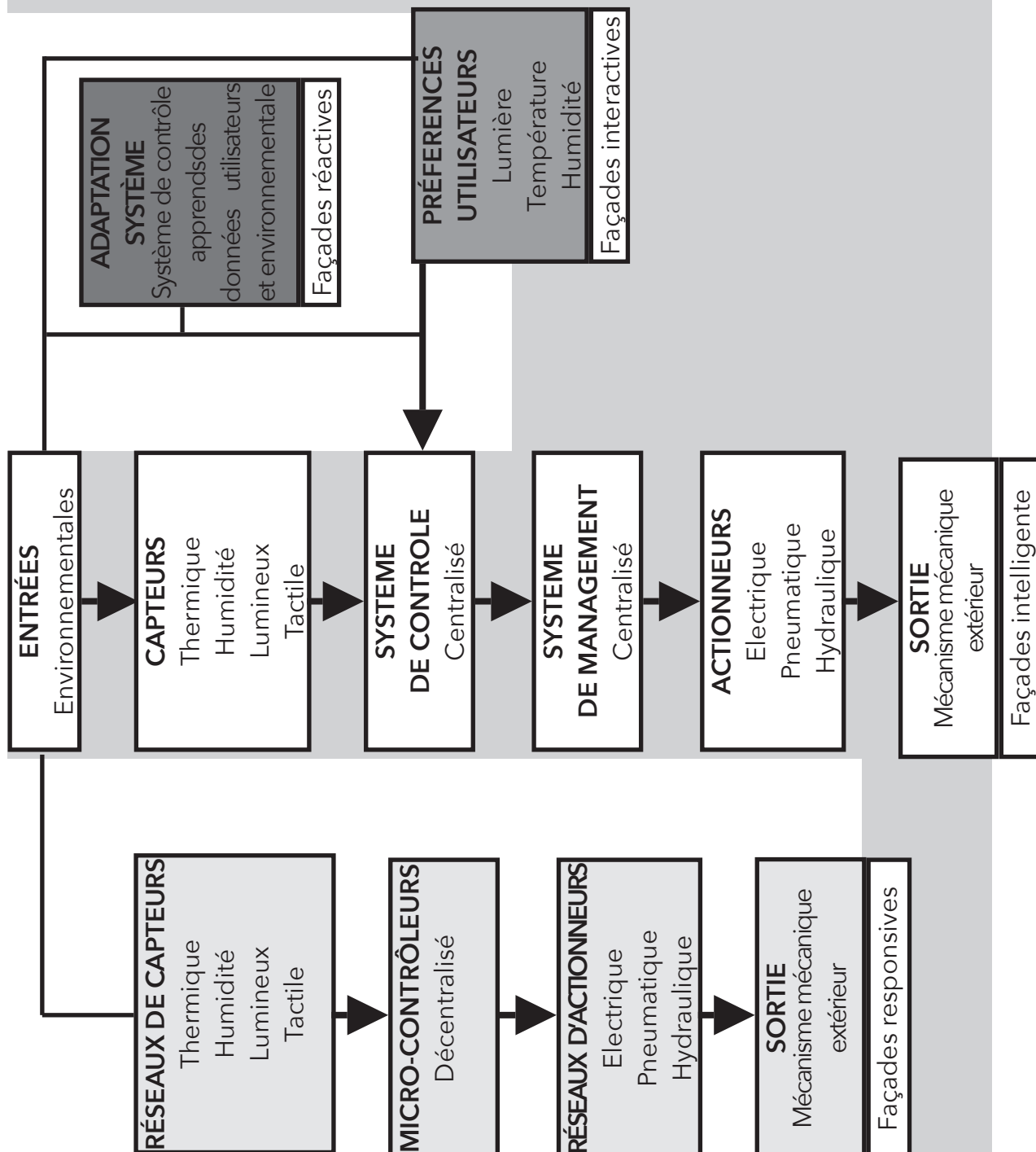


Schéma représentant le fonctionnement général d'une façade basée sur les matériaux

# B

## MOUVEMENTS

Le mouvement étant communs aux deux grandes catégories de façade adaptative (active et passive) je ferai de courtes parenthèses sur le mouvement des enveloppes passive.

Le mouvement est divisé en une catégorie pour le mouvement mécanique (technologies électro-mécanique et façade mécanique) et une catégorie pour la modification des propriétés du matériau ( technologies des matériaux).

La déformation mécanique peut être une translation, une rotation ou la combinaison d'une translation et de rotation. La translation et la rotation peuvent être subdivisées en mouvements «en plan» et «hors plan». En plan signifie que tous les points d'un solide se déplacent dans des plans parallèles entre eux. Et hors plan les points se déplacent dans des plans non parallèles entre eux.

La déformation basée sur le matériau est subdivisée en fonction du facteur responsable de la déformation, tel que la température, l'humidité ou un facteur externe.. Lorsque le mouvement est provoqué par une déformation de la matière, les composants jouent le rôle principal. Le premier sous-groupe est constitué des matériaux nécessitant une entrée externe directe pour permettre leur déformation. Cette force contrôlée artificiellement peut être causée par un courant électrique, un fluide en mouvement etc...(technologie des matériaux).

(Le deuxième sous-groupe de cette catégorie sont les matériaux auto-changeants. Ces matériaux sont capables de transformer l'énergie disponible dans l'environnement en un type de mouvement particulier (façade smart)).

Les mécanismes adaptatifs des façades adaptatives peuvent être divisés en deux sous catégories. Une classe entraîne des changements de propriétés au niveau macro et une classe au niveau micro. La plus grande partie des façades existantes appartient à la catégorie macro.

Le niveau macro est lié au mouvement mécanique. Les changements de macro-échelle ont un impact sur la configuration en déplaçant les pièces résultant du glissement, de l'expansion, du roulement, etc.. Ceci peut être réalisé en ajoutant des composants extérieurs à l'enveloppe du bâtiment, mais aussi sur la totalité façade ou encore sur le bâtiment dans son ensemble.

Le niveau micro fait référence à un mouvement contrôlé ou appliqué aux propriétés du matériau. Les changements à petite échelle sont liés aux changements de, à la transformation d'énergie ou aux changements de propriétés optiques opaques etc. En général, la réponse peut être de différents types: des signaux de commande externes... via le transport de fluides est également d'un flux d'air, etc.. (technologie des matériaux) (et en réponse à la température, à la lumière (façade smart)),

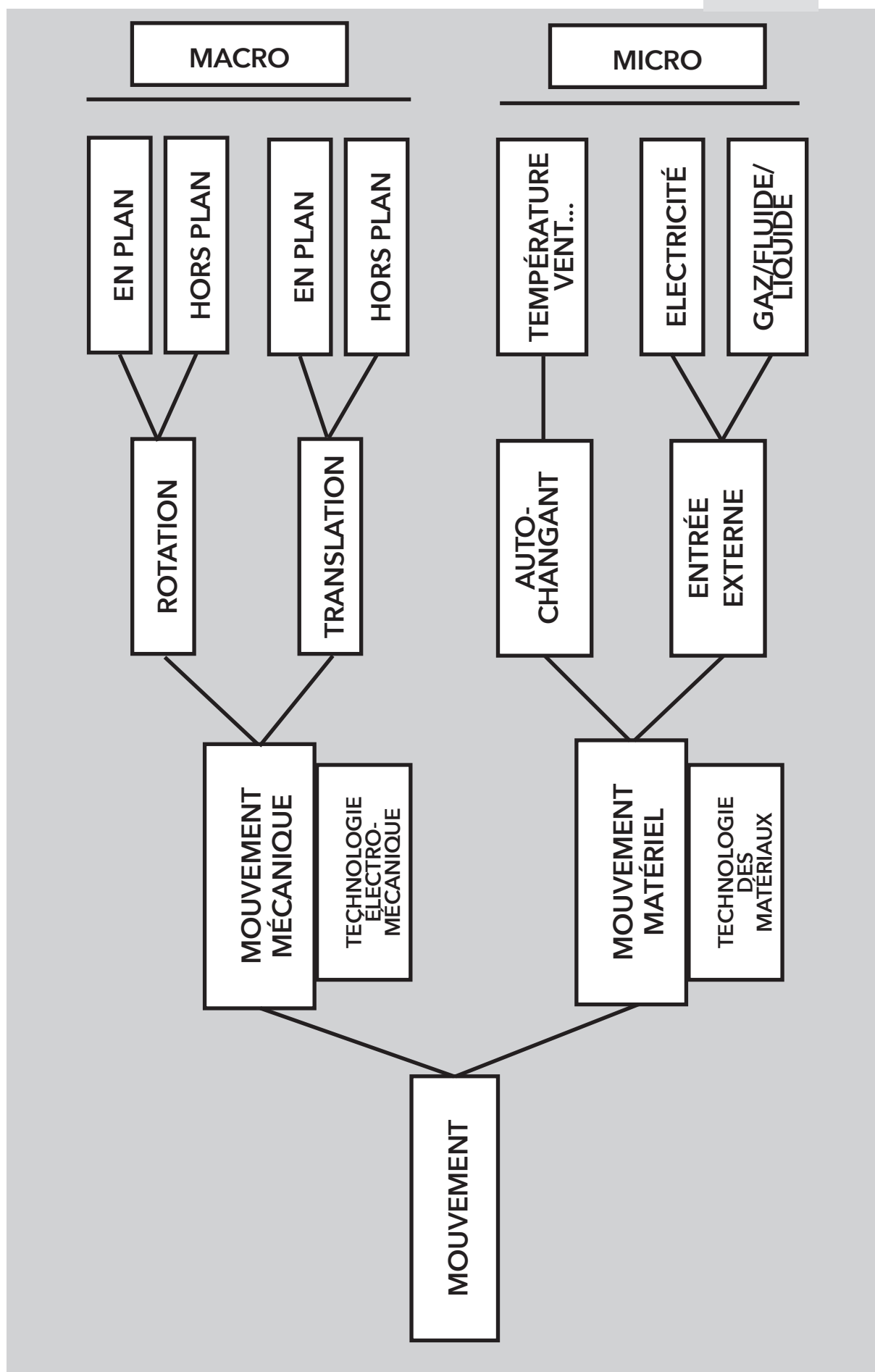


Schéma représentant les différents mouvements des façades passives et actives

# C

## CONTRÔLE

### 1/Central et Local

Un autre facteur important, est celui du contrôle. On distingue ici deux groupes importants: le contrôle local et central.

Le contrôle local implique que chaque actionneur soit autonome et lié à un système exclusif de contrôle du capteur. Chaque capteur à une unité de contrôle, ils ne sont pas tous reliés à un même système de contrôle.

Le contrôle local peut être intégré dans le matériau qui ensuite réagit aux conditions externes (contrôle local direct). C'est un type de contrôle intrinsèque. Cependant, un système de contrôle local est également possible lorsque le composant est contrôlé par un système externe (contrôle extrinsèque) un des composant local (un capteur, un microprocesseur et/ou un actionneur) est en dehors du matériaux. (technologie des matériaux).

Lorsque différents composants sont regroupés dans un système contrôlé centralement, ils n'appartiennent pas à la catégorie locale mais à la catégorie centrale. Dans les systèmes de commande centraux, les actionneurs ou groupe d'actionneurs sont liés à un seul système de commande. Cela implique toujours qu'un certain nombre de composants sont liés à un processeur central. En fonction de la complexité des processus, une sous-catégorie supplémentaire est possible. Si aucune entrée externe (capteurs) n'est nécessaire et que le système est une unité préprogrammée pure, un système direct est créé. Lorsque les capteurs peuvent influencer le comportement c'est un système réactif selon Velasco et al., 2015. (technologies électro-mécanique et des matériaux).

### 2/Intrinsèque et Extrinsèque

Le contrôle peut être fait de manière extrinsèque ou intrinsèque. Les systèmes de contrôle extrinsèques traduisent les réactions résultant de la comparaison entre la configuration actuelle et de l'état souhaité, en une adaptation requise du système adaptatif. Pour cela le réglage est basé sur des capteurs, des processeurs et des actionneurs qui se situent à l'extérieur de la façade.

Le contrôle peut être effectué en mettant en œuvre des systèmes locaux, qui répartissent le contrôle sur l'ensemble du bâtiment mais reste externe au système. Ou alors, un système centralisé peut être utilisé pour un contrôle plus global. (technologies électro-mécanique et des matériaux)

Les systèmes intrinsèques ne font pas appel à des composants décisionnels externes, mais reposent sur un contrôle direct en transformant les impacts environnementaux. Ces facteurs environnementaux, tels que la température, la vitesse du vent, le rayonnement solaire etc.. déclenchent l'adaptation automatique de la façade. Car les composants sont directement intégrés dans le matériau. Les capteurs, les actionneurs et les systèmes de contrôles sont tous fusionnés dans le corps de celui-ci. (technologie des matériaux)

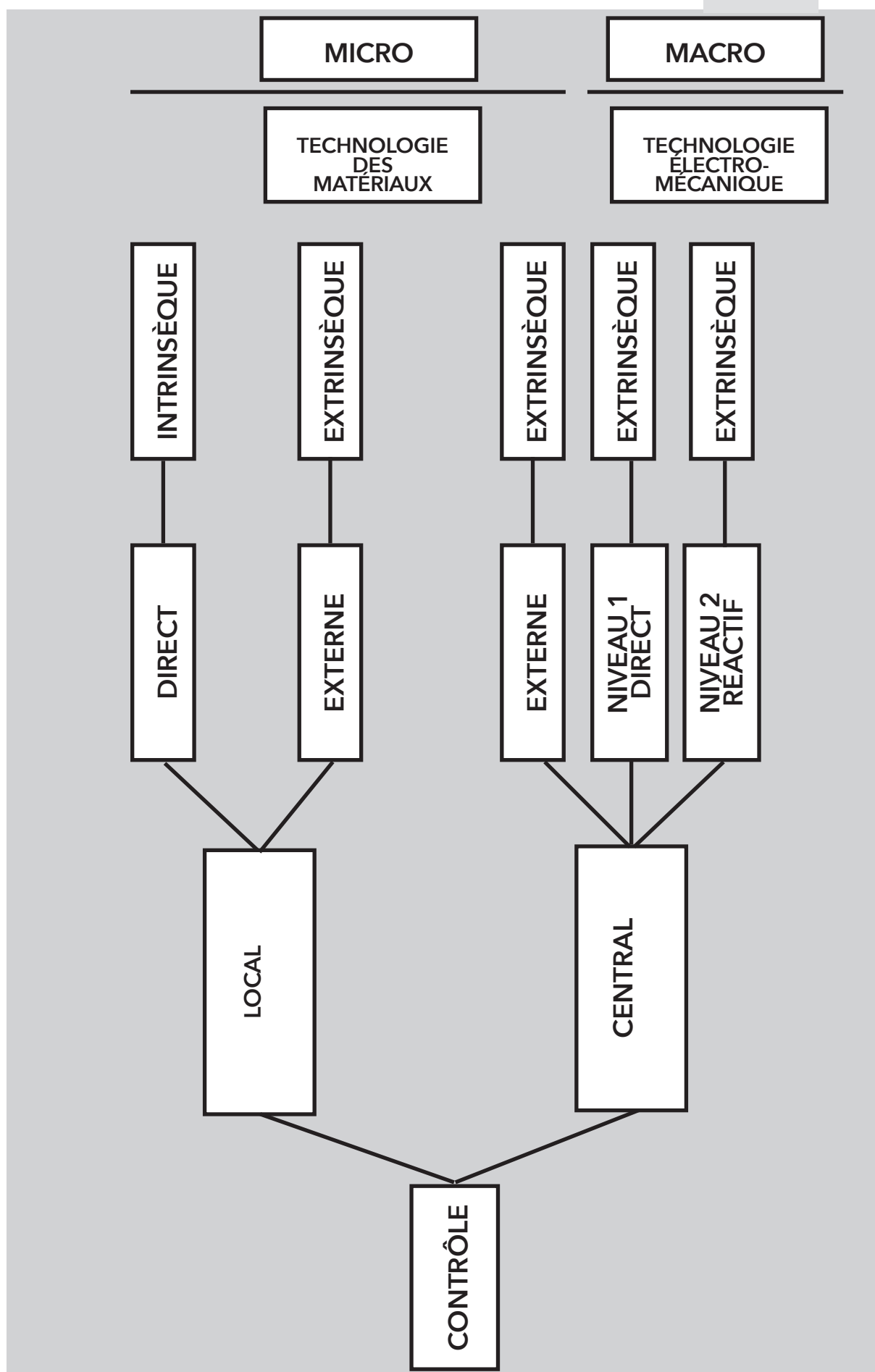


Schéma représentant les différents types de contrôles des façades actives.

Comme mentionné précédemment, la plupart des façades adaptatives appartiennent à la catégorie des échelles macro. Ces systèmes sont pilotés par des types de contrôle extrinsèques. Les façades adaptatives appartenant à la catégorie des micro-échelles sont combinées avec un type de contrôle intrinsèque ou extrinsèque, selon la situation. Pour fonctionner de manière vraiment efficace, les systèmes automatisés qui fournissent les conditions de vie d'une personne moyenne doivent être combinés avec des options permettant de répondre aux préférences personnelles. Cependant, il est difficile d'intégrer ces systèmes dans l'enveloppe du bâtiment. Pour faciliter le principe de fonctionnement, il est possible de limiter le taux de changement avec certaines limites.

### **3/Avantages et Inconvénients**

Le bâtiment Media-Tic, elle la première façade dotée d'un système de contrôle décentralisé (Khoo, 2013). Les avantages du contrôle décentralisé sont des réponses distinctes aux conditions environnementales locales, une substitution facile entre des panneaux multi-connectés, un calcul du temps efficace des données environnementales dans chaque panneau, des composants de façade à faible coût et une liberté fonctionnelle et de composition. De plus il utilise moins d'énergie électrique ainsi qu'une économie en terme de composants et de matériels.

Cependant, malgré ces avantages il possède des inconvénients. Tout d'abord comme il n'y a pas de commande centrale on ne peut intervenir sur l'ensemble du système directement pour y modifier les réglages en fonction des préférences des utilisateurs, qui subissent l'adaptation. De plus les micros-processeurs doivent-être réglés sur des plages très précises à cause du matériaux d'une part (voir technologie des matériaux) et d'autre part il ne peut ajuster ces plages en fonction des différences entre l'environnement intérieur et extérieur, ni en fonction de la météo car il ne sont pas relié à un système interne au bâtiment ni à une station météo.

Notre exemple ainsi que les trois autres possède un contrôle extrinsèque, car en dépit de l'incompatibilité des systèmes pour ces trois derniers, le Media-Tic lui ne possède pas de système intrinsèque car il y a un gros inconvénients.

L'inconvénient est que le réglage des propriétés et des variables du système sont effectués dans une plage de conditions et de contrôle encore plus limités. On indique juste aux matériaux quand se déformer en fonction de ce que reçoivent les capteurs internes. Donc si les variations vont plus loin que prévu, le système ne pourra pas s'adapter aux conditions inattendues.

Malgré le fait que les systèmes intrinsèques présentent des inconvénients par rapport aux systèmes extrinsèques. Ils n'ont pas besoin d'électricité ni de carburant pour rendre la transition possible. De plus, leur nombre de composants est limité.

Le Manitoba hydro place, les tours Al-Bahars et le CJ Blossom park utilisent un système de contrôle central extrinsèque. Le contrôle central est lié au contrôle extrinsèque car le système central et les capteurs, actionneurs etc.. sont situés à l'extérieur du système de façade.

Le contrôle central possède plusieurs avantages. Premièrement il permet de recevoir plusieurs types d'entrées tels que les conditions à l'extérieur au niveau de la façade, une station météo ou encore les conditions intérieures etc.. permettent de créer de grande plage de variations du système adaptatif en façade. De plus le système central permet aussi de gérer la distribution de l'énergie mais aussi de rajouter des entrées permettant aux utilisateurs de modifier l'adaptation du système selon leurs préférences.

Les tours Al-Bahars et le CJ Blossom park possèdent des stations météo et des systèmes de management pour l'énergie. Le Manitoba hydro quant à lui possède une entrée supplémentaire permettant aux utilisateurs de modifier l'ouverture des fenêtres automatique, la ventilation mais aussi des stores. Cela permet d'éviter que les occupants soient incommodés sans pouvoir interagir avec la façade et être contraint de subir les changements de la façade.

Enfin les inconvénients du système central sont la complexité du réseau électronique et de la programmation à faire pour gérer toutes les entrées des différents environnements. De plus cela impose un certain nombre de composants à mettre en place, tout cela rallonge le temps de réponse du système d'adaptation. Enfin tous ces composants augmentent la consommation énergétique par rapport aux systèmes locaux et ces systèmes dépendent d'ordinateurs, leurs opérations sont vulnérables aux défaillances informatiques et aux risques de cybersécurité (Decker & Zarzycki, 2013).



# D

## ACTIONNEURS

### 1/Types D'actionneurs

Un actionneur est une machine ou une partie de machine qui déplace ou contrôle une autre pièce en réponse à une entrée. Ils sont placés dans la partie opérative d'un système automatisé, ils permettent de convertir une énergie en mouvement mécanique ou en force. (déplacement, linéaire, gonflement, rotation etc..)

Ils existent trois principaux types d'actionneurs:

- Les actionneur hydraulique
- Les actionneur pneumatique
- Les actionneur électrique

Il est essentiel de commencer par identifier le type de base par lequel chaque type d'actionneur complète son travail.

Les actionneurs linéaires pneumatiques sont composés d'un simple piston à l'intérieur d'un cylindre creux. Une pompe manuelle ou un compresseur externe déplace le piston dans le logement du cylindre et, à mesure que cette pression augmente, le cylindre se déplace le long de l'axe du piston, ce qui crée alors la force linéaire nécessaire. Pour revenir à sa longueur rétractée d'origine, une force de rappel ou un fluide est appliqué sur le côté opposé du piston.

Les actionneurs linéaires hydrauliques sont assez similaires aux actionneurs pneumatiques, sauf que l'utilisation d'un liquide incompressible est fournie par une pompe, par opposition à l'air sous pression déplaçant le cylindre dans un mouvement linéaire. Cet actionneur hydraulique est composé de deux éléments de base: un dispositif de commande, tel que des étrangleurs variables (buses à vannes coulissantes ou des vannes à tiroir jumelées avec un intervalle axial initial) et un composant d'actionnement, tel qu'un piston ou un tiroir à vannes de contrôle.

Les actionneurs linéaires électriques prennent la force de rotation d'un moteur (énergie électrique) et la convertissent en mouvement linéaire (couple). En tournant la vis de l'actionneur via le moteur, l'écrou bougera de haut en bas, créant ainsi l'effet de poussée / traction de la charge.

Chacun de ces actionneurs linéaires est essentiel à leur application appropriée, mais comme mentionné précédemment, des avancées significatives dans le monde de la fabrication ont permis à ces dispositifs de mouvement d'être interchangeables. Cependant, chacun ayant ses avantages et ses inconvénients (tableau ci-contre), qui vont être déterminant dans le choix des actionneurs de la façade adaptative.

Type D'actionneur	Pneumatique	Hydraulique	Electrique
Complexité	composition et système simple	composition et système moyennement simple	système de contrôle et composant de mouvement ont des configurations complexes
Puissance -linéaire -rotative	grande -jusqu'à 48.000 N pression courante de 6 bar  -peut dépasser 150 Nm à la pression courante de 6 bars	très grande -très grande puissance, grâce à la pression élevée  -très grande puissance, grâce à la pression élevée	grande -en fonction de la multiplication mécanique  -en fonction de la taille du moteur, pas de conversion
Mouvement -linéaire -rotatif	-facile à obtenir avec les vérins; accélération et décélération élevées -facile selon le moteur jusqu'à 500000 tr/min	-facile à obtenir avec les vérins; bonnes possibilités de régulation dans la plage des basses vitesses -facile comme le pneumatique; très bonnes possibilités de régulation aux déplacements lents	-ne peut être obtenue qu'avec une démultiplication mécanique (transformation du mouvement de rotation en mouvement linéaire) -le meilleur rendement
Contrôle -force -vitesse	simple -simple, à l'aide d'un manodétendeur -simple à l'aide d'un limiteur de débit	simple -simple, à l'aide d'un manodétendeur -simple plusieurs possibilités de régulation	complexe -demande d'importants moyens -demande d'importants moyens
Précision et position	faible nécessite des composants supplémentaire	bonne mais nécessite des composants supplémentaire	grande
Vitesse	grande	modérer	modérer
Durée de vie	moyenne mais facile à remplacer	longue	longue
Environnement	Beaucoup de bruit	fuite et dépôt	peu d'inconvénient
Accessoires	énergie, compresseur, tuyaux	énergie, pompes, tuyaux	énergie
Fiabilité	Très fiable	bonne fiabilité	bonne fiabilité
Risque de fuite	moyenne pertes d'énergie, sans gravité	moyenne pertes d'énergie, a dû à la pression	aucune, dysfonctionnement électronique et usure dû au frottement
Entretien	beaucoup de maintenance	beaucoup de maintenance	peu de maintenance
Coût d'achat Coût d'exploitation Coût de maintenance	-peu coûteux -moyennement coûteux --peu coûteux	-très coûteux -très coûteux -très coûteux	-très coûteux -peu coûteux -peu coûteux

Tableau représentant les diverses données pour chaque types d'actionneurs

## 2/Avantages et inconvénients

Les actionneurs hydrauliques ont de nombreux avantages notamment celui d'être un bon transmetteur de puissance et de couple. C'est ce type d'actionneur qui fournit le plus de force notamment dû fait que l'énergie est transmise grâce à un fluide incompressible, sans engrenages ou levier encombrants, ils peuvent aussi facilement supporter de lourdes charges comme des charges légères et n'est pas contraint par le frottement des pièces. Le système de fluide fournit quelle que soit la vitesse une force constante. De plus les boutons poussoirs facilitent la mise en fonctionnement, ainsi que l'accélération et la décélération. Et permet d'avoir une bonne précision dans le mouvement. Enfin ils utilisent peu de pièces comparer aux actionneurs électriques ce qui facilite la maintenance, et les actionneurs hydrauliques ont une longue durée de vie.

Les actionneurs hydrauliques engendrent aussi des inconvénients car il y a toujours un risque de fuite car c'est toujours compliquer de manipuler et contenir des fluides et diminuer le rendement, mais aussi un risque d'accident matériel et humain lors d'une fuite à cause des liquides sous pressions (50 à 700 bars). De plus c'est une technologie coûteuse à l'achat, et à l'entretien car il faut des contrôles régulier pour éviter les fuites et les pannes. On rajouter le nombre de composants en plus à rajouter pour faire fonctionner les actionneurs hydrauliques.

Les tours Al-Bahars dispose de ces actionneurs pour pouvoir produire un effort puissant pour déplacer plusieurs panneaux pliants de façon linéaire, précise sans perte d'énergie. Car ces panneaux effectuent beaucoup de mouvement puisqu'ils s'adaptent à la course du Soleil. Ils sont adaptés pour cette tâche, malgré leurs coûts d'achat et d'entretien élevés ainsi que des risques de fuites très présentes.

Les actionneurs pneumatiques sont les deuxièmes type d'actionneurs les plus puissants derrière les actionneurs hydrauliques grâce à la compression de l'air. Cependant ce n'est pas leurs seuls avantages, la compression de l'air permet une vitesse élevée pour le démarrage et l'arrêt du mouvement, ils possèdent la vitesse la plus rapide des trois type d'actionneurs. De plus on peut contrôler vitesse et la puissances séparément grâce à des soupapes de suppression. Enfin ces actionneurs ont un faible coût à l'achat et à l'entretien ainsi qu'un faible encombrement. En effet ils sont compacts, légers et possèdent peu de pièces. Cela résulte des options de contrôles restreintes que les actionneurs pneumatiques fournissent directement.

Les défauts de ces actionneurs sont le contrôle difficile de l'air comprimé ce qui rend les réglages de mouvements peu précis. Il faut aussi rajouter des équipements supplémentaire. De plus à l'origine les actionneurs pneumatiques ont besoin de pièces supplémentaires pour fonctionner (comme les actionneurs hydrauliques), tels qu'un réservoir un compresseur doit fonctionner en permanence, etc...

Enfin ce type d'actionneur est soumis aux fuites d'air, aux contaminations avec de l'eau extérieur, qui peuvent faire geler l'actionneur et déclencher une baisse d'énergie ou de régime.

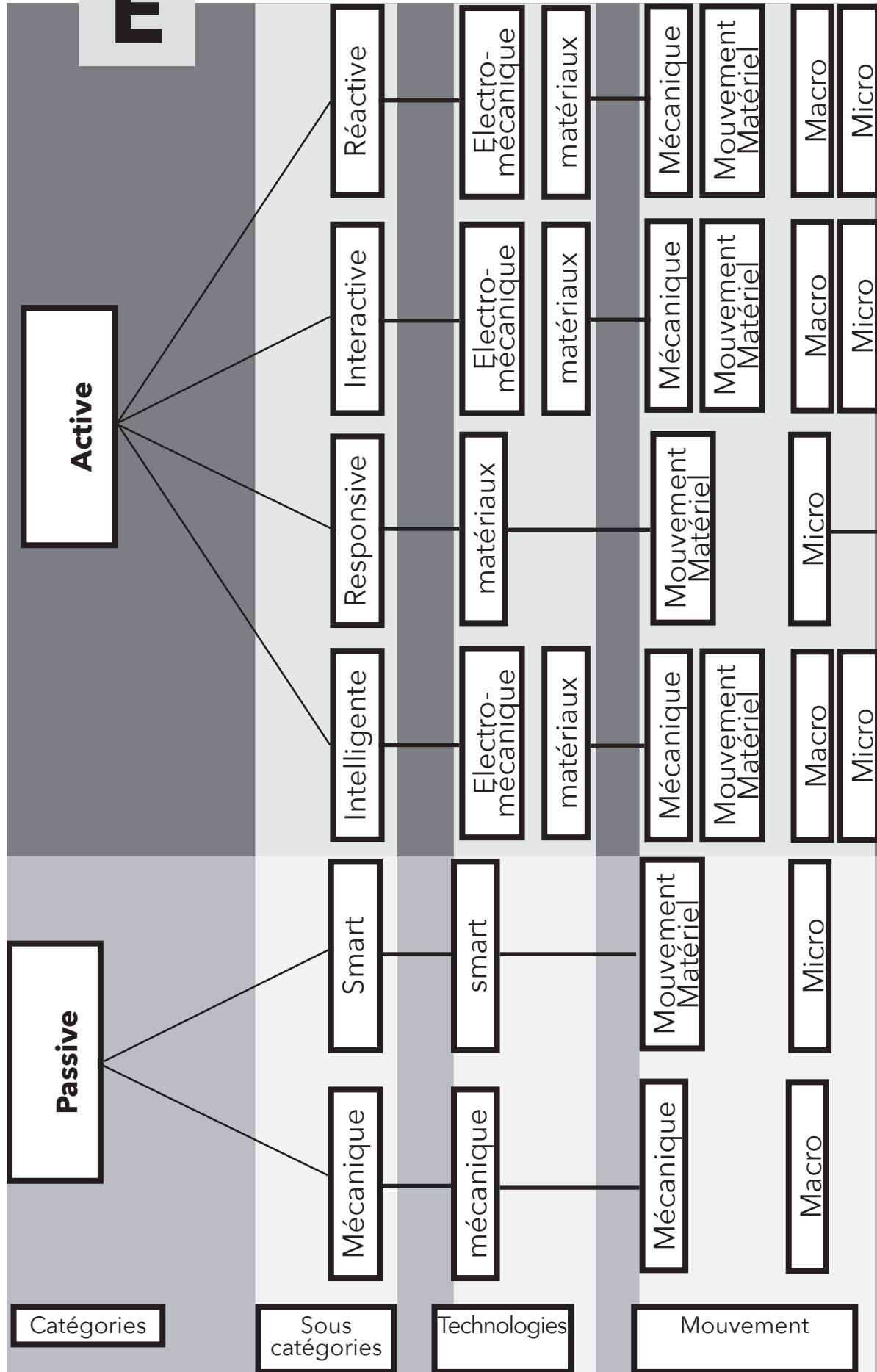
Le Média-Tic est équipé de ces actionneurs car le mouvement est de gonfler un coussin en EFTE avec de l'air ou de l'azote gazeux. Les actionneurs pneumatiques injectent où aspirent directement l'air ou l'azote qu'ils possèdent dans leurs réservoirs. De plus ils prennent peu de place dans le matériaux ce qui est adapté à cette façade malgré les risques de fuites et moins d'options de contrôle.

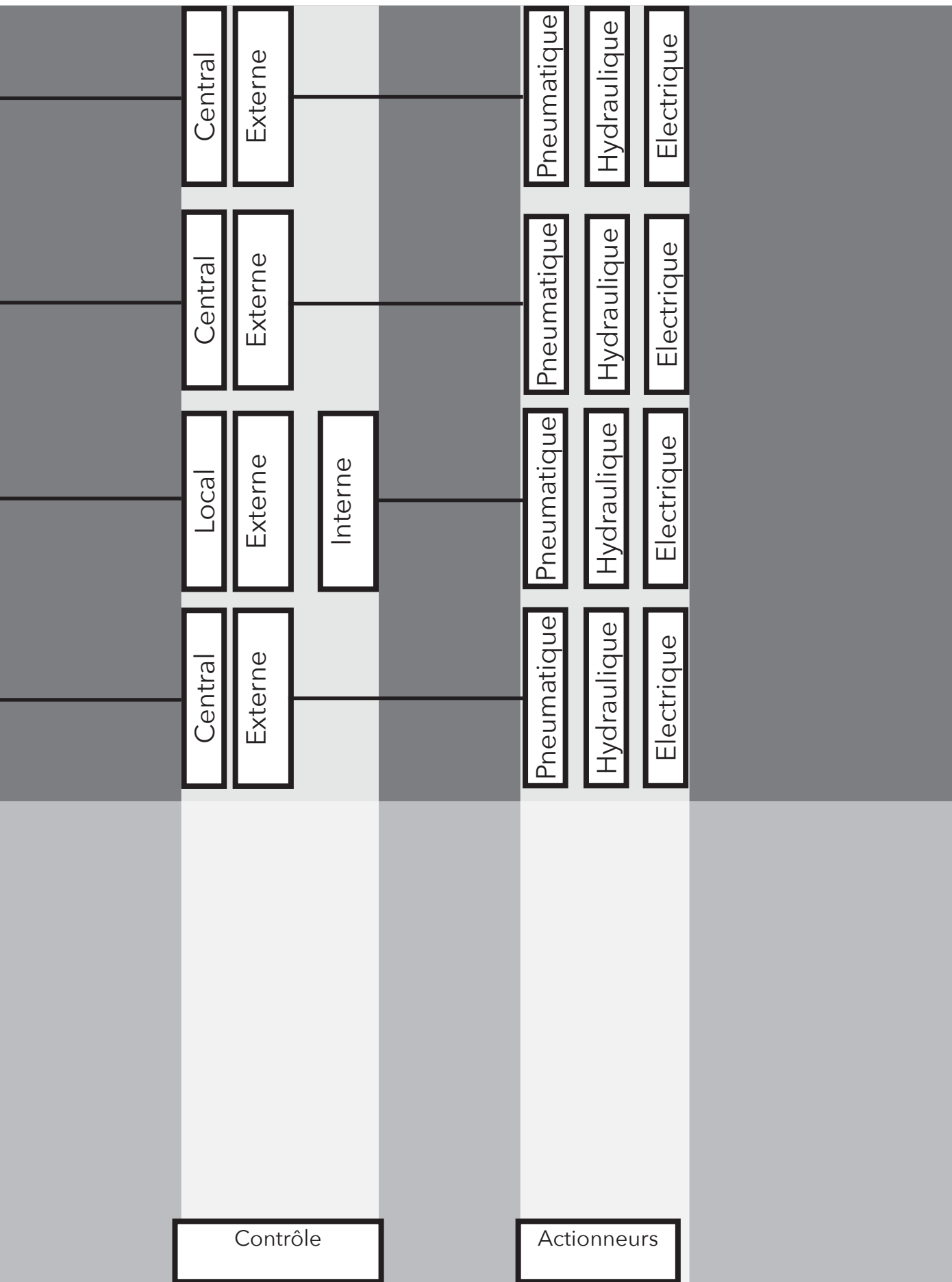
Enfin vient le dernier type d'actionneur, les actionneurs électriques. Les avantages de ces derniers est l'excellent rendement dans les mécanismes qui nécessite de faire des mouvements rotatifs en effet il possède le meilleur rendement des trois types d'actionneurs sur ce type de mouvement. Et pour faire un mouvement linéaire il est préférable de transformer le mouvement de rotation en mouvement linéaire pour un meilleur rendement. De plus ils possèdent une très bonne contrôlabilité car tout fonctionne avec une alimentation électrique, (on passe pas par un composants intermédiaire, ex: l'huile). Les pièces mécaniques à l'intérieur ont besoin de peu de maintenance car il n'y a pas de risque de fuite et elles sont fiables ce qui permet d'éviter les contrôles réguliers ainsi qu'un coût d'entretien peu élevé. Enfin ils produisent moins de bruits que les deux autres types et ont une très longue durée de vie comme les actionneurs hydraulique.

Comme pour les deux autres types d'actionneurs, des inconvénients viennent accompagner les actionneurs électriques. Tout d'abords ils ont un système de contrôle et mécanique complexes. De plus cette multitude de pièces ont un risque d'avoir des problèmes de jeu et/ou une usure dû aux frottements entre elles. Cela affecte les performances du système ainsi que des problèmes pour verrouiller une position. Un bas rendement dans la transformation d'énergie en mouvement linéaire. Enfin ils sont très coûteux à l'achat et moins rapides que les deux autres types d'actionneurs dû à la complexités du système.

Ces actionneurs composent la façade du Manytoba Hhyfro place et celle du CJ Blossom park. Le mouvement dans ces deux façades est organiser autour d'une ou plusieurs rotations. De plus ils sont composer de plusieurs pièces et les actionneurs électrique sont parfait pour les contrôler et faire les mouvements de rotations malgré les risques d'usure et le coût élevé de ces derniers.

# CLASSIFICATION SYNTHÉTIQUE







## CRÉATION DE L'OUTIL

# 5

Cette création d'outils va se décomposer comme suit: une première partie qui consiste à créer une liste des paramètres dont j'ai besoin pour la méthodologie d'aide à la décision dans la conception des façades adaptatives qui ont été étudiées tout au long de ce mémoire. Ensuite vient la présentation et le fonctionnement de la méthodologie d'aide à la décision. Enfin je détaillerai chaque sous partie du processus décisionnel.

# A

## PARAMÈTRES GÉNÉRAUX

A travers le développement de ce mémoire et des problèmes mis en évidence sur le thème de l'outil d'aide à la décision pour la conception des façades adaptatives qui permettrait d'améliorer le confort de l'occupant en économisant de l'énergie, des paramètres non exhaustifs se sont dessinés.

### Limites

On commence donc par définir le périmètre d'application de cet outil. En effet pour répondre à l'absence d'une classification claire des types de façades adaptatives, la méthodologie proposée vise à aider dans le choix des systèmes qui composent ces dernières pour faciliter la conception d'une de ces façades. À travers une classification claire et ordonnée des systèmes de façades adaptatives.

Cet outils s'adresse aux architectes pour qu'il puisse faire des choix objectifs sans être entravés par les différentes technologies qui peuvent être appliquées à l'architecture mais qui viennent d'autre domaines dont ils n'ont pas les connaissances ainsi qu'un langage scientifique parfois technique et complexe.

Enfin en regardant le processus global de conception d'un projet en architecture, la méthodologie à développer doit se positionner lors de la phase d'esquisse voir de l'avant projet sommaire, donc dès les premier coups de crayon ou alors lorsque qu'on commence à rentrer dans la description précise des différentes options du projet mais déjà avec l'idée d'une adaptation retenue en phase d'esquisse.

### Points essentiels à traiter

En conséquence du but général la méthodologie doit développer un minimum les points suivants:

- Intégrer les enjeux/notions climatiques, de confort et d'environnement dans la méthodologie pour les rendre compatibles avec les scénarios créer pour chaque enveloppe à travers une série critique des différents systèmes.
- Proposer une structuration des catégories de façades adaptatives et une clarification des connaissances qui leurs sont liées, et qui ont été cumulées tout au long de ce mémoire à travers les différentes sources tels que les ouvrages les bases de données, les exemples existants etc...
- Ce modèle à travers les analyses de cas existants et des recherches complémentaires sur les différents systèmes qui peuvent composer une façade adaptative, doit aussi servir de support d'évaluation avec plusieurs critères dans le choix des différents composants pour obtenir un choix objectifs dans ce que l'on recherche, ainsi que de supports pour la recherche de solution pour l'assemblage et la conception de façades adaptatives.

## Entrées préalables

Dans chaque projet architectural visant la conception d'une enveloppe adaptative, des informations spécifiques à chaque projet doivent être renseigné avant que l'utilisateur ne puisse se servir de la méthodologie développée dans la partie suivante. Afin de développer et proposer des stratégies de conception compatible et cohérente, le futur modèle devra renseigner les informations suivantes :

- Une partie de recherche sur les différentes conditions climatique tout au long de l'année doit être faite pour savoir à quel type de conditions la façade doit s'adapter ceci est l'étape de base dans la conception d'une façade adaptative.
- La deuxième partie à renseigner avant toute utilisation de l'outil est la recherche et l'étude des façons de vivre des habitants avec leur climat mais aussi savoir en fonction du type de projet ce dont on a besoin comme conditions à l'intérieur de ce dernier en fonction du climat de la région car ces paramètres vont influencer les mécanismes et les réglages de celui-ci pour l'adaptation.
- Une dernière entrée préalable, est la recherche d'inspiration pour un mécanisme adaptable selon le facteur climatique.

## Résultats attendus

La méthodologie doit permettre à l'utilisateur de traiter une conception de façade adaptative pendant une phase d'esquisse, rentrant dans le périmètre défini auparavant. Pour fournir en fonction des données présentées une interface qui permette de créer différents scénarios possibles et guider les choix de l'utilisateur à travers les différents choix possibles et en fonction de ce qu'il recherche.



# B

## MÉTHODOLOGIE

### Présentation générale de la méthodologie

Je vais donc présenter de manière globale comment fonctionne la méthodologie qui doit répondre aux paramètres définis dans la sous-partie précédente. Ensuite vient la description des quatre étapes de fonctionnement ainsi que les entrées et sorties qui se caractérisent par les différentes variantes qui les composent avec une proposition de schéma guide. Enfin vient la description des éventuelles sous-parties liées à la description des étapes principales

Et pour terminer le fonctionnement détaillé de ces dernières, le détails des entrées avec comme paramètres leurs fonctionnalités, avantages et inconvénients qui permettront de faire des choix si le temps me le permet.

### Fonctionnement générale

La méthodologie peut être vue comme une organisation de trois étapes successives permettant chacune leur tour de définir les enjeux de sa façade, les paramètres globaux en fonction de ce qu'on veut qu'elles accomplissent (1), de pouvoir choisir le type de technologie embarquée dans la façade permettant de définir le type de mécanisme (2), enfin de pouvoir choisir le type de contrôle et les actionneurs (3). Le tout lisible sur un schéma fil conducteur pour faire la méthode pas à pas.

Le processus d'aide à la décision en trois étapes sera détaillé avec les sous étapes ci-dessous:

**1)** Après avoir recherché les deux entrées préalables à l'utilisation de la méthodologie, l'architecte peut commencer par l'étape une : le choix de la catégorie de façade adaptative qui est décomposé en deux sous étapes. La première a deux entrées, une pour les façades contrôlées électroniquement et l'autre pour celles qui n'ont pas besoin d'électronique. La deuxième sous étape permet de choisir une sous-catégorie de façades adaptatives, car chaque catégorie a différentes déclinaisons qui permettent des fonctions différentes dans l'adaptation. Il y a 5 entrées pour la catégorie active et deux pour la catégorie passive.

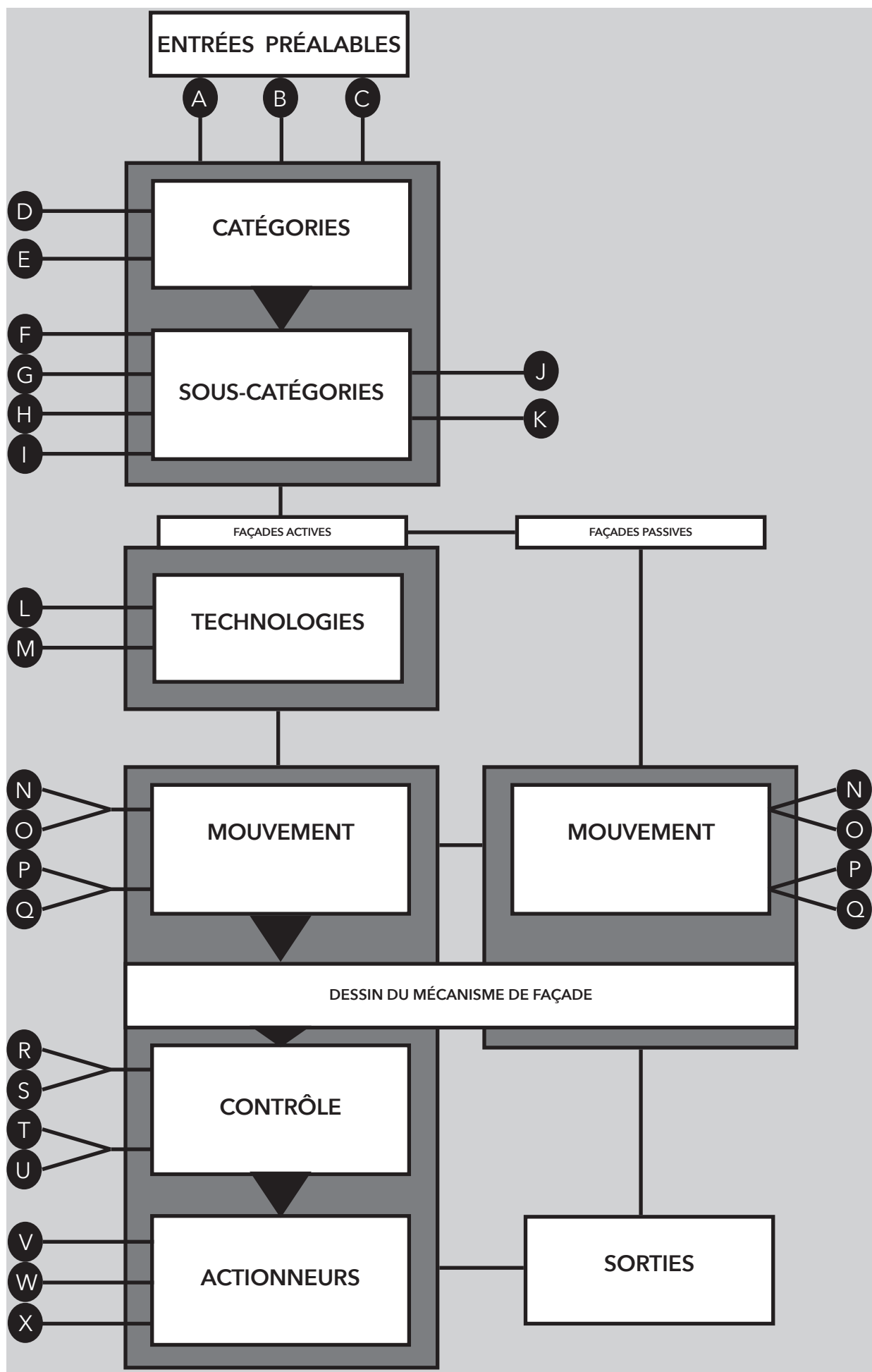
**2)** Ensuite après avoir choisit son type de façade adaptative avec les fonctionnalités qui lui convienne l'architecte se retrouve à l'étape 2. Celle-ci est composée d'aucune sous-étape mais possède deux entrées. Elle permet de choisir une des technologies embarquée dans la façade et surtout quel type de systèmes est mis en place sur la façade pour l'adaptation. Elle est composé de quatre entrées, une pour la technologie électro-mécanique, des matériaux, smart et une pour la technologie mécanique.

3) Enfin vient la dernière étape, l'architecte se rend à cette étape si et seulement si il a choisi une des technologies de façades adaptatives actives car pour les catégories passives, aucun éléments ne peut être sélectionné. Cette étape permet de comprendre à travers les trois sous étapes, les mouvements de façade qui peuvent être dessinée et créée, le système de contrôle et les actionneurs à choisir.

La première sous étape possède 4 entrées et décompose le mouvement en catégorie, mécanique, matériel, macro et micro. Ensuite le type de mouvement influe sur le système de contrôle. Cette sous étape possède aussi 4 entrées, local/central, intrinsèque/extrinsèque. Pour terminer la dernière sous étape influencée par le type de mouvement sont le choix des actionneurs. Il y a donc trois entrées, une pour chaque type d'actionneurs : pneumatique, hydraulique et électrique.

Pour conclure normalement après cela il ne manque plus qu'à savoir comment l'intégrer au bâtiment, comment faire tenir le mécanisme en façade et enfin comment paramétrer les parties électroniques.







# CONCLUSION

6

Avant de conclure mon travail, je voulais exprimer un regret pour ne pas avoir eu le temps de détailler les étapes de l'outil d'aide à la décision. La création de ce dernier est un essai et pas forcément une priorité dans le sujet de ce mémoire, c'est un complément sur la classification des façades adaptatives.

La recherche avait pour objectif la mise en place d'un outils d'aide à la décision dans la conception des façades adaptatives ainsi qu'une clarification des catégories de façades adaptatives. Pour la clarifications des catégories je me suis servi de diverses théories mais aussi d'analyses de diverses façades adaptatives faites à travers le monde. Des critères et des détails de systèmes en sont ressortis pour compléter l'outil.

J'ai pu montrer que peu importe le type de façades adaptatives actives, les économies sont importantes au niveaux énergétique mais sont à peu près équivalentes entre chaque type de façades adaptatives actives, à travers la comparaison des cas d'études. La façade adaptative est donc une approche viable pour répondre au développement durable mais aussi que les différences entre les façades adaptatives ne s'arrêtaient pas aux fonctionnalités globales, définies par les catégories dans la littérature permettant une classification claire et complète. En effet les cas d'études ont permis de montrer le détail des composants, leurs influences sur les uns et les autres et de déterminer un ordre dans le choix des composants. Enfin cela a permis de réorienter mes recherches sur les différents composants et montrer leurs fonctionnements, avantages et inconvénients pour permettre un choix dans les différentes étapes de l'outil.

Mais la réalisation d'un outils permettant l'aide à la décision dans la conception des façades adaptatives n'est pas chose facile.

Premièrement les critères permettant de compléter l'outil défini par la ou les personnes est soumis à un avis subjectif. En effet les noms sont communs au langage des façades adaptatives, leurs quantifications et leurs définitions sont variables d'une personne à une autre. Il est difficile d'avoir un référentiel commun à tous le monde. De plus d'autres critères importants tels que, l'esthétique, l'intégration dans le paysages et la ville ont été soulevés pendant la réflexion de ce mémoire, mais le fait est que ces thématiques sont personnelles et interagissent dans une vision globale du projet et sont donc difficiles à placer dans un outils d'aide à la décision.

Cependant la recherche effectuée montre certaines limites. En effet les cas d'études ne représentent qu'une petite partie des enveloppes adaptatives construites malgré leurs différences. En effet les bâtiments choisis font parti de la catégorie tertiaire, montrant des bureaux, laboratoires... alors qu'il y a une diversité des besoins dans les fonctions du bâti, et de ce fait l'étude mériterait d'être complétée par des fonctions plus diversifiées encore. L'autre faiblesse des cas d'études est le faible nombre de projets.

On peut rajouter le fait qu'il est préférable de réaliser l'étude des exemples par soi-même car la localisation à l'étranger empêche toute mesure in-situ. Elle permettrait de garantir la fiabilité des chiffres et autres détails affirmés dans les documents décrivant les exemples.

On peut rajouter que de futurs travaux peuvent être menés après la réalisation de ce mémoire. Ces derniers pourront répondre aux limites énoncées aux dessus. J'entends par là des études de cas plus variées incluant un grand nombre de fonctions différentes et non uniquement du tertiaire.

Enfin après tout cela, il serait important de tester l'outil une fois complété auprès des personnes concernées, (architectes, élèves..). Cela permettrait de trouver les défauts dans son utilisation ou confirmer les critères utilisés dans le cas où les test seraient concluants. Dans le cas contraire un grand nombre d'ajustements seraient à faire.





# BIBLIOGRAPHIE

# 7

- Atkin, B.** Intelligent Buildings, Worcester: Billings & Sons, 1988, page 1.
- Addington, M. and Schodek, D.,** Smart Materials and Technologies for the Architecture and Design Professions, Oxford: Elsevier Architectural Press, 2007, page 12.
- Brown, Z.,** "Reconciling human and automated intelligence in the provision of occupant comfort", Intelligent buildings international 1, 2009, pages 39-55.
- Cambridge:** Riverside Architectural Press, 2006, p. 3.
- Compagno, A.,** Intelligent Glass Facades: Materials, Practice, Design, edition: Birkhauser, 2002.
- De Beesley, P, Hirose, S, and Ruxton, J,** Responsive Architectures. Subtle Technologies 2006.
- Boer, B., Bakker, L., Van Oeffelen, L., Loonen, R., Cóstola, D., & Hensen, J.,** Future Climate Adaptive Building Shells: Optimizing Energy and Comfort by Inverse Modelling. 8th Energy Forum on Solar Building Skins, 2012, pages 15-19.
- Decker, M.,** Emergent Futures: Nanotechnology and Emergent Materials in Architecture. Presented at the Conference of Tectonics of Teaching: Building Technology Educators, 2013.
- Decker, M., & Zarzycki, A.,** Designing Resilient Building with Emergent Materials. eCAADe, conference, 2013, pages 179-184.
- Dewidar, K., Mahmoud, A. H., Magdy, N., & Ahmed, S.,** The role of intelligent facades in energy conservation. Presented at the International Conference on Sustainability and the Future: Future Intermediate Sustainable Cities, Egypt, 2013.
- Dubberly, H., Haque, U., and Pangaro, P.,** "What is interaction? Are there different types?", Interactions, Volume 16 Issue 1, January/February, 2009.
- Haque, U.,** "Distinguishing Concepts. Lexicons of Interactive Art and Architecture", 4dsocial: Interactive Design Environments, Architectural Design, Volume 77, no 4, 2007, pages 26-27.
- Hoberman, C., & Schwitter, C.,** Adaptive Structures: Building for Performance and Sustainability. Design Intelligence, 2008.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T.,** Façades: Principles of Construction. Basel: Birkhäuser, 2007.
- Kirkegaard, P. H.,** Development and Evaluation of a Responsive Building Envelope. In International Adaptive Architecture Conference. London, 2011.
- Lechner, N.,** Heating, Cooling, Lighting: sustainable design methods for architects, édition John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- Loonen, R.,** Climate Adaptive Building Shells. What can we simulate? Technische Universiteit Eindhoven, Faculty of Architecture, Building & Planning, 2010.
- Loonen, R.; Trčka, M.; Cóstola, D. & Hensen, J. L. M.** Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013.

**Moloney, J.**, Designing Kinetics for Architectural Facades: State Change.  
Ed: Routledge, 2012.

**Perino, M., & Serra, V.**, Switching from static to adaptable and dynamic building envelopes: A paradigm shift for the energy efficiency in buildings. Journal of Facade Design and Engineering, 2015, pages 143-163.

**Velikov, K., & Thun, G.**, Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms. Design and Construction of High Performance Homes, 2013. pages 75-92.

## Sitographie

<http://www.arup.com> (Accessed on 10/10/2015)

<http://skyscrapercentre.com/abu-dhabi/al-bahar-tower-2/9130/>

<http://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-façade-aedas>

[https://www.researchgate.net/publication/283683836\\_Innovations\\_in\\_dynamic\\_architecture](https://www.researchgate.net/publication/283683836_Innovations_in_dynamic_architecture)

<http://www.evolo.us/cj-research-centers-kinetic-folding-facade-yazdani-studio/>

<https://yazdanistudioresearch.wordpress.com/2011/11/15/cj-rd-center-kinetic-facade/>

<https://www.glassonweb.com/article/evaluation-adaptive-facades-case-study-al-bahr-towers-uae>

<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/214574/214574.pdf>

<http://www.22barcelona.com/documentacio/pdfangles.pdf>

<https://www.archdaily.com/44596/manitoba-hydro-kpmb-architects>

<http://www.aiatopten.org/node/110>

<https://www.zdnet.com/article/is-this-the-most-energy-efficient-office-building/>

<https://researchbank.rmit.edu.au/view/rmit:160591>