



CHU Bordeaux – Pellegrin
Passerelle Tripode/Pédiatrie

PLACE AMELIE RABA-LEON

33 000 BORDEAUX

SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE
CONFORT ESTIVALE

MAITRISE D'OUVRAGE :



CHU BORDEAUX
12 rue Dubernat
33 400 TALENCE

Gabriel DURAND

Econome de Flux

06 16 71 88 41

gabriel.durand@chu-bordeaux.fr

ASSISTANT MOA :



ALTEREA AGENCE BORDEAUX

2 Rue du Jardin de l'Ars

33000 BORDEAUX

T 05 54 52 92 23

Christelle BIENNARD

Chef de projet

07 57 09 13 08

cbiennard@alterea.fr

ALTEREA certifié par l'OPQIBI

Certificat de qualification N° 13 06 25 86

SUIVI DU DOCUMENT :

| Indice | Date | Modifications | Rédaction | Vérification | Validation |
|--------|------------|---------------------------------|-----------|--------------|------------|
| 1 | 24/04/2023 | Version initiale | TMAR | CBIE | CBIE |
| 2 | 04/07/2023 | Modifications suite restitution | TMAR | CBIE | CBIE |
| | | | | | |

Agence Ouest (siège)
26 bd Vincent Gâche
CS 17502
44275 Nantes Cedex 2
T 02 40 74 24 81

Agence Sud-Est
Immeuble Le Constellation
19 rue de la Villette
69003 Lyon
T 04 87 91 2615

Agence de Paris - IdF
23 avenue d'Italie
75013 Paris
T 01 46 28 31 89

Agence Est
3 quai Kléber
67000 Strasbourg
T 03 69 24 37 99

Agence Nord
8 rue Anatole France
59800 Lille
T 03 69 24 12 43

Agence Sud
Newton Joliette
113 rue de la République – CS 10491
13235 Marseille 02
T 04 13 35 01 67

Agence Sud-Ouest
Immeuble Perspective
2 rue du Jardin de l'Ars
33800 Bordeaux
T 05 54 52 92 23

Agence Occitanie
10 Pl. Alfonse Jourdain
31000 Toulouse
T 05 54 52 92 23

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUCTION | 5 |
| 1.1 CONTEXTE DE LA MISSION | 5 |
| 1.2 OUTIL DE SIMULATION | 5 |
| 1.3 HYPOTHESES DE CALCUL | 5 |
| 1.4 LISTE DES DOCUMENTS TRANSMIS PAR LA MOA | 6 |
| 1.5 ESTIMATIONS DES QUANTITES POUR LES DIFFERENTES PRESCRIPTIONS | 6 |
| 2 DESCRIPTION DU SITE | 7 |
| 2.1 INFORMATIONS GENERALES | 7 |
| 2.1.1 Périmètre du diagnostic | 7 |
| 2.1.2 Visite | 7 |
| 2.2 VUE AERIENNE DU SITE | 8 |
| 2.3 DONNEES D'USAGE DU SITE | 9 |
| 2.4 ANALYSE DU CONFORT DES USAGERS | 9 |
| 2.5 DONNEES METEOROLOGIQUES | 10 |
| 3 MODELISATION DU BATIMENT ET DES USAGES | 11 |
| 3.1 REPRESENTATION 3D | 11 |
| 3.2 ZONAGE THERMIQUE | 12 |
| 3.3 DESCRIPTION DU BATI | 13 |
| 3.3.1 Façade rideau | 13 |
| 3.3.2 Occultations | 13 |
| 3.3.3 Planchers bas | 14 |
| 3.3.4 Planchers hauts | 15 |
| 3.4 CHAUFFAGE | 15 |
| 3.5 CLIMATISATION | 16 |
| 3.6 RENOUELEMENT D'AIR | 16 |
| 3.7 AERATION | 16 |
| 3.8 ETANCHEITE A L'AIR | 16 |
| 3.9 OCCUPATION | 17 |

| | |
|---|-----------|
| 3.10 ECLAIRAGE ARTIFICIEL | 17 |
| 3.11 EQUIPEMENTS « SPECIFIQUES » | 17 |
| 4 SIMULATION ET RESULTATS | 18 |
| 4.1 ANALYSE DES OMBRES PORTEES | 18 |
| 4.2 INSOLATION DES FAÇADES | 20 |
| 4.3 BILAN ESTIVAL DES APPORTS THERMIQUES | 21 |
| 4.4 ANALYSE DU CONFORT D'ETE | 23 |
| 5 INTERVENTIONS ET SCENARIOS - STD | 24 |
| 5.1.1 Intervention 1 : Isolation du plancher bas sur extérieur | 25 |
| 5.1.2 Intervention 2 : Isolation du plancher haut | 27 |
| 5.1.3 Intervention 3 : Remplacement du film solaire côté extérieur | 29 |
| 5.1.4 Intervention 4 : Remplacement de la façade rideau avec allèges pleines isolées et mise en place de double vitrage | 31 |
| 5.1.5 Intervention 5 : Mise en place d'allèges non isolées | 34 |
| 5.1.6 Intervention 6 : Mise en place d'une aération automatisée | 35 |
| 5.1.7 Intervention 7 : Variante – Vitrage Immo blade | 37 |
| 5.1.8 Scénario 1 : A minima | 39 |
| 5.1.9 Scénario 2 : Optimisation globale | 40 |
| 5.1.10 Synthèse des simulations | 41 |
| 6 CONCLUSION DE L'ETUDE | 42 |
| 7 ANNEXES | 43 |
| 7.1 GRANDEURS UTILES AU DIAGNOSTIC | 43 |
| 7.1.1 Lexique de quelques abréviations | 43 |

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de la mission

La mission consiste à quantifier l'inconfort estival dans la passerelle reliant le bâtiment Tripode au bâtiment Pédiatrie du CHU de Bordeaux. Cette zone a été identifiée comme inconfortable par les utilisateurs lors de notre visite. L'objectif de cette étude sur le confort estival est de proposer des solutions techniques pour améliorer le confort thermique en été.

De manière générale les objectifs de la simulation thermique dynamique peuvent être :

- > D'analyser les températures du bâtiment et par zone,
- > D'analyser le confort thermique des occupants,
- > D'analyser le comportement thermique du bâtiment,
- > D'analyser les besoins et consommations énergétiques,
- > D'analyser la sensibilité et l'incertitude de paramètres d'influence,
- > D'identifier les opportunités d'améliorations techniques.

1.2 Outil de simulation

La simulation thermique dynamique est réalisée avec le logiciel Pléiades+Comfie, version 5.23.3.0. Le moteur de calcul est développé par le centre d'efficacité énergétique des systèmes de Mines ParisTech, et a été validé expérimentalement (plateforme INCAS, cellule PASSYS).



1.3 Hypothèses de calcul

Le calcul a été fait sur une année entière avec un pas de temps de simulation de 6 minutes. Le modèle numérique réalisé pour cette mission considère les phénomènes thermiques et aérauliques.

1.4 Liste des documents transmis par la MOA

| DOCUMENTS | | FORMAT |
|-------------------|--|------------|
| Plans et surfaces | <ul style="list-style-type: none"> > Plans des niveaux desservies par la passerelle côté Tripode et Pédiatrie > Plans et coupes de la passerelle | DWG et PDF |

1.5 Estimations des quantités pour les différentes prescriptions

La date de valeur des estimations correspond à la date de notre visite sur site, soit le 11/04/2023. Les quantités prescrites dans les interventions correspondent à des estimations réalisées à la suite de celle-ci.

2 DESCRIPTION DU SITE

2.1 Informations générales

2.1.1 Périmètre du diagnostic

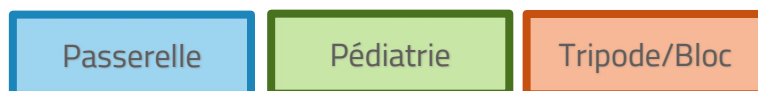
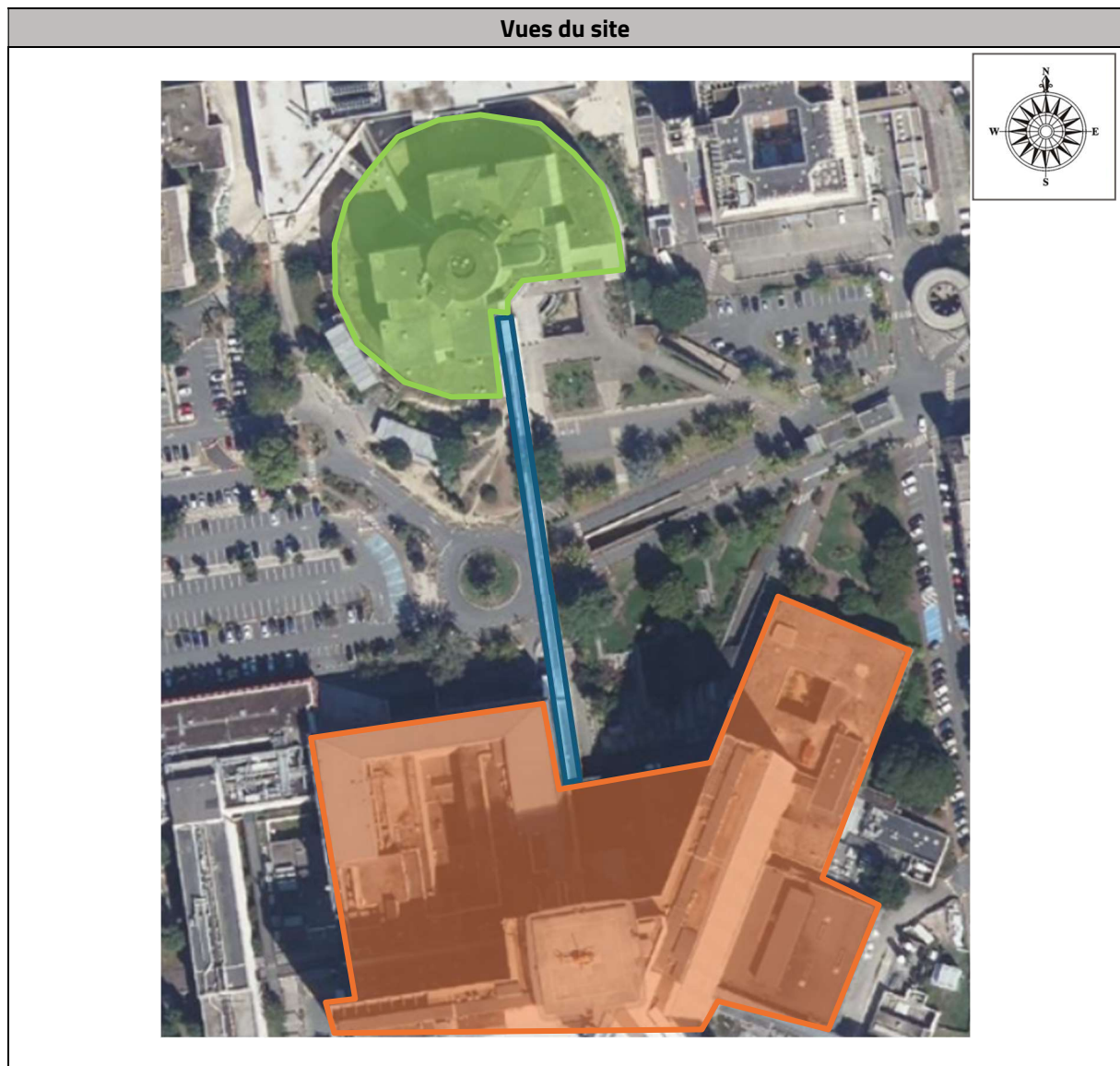
| Passerelle Tripode/Pédiatrie |
|---------------------------------------|
| Place Amélie Raba-Léon 33000 Bordeaux |

2.1.2 Visite

La visite du bâtiment a été réalisée dans les conditions suivantes :

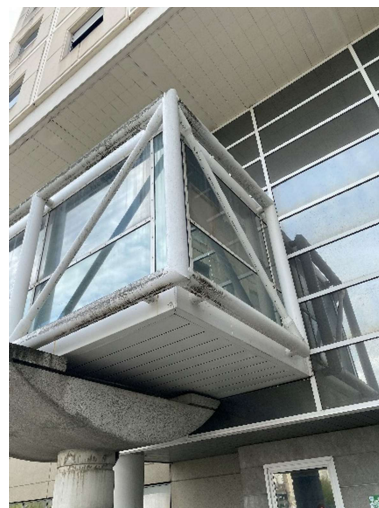
| Situation | |
|--------------------------|---|
| Date de la visite : | 11/04/2023 |
| Diagnostiqueur : | Thibaud MAROLLEAU tmarolleau@alterea.fr |
| Accompagnateurs : | Gabriel DURAND |
| Conditions climatiques : | T _{ext.} = 15°C, Nuageux |

2.2 Vue aérienne du site





2.3 Données d'usage du site

| Périmètre de l'étude | Année de Construction | Niveaux | SHON étudiée | Surface de plancher | Usage |
|----------------------|-----------------------|---------|--------------------|---------------------|-------------|
| Passerelle | 1991 | 1 | 281 m ² | 271 m ² | Circulation |







2.4 Analyse du confort des usagers

Les usagers du site ont été interrogés et il ressort les analyses suivantes sur leur confort :

| Confort | Ressenti des occupants / Note | Commentaires |
|----------|---|---|
| Hivernal |  | Le confort thermique en hiver est moyen à l'intérieur de la passerelle. En effet, la surface vitrée importante, le manque d'isolation ainsi que la présence de grilles de désenfumage peu étanches à l'air entraînent des sensations de parois froides et des infiltrations d'air dégradant le confort. |
| Estival |  | Les occupants ont signalé des surchauffes importantes au niveau de la passerelle, principalement dues à une mauvaise performance des menuiseries et à leur nombre important. |

Le nombre de pictogrammes correspond au niveau de confort selon la légende ci-dessous :

| | | |
|-----------|---|------------------|
| Légende : |  | Confort faible |
| |  | Confort moyen |
| |  | Confort bon |
| |  | Confort très bon |

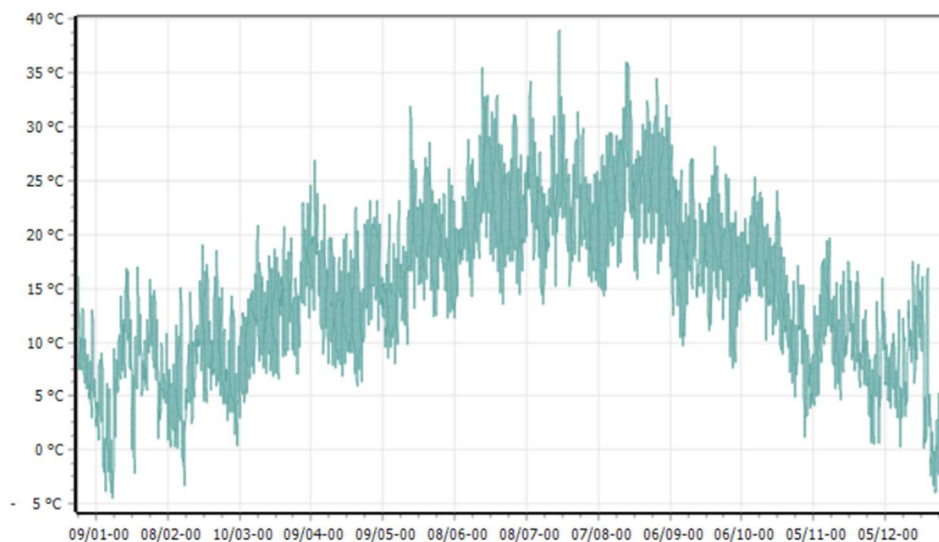
2.5 Données météorologiques

Les données climatiques exercent une influence déterminante sur les transferts thermiques et par conséquent sur le bilan énergétique du projet concerné. Les variables prises en compte dans notre méthode de calcul sont :

- > Températures horaires
- > Hauteur du soleil
- > Azimut du soleil
- > Rayonnement horaire global horizontal
- > Rayonnement horaire diffus
- > Humidité relative
- > Vitesse du vent
- > Direction du vent

La station météo prise en compte pour la présente étude est celle de Bordeaux. Celle-ci se situe à 10 km du site et les conditions météorologiques sont semblables.

Le fichier météo est issu du Pack Météonorm et est de type « Eté chaud ». Le fichier Eté chaud récupère les mêmes données que le fichier scénario moyen, mais avec des données estivales qui ne sont plus des moyennes mensuelles, mais des températures maximales des dix dernières années pour la période estivale (mai à septembre).



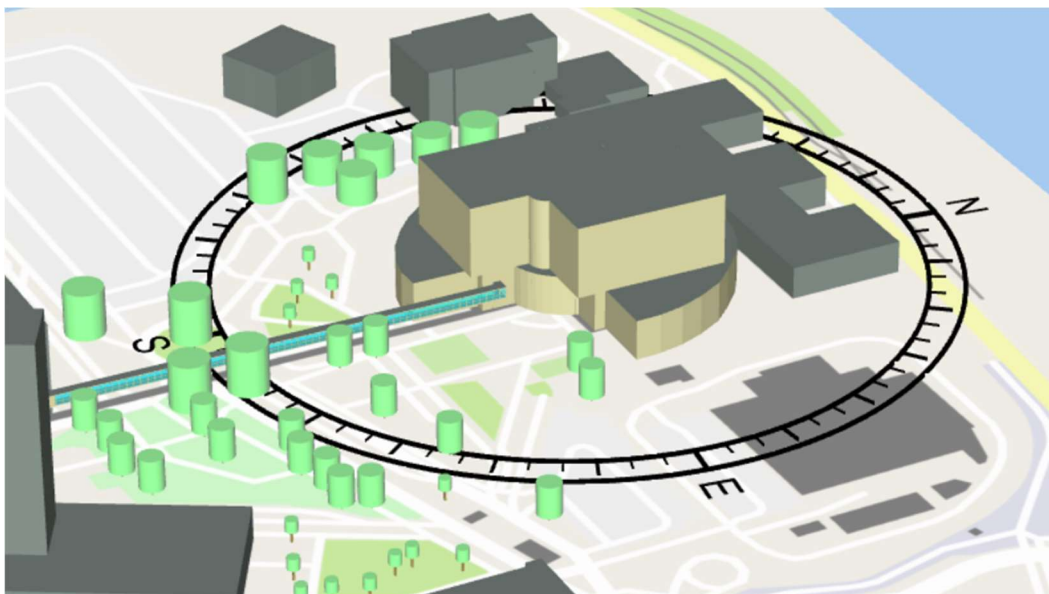
Bordeaux – Eté chaud - Courbe annuelle de température extérieure

Température extérieure maximale atteinte : 38,9°C (le 21 juillet)

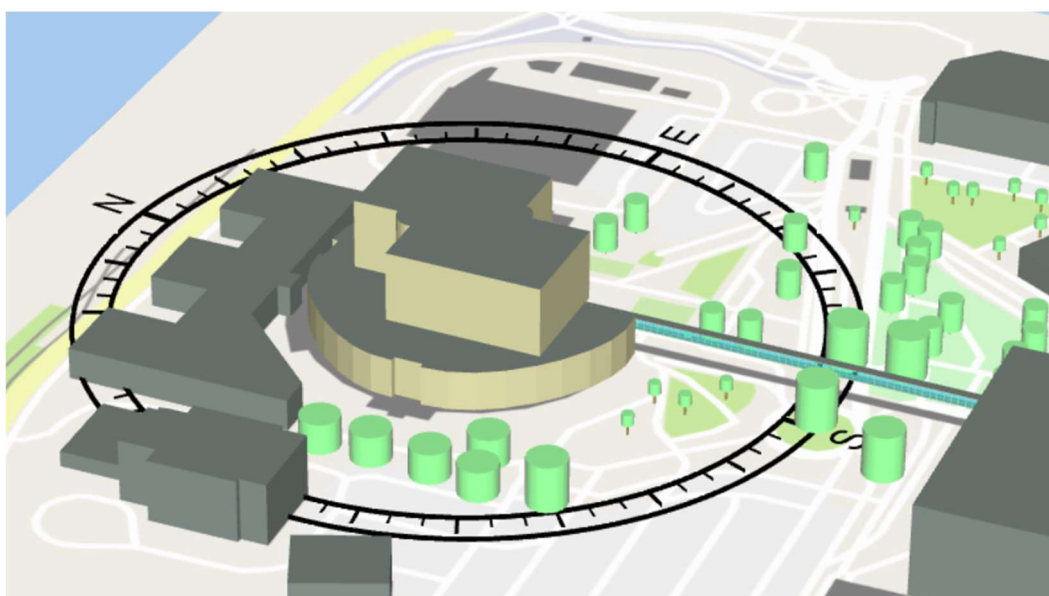
3 MODELISATION DU BATIMENT ET DES USAGES

3.1 Représentation 3D

L'outil de simulation numérique Pléiades permet une représentation graphique du bâtiment étudié. Celle-ci n'a pas de vocation architecturale ou esthétique.



Visualisation du modèle 3D – Façade Est



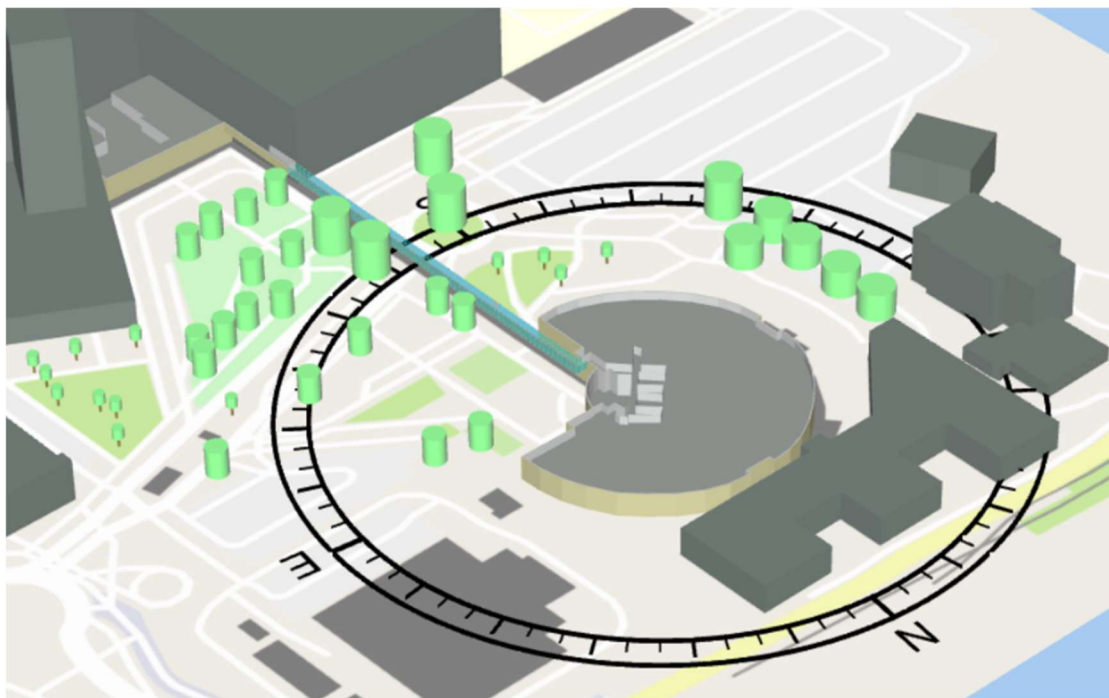
Visualisation du modèle 3D – Façade Ouest

3.2 Zonage thermique

La passerelle fait environ 110m de long pour 2,5m de large et relie deux bâtiments entre eux :


- **Pédiatrie** : la passerelle dessert un SAS puis la circulation centrale du bâtiment. Ce SAS est équipé d'une porte coupe-feu, considérée continuellement ouverte.
- **Tripode** : la passerelle donne sur une circulation puis sur le hall d'entrée.

Dans le cadre de cette étude, l'ensemble de la passerelle est modélisée ainsi que les zones thermiques attenantes : halls Tripodes et Pédiatrie, SAS, circulations attenantes. Les pièces dites « non étudiées » sont regroupées dans des zones thermiques homogènes.



3.3 Description du bâti

3.3.1 Façade rideau

| Métallique Simple Vitrage | | Uw | Sw | TLw |
|---|-----------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
|  | Matériau et vitrage : | Structure métallique / simple vitrage | | |
| | Étanchéité : | Moyenne | | |
| | Position : | Façade rideau Nu extérieur | | |
| | Fermeture : | Fixe | | |
| | Films solaire : | Oui en majorité dégradé | | |
| | | 5,50 | 0,40 | 0,44 |

La structure métallique de la passerelle supporte des menuiseries à simple vitrage. La passerelle est entièrement vitrée. Ces menuiseries ont des performances thermiques peu satisfaisantes et entraînent un inconfort en hiver et en été.

Des films solaires sont présents et permettent de limiter les apports solaires. Ces derniers sont peu efficaces, vieillissants et dégradés. Les valeurs Sw (facteur solaire) et TI (transmission lumineuse) ont été estimées en fonction de l'état des films solaires et de leur transparence.




Remarque : la structure est atteinte, à quelques endroits, de points de rouille.

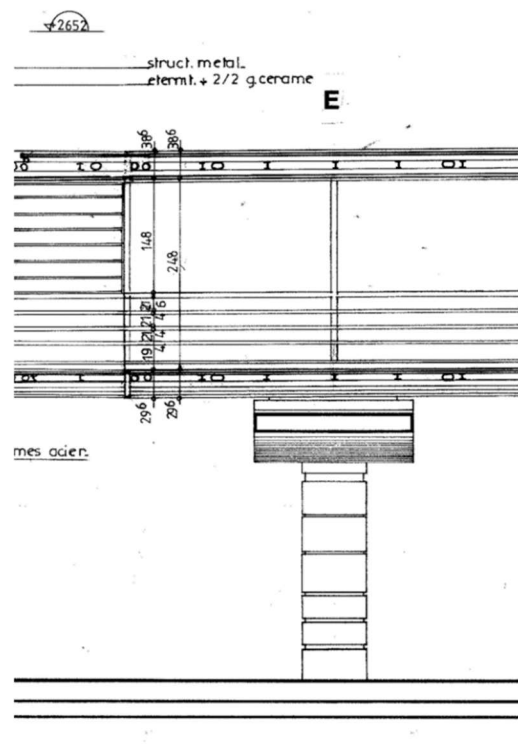
3.3.2 Occultations

Aucun dispositif d'occultation n'est présent sur la façade rideau de la passerelle.


3.3.3 Planchers bas

| Plancher bas sur extérieur | | U |
|---|--------------------------------|---|
|  | Type : | Bac acier – structure métallique, vide d'air et bardage lames acier |
| | Epaisseur : | 26 cm |
| | Mise en œuvre de l'isolation : | Aucune isolation |
| | | |
| | | 2,56 |

Le plancher bas de la passerelle donne sur l'extérieur. Nous avons eu accès aux plans de coupe permettant d'identifier l'absence d'isolation. Ce plancher bas est constitué d'une structure métallique et d'un bardage de lame métalliques partiellement dégradé par endroit.



3.3.4 Planchers hauts

| Bac acier | | U |
|---|--------------------------------|--|
|  | Type : | Bac acier – structure métallique avec faux-plafond |
| | Epaisseur : | 40 cm y compris faux-plafond |
| | Mise en œuvre de l'isolation : | Aucune isolation |
| | | 3,12 |

Le plancher haut de la passerelle est fortement exposé aux rayons du soleil, d'autant plus en période estivale ou lorsque le soleil est au plus haut. La toiture est de type bac acier non isolée.

L'étanchéité du bac acier semble être de type « bitumé ». L'albedo qui définit le pouvoir réfléchissant d'une surface est faible sur ce type de revêtement. Son absorption du rayonnement solaire est donc élevée.

3.4 Chauffage

L'étude porte sur le confort hygrothermique d'été des usagers. Le système de chauffage est alors hors périmètre d'analyse. Pour autant, une température de consigne de chauffage de 21 °C sans réduction entre le 15 octobre et le 6 mai est intégrée à toutes les zones de la simulation afin d'éviter des températures intérieures libres à la mi-saison notamment. Cette consigne de chauffage correspond à la régulation existante du Tripode.

Pour information, la passerelle est équipée de radiateurs en acier. Ils sont dépourvus de robinets thermostatiques car ils sont montés sur un réseau de type monotube.



3.5 Climatisation

Aucun système de climatisation actif n'est présent sur la passerelle.

Les halls des deux bâtiments Tripode/Pédiatrie sont équipés de CTA avec batterie froide. Ces systèmes n'influent que peu sur la température de la passerelle et ne participent pas au rafraîchissement de la zone étudiée.

3.6 Renouvellement d'air

La passerelle est dépourvue de système mécanique assurant son renouvellement d'air. Il se fait par infiltration d'air et défaut d'étanchéité.

3.7 Aération

Les menuiseries de la passerelle sont fixes (non ouvrantes).

La porte intérieure côté Pédiatrie de la circulation desservie par la passerelle est considérée toujours ouverte. Au niveau de l'étage de liaison du Tripode, la passerelle donne directement sur une circulation puis sur le hall d'entrée. Ces zones sont ventilées mécanique par une CTA et un caisson d'extraction. Les débits de ces dernières étant connues, nous avons modélisé leur impact sur la passerelle.

3.8 Etanchéité à l'air

La perméabilité à l'air d'une construction caractérise la quantité d'air qui entre ou sort de manière parasite par les défauts d'étanchéité de son enveloppe. Elle se quantifie par la valeur du débit de fuite traversant l'enveloppe sous un écart de pression donné, en $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ sous 4 Pa.

L'étanchéité à l'air pour l'état existant a été prise à **$2,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ sous 4 Pa**, qui correspond à une majoration de la valeur par défaut pour les hôpitaux (bâtiment existant).

Des dispositifs de désenfumages détériorent l'étanchéité à l'air et le confort au sein de la zone mais ces derniers sont obligatoires au vu de la réglementation incendie. Il ne sera pas préconisé de les déposer.



3.9 Occupation

Les apports liés aux occupants sont estimés à 80 W/occupant (chaleur sensible uniquement). La passerelle est une circulation reliant deux bâtiments, il est donc compliqué d'estimer une occupation continue.

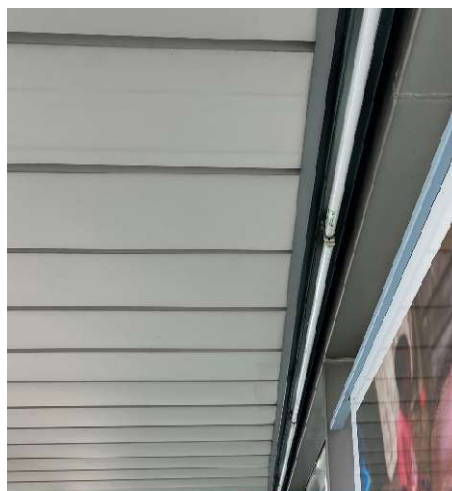
| Zone | Occupation | Plage Horaire |
|------------|-------------------------------|---|
| Passerelle | 0,02 occupants/m ² | 25% de 00h à 7h 100% de 7h à 19h 25% de 19h à 24h |

3.10 Eclairage artificiel

L'éclairage artificiel est de type T8 à ballasts ferromagnétiques. L'éclairage est supposé géré manuellement par des interrupteurs marche/arrêt en fonction de l'éclairage naturel.

Ce type d'équipement est fortement consommateur en énergie et dissipateur de chaleur.

| Zone | Eclairage | Planning d'éclairage |
|------------|--------------------------------|---|
| Passerelle | Tubes T8 : 22 W/m ² | 200 Lux en période d'utilisation en fonction de l'éclairage naturel |



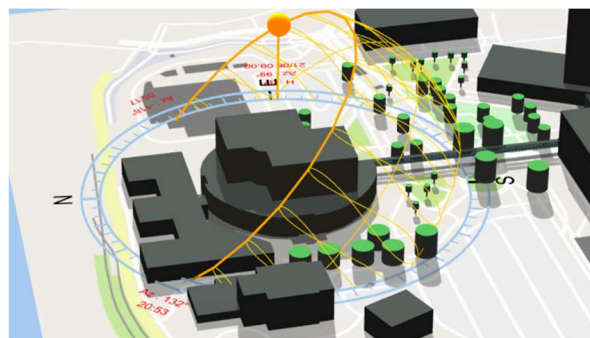
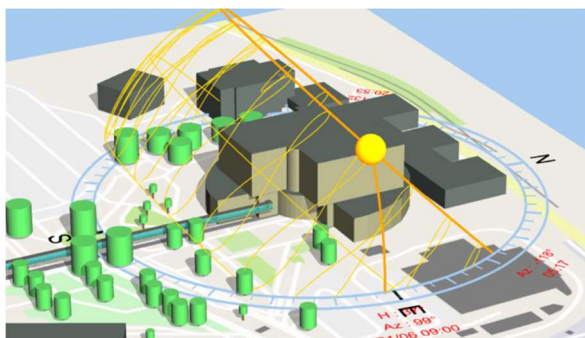
3.11 Equipements « spécifiques »

Les équipements dits « spécifiques » sont les appareils ne fonctionnant qu'à l'électricité et qui dissipent de la chaleur au sein de la zone étudiée. Dans le cas présent la passerelle est dépourvue d'équipements spécifiques.

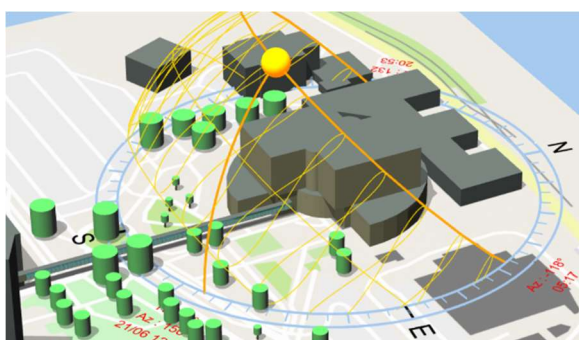
4 SIMULATION ET RESULTATS

4.1 Analyse des ombres portées

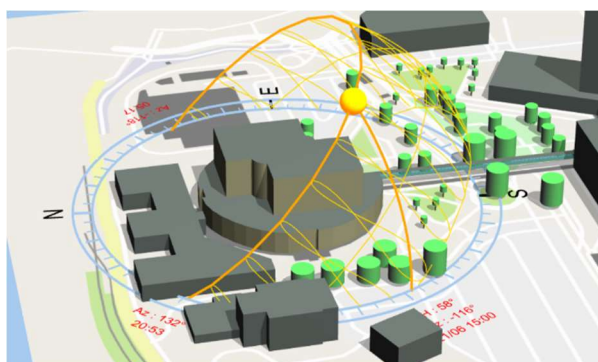
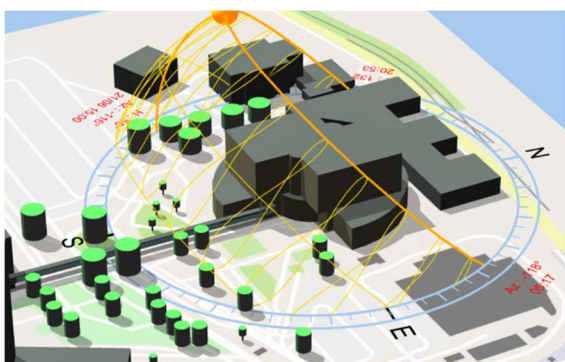
Les représentations 3D permettent d'apprécier l'évolution des ombres portées le 21 juin.



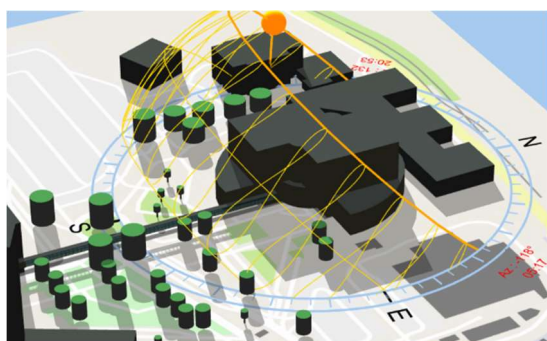
Représentation à 9h



Représentation à 12h



Représentation à 15h



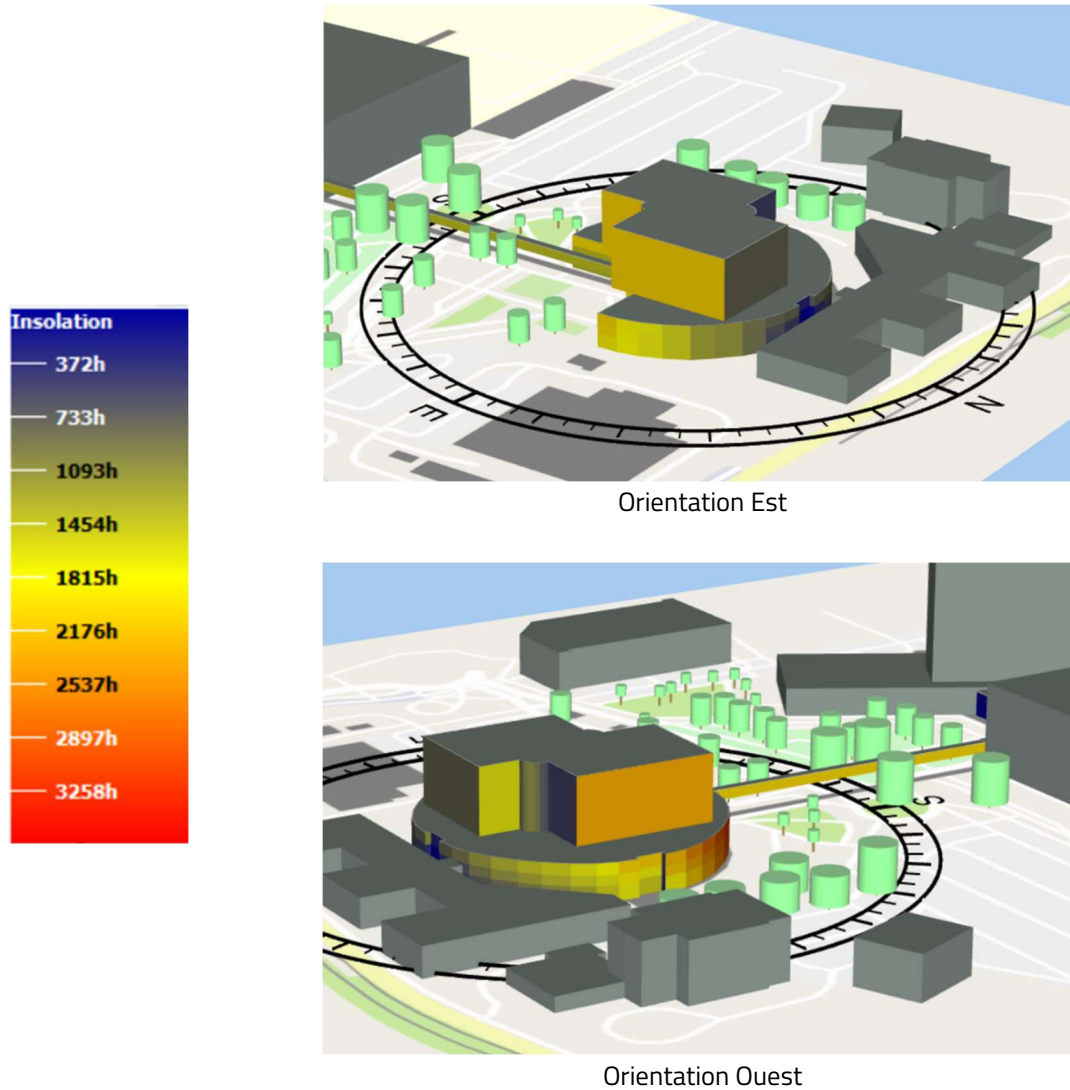
Représentation à 18h

Commentaires

- > La passerelle est pleinement exposée au soleil, au vu de son orientation Est/Ouest.
- > Ses deux façades ne sont pas ombragées par les bâtiments avoisinants, hormis sur une partie côté Pédiatrie.
- > La passerelle possède quelques arbres qui permettent de diminuer légèrement l'ensoleillement et de créer un « îlot de fraîcheur ».
- > L'ajout d'une végétation plus dense autour du bâtiment renforcerait l'effet d'îlot de fraîcheur naturel et réduirait la température dans la zone environnante. Toutefois, étant donné la nécessité de routes d'accès et de parkings autour du site, cette action ne sera pas étudiée.

4.2 Insolation des façades

L'insolation des façades permet d'identifier les façades les plus exposées au rayonnement solaire direct et donc potentiellement les zones plus vulnérables aux surchauffes. L'insolation est présentée en nombre d'heures annuel d'exposition.



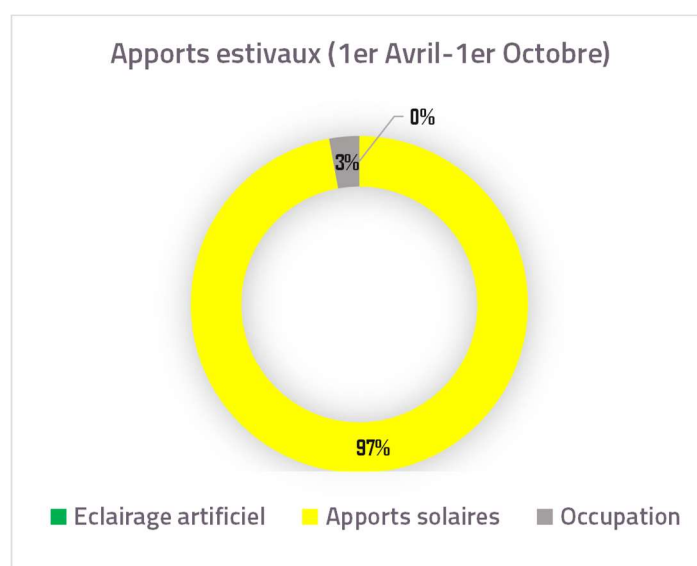
Commentaires

- > La façade la plus exposée de la passerelle est la façade Ouest qui reçoit en moyenne 2000h de soleil par an. La façade Est, est légèrement moins exposée avec ensoleillement moyen de 1500h.
- > La toiture est fortement exposée et soumise aux rayons directs du soleil, avec une exposition de 2500 heures de soleil par an.
- > Du fait de sa conception (façade rideau) la passerelle est fortement exposée au rayon du soleil, c'est une zone ayant d'importantes problématiques de surchauffes.
- > En comparaison les façades nord, côté Pédiatrie, ne reçoivent que 250h de soleil par an.

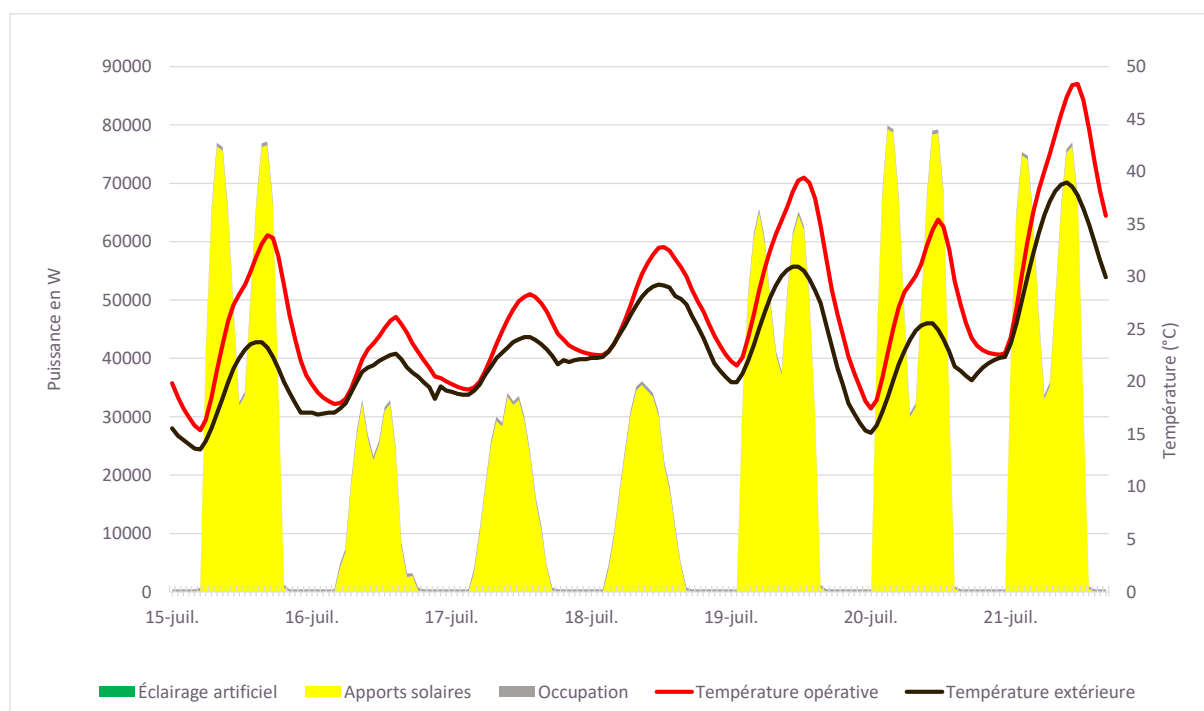
4.3 Bilan estival des apports thermiques

Les apports thermiques d'un bâtiment peuvent être classés en 4 catégories : solaires, éclairage artificiel, puissances dissipées et occupation.

Les graphiques ci-dessous présentent la répartition des apports de chaleur pour la zone étudiée et sur la semaine d'occupation la plus chaude : du 15 au 22 juillet.



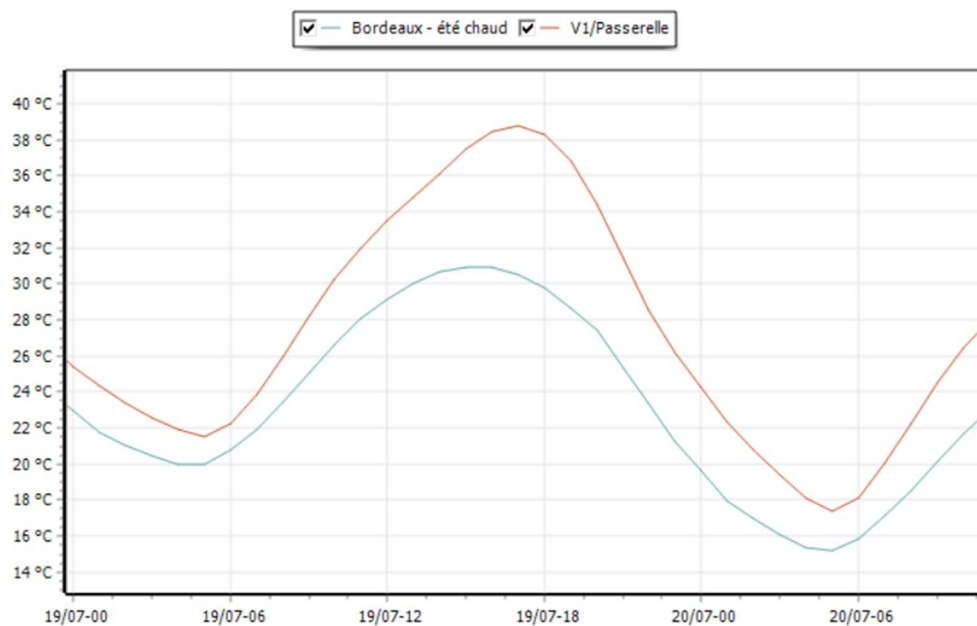
Bilan des apports estivaux (1^{er} avril au 1^{er} octobre)



Evolution sur la semaine la plus chaude (15 au 22 juillet)

Commentaires

- > Sans surprise les **apports solaires** sont majoritaires, ils représentent 97% des apports au niveau de la passerelle et apparaissent comme la principale source de chaleur. En été, lors de la semaine la plus chaude ils peuvent **représenter près de 80kW**.
- > Les apports liés à l'**occupation** de la passerelle sont relativement faible, environ 3%. Ces apports sont incompressibles.
- > Enfin les apports liés à l'utilisation de l'**éclairage artificiel** sont faibles, moins de 1%, en effet les apports lumineux naturels limitent le recours aux équipements d'éclairage.



- > L'observation des courbes de température, extérieure et intérieure de la passerelle, permet de mettre en évidence le manque d'inertie du bâtiment, en effet il suit l'évolution des conditions climatiques extérieures sans déphasage thermique.

4.4 Analyse du confort d'été

L'analyse du confort estival se réalise selon trois indicateurs :

- > La température maximale atteinte sur la simulation annuelle.
- > Le pourcentage de temps où la température intérieure opérative dépasse les 28 °C en période d'occupation. On considère que ce taux d'inconfort est satisfaisant lorsque le pourcentage est inférieur à 5 % sur le fichier météo « Eté chaud », ce qui correspond à la cible « P » sur le graphique suivant.

Les figures présentées page suivante, présentent sous forme de graphique ces températures maximales et ces taux d'inconfort par zone thermique.



Commentaires

- > La température maximale atteinte dans la zone dépasse les 48 °C.
- > La cible P de limite d'inconfort (5% du temps) est dépassée.
- > La passerelle présente 1150h d'inconfort à l'année avec le fichier météo caniculaire, contre 430h à la cible P.
- > Compte tenu de sa conception et de son orientation, la passerelle apparaît comme une zone très inconfortable en période estivale. Il est alors nécessaire de mettre en place des solutions permettant de diminuer grandement les apports solaires.

5 INTERVENTIONS ET SCENARIOS - STD

Les résultats de l'état initial révèlent un inconfort estival dans la zone étudiée. Les observations détaillées ci-avant permettent de diriger le traitement de la problématique. Ainsi afin de limiter les surchauffes il semble nécessaire de combiner les points suivants :

- > Limiter les apports solaires estivaux ;
- > Ventiler au maximum en période nocturne afin d'évacuer l'air chaud ;

Nous proposons d'observer l'impact des interventions de travaux suivants :

- > Intervention 1 : Isolation du plancher bas sur extérieur
- > Intervention 2 : Isolation du plancher haut
- > Intervention 3 : Remplacement du film solaire côté extérieur
- > Intervention 4 : Remplacement de la façade rideau avec allèges pleines isolées et mise en place de double vitrage.
- > Intervention 5 : Mise en place d'allèges non isolées
- > Intervention 6 : Mise en place d'une ventilation naturelle

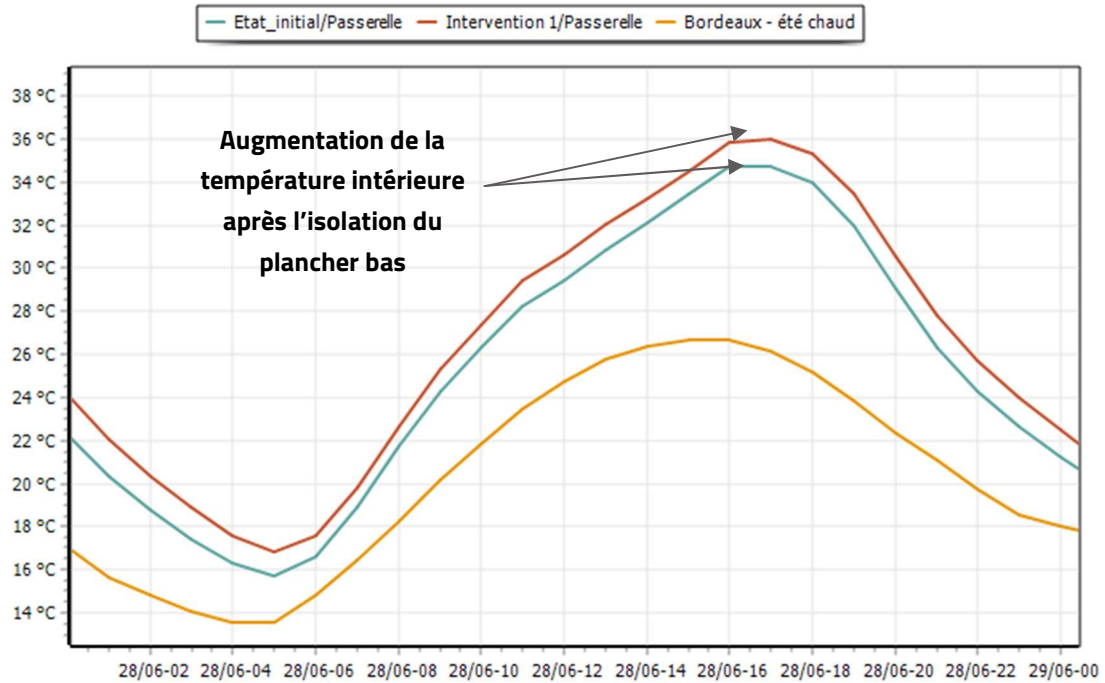
Important : certaines actions ont été simulées et chiffrées mais auront un impact négatif sur le confort d'été alors qu'elles permettraient d'améliorer le confort hivernal et de diminuer les consommations énergétiques.

5.1.1 Intervention 1 : Isolation du plancher bas sur extérieur

| Isolation du plancher bas sur extérieur | Investissement : 31 000 €HT |
|---|--|
| Fiche CEE : BAT-EN-103 – 1361 MWh Cumac | Surface concernée : 270 m ² |
| <p><u>Problématiques traitées et points de vigilance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Le plancher bas donne sur l'extérieur et il est non isolé. > Diminution des déperditions et des consommations liées au chauffage. > Amélioration du confort hivernal. > Dégradation du confort estival. <p><u>Mise en œuvre proposée et performance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Mise en place d'une nacelle extérieure. > Dépose du bardage existant. > L'isolation consiste à mettre en place une isolation projetée de 140 mm pour un R de 3,50 m².K/W en sous face du plancher bas. > Repose d'un bardage de protection métallique équivalent à l'existant. > Dépose et dévoiement des réseaux si nécessaire (éclairage, EU/EV/EP). <p><u>Remarques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > L'isolation pourrait être envisagée par des matériaux isolants naturels, biosourcés (comme les panneaux de liège expansé, panneaux de laine de bois) dont le surcoût entrainerait l'application d'un coefficient de 1.3 au chiffre annoncé. | |

Isolation du plancher bas sur extérieur

Résultats observés :



Le graphique présenté ci-dessus illustre l'effet négatif de l'intervention sur le confort en été. En effet, l'ajout d'une isolation sur le plancher bas entraîne une augmentation de l'inertie de la structure, ce qui se traduit par une plus grande rétention de chaleur pendant la période estivale.

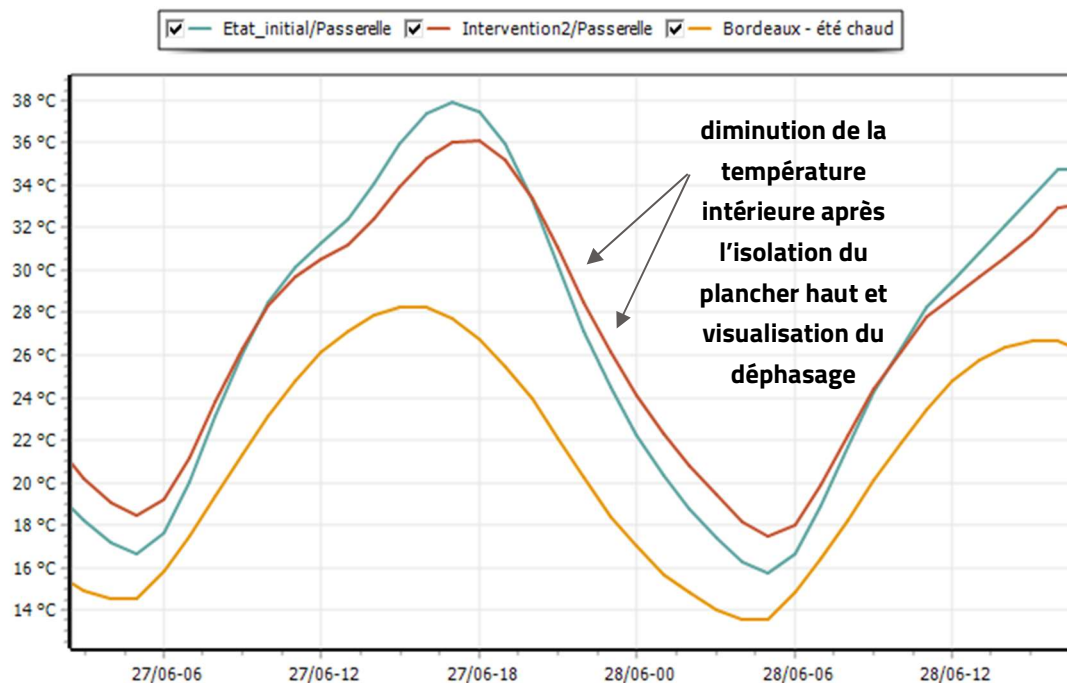
Cependant, cette intervention présente l'avantage d'améliorer le confort en hiver et de réduire les consommations de chauffage.

5.1.2 Intervention 2 : Isolation du plancher haut

| Isolation du plancher haut | Investissement : 27 000 €HT |
|---|--|
| Fiche CEE : BAT-EN-101 – 680 MWh Cumac | Surface concernée : 270 m ² |
| <p><u>Problématiques traitées et points de vigilance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Le plancher haut donne sur l'extérieur et il est non isolé. > La toiture est fortement exposée au soleil. > Diminution des déperditions. > Amélioration du confort hivernal et estival. > Mise en œuvre difficilement réalisable en site occupé <p><u>Mise en œuvre proposée et performance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Dépose du faux-plafonds métallique existant (lames aluminium). > Dépose des grilles métalliques de désenfumages et des équipements incendie implantés dans le faux-plafond. > Mise en place d'une isolation en panneaux de fibre de bois. L'épaisseur totale installée est de 200 mm pour un R de 6 m².K/W. > Repose d'un faux-plafond métallique équivalent à l'existant et des équipements précédemment déposés. > L'isolation est envisagée avec un matériau isolant naturels, biosourcés permettant d'augmenter le déphasage thermique. <p><u>Remarques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Le pare-vapeur de l'isolation doit être positionné côté chaud. | |

Isolation du plancher haut

Résultats observés :



L'isolation du plancher haut, au niveau du faux-plafond, par un isolant de type laine bois permet de diminuer l'inconfort en journée. Il convient de rappeler que la toiture de la passerelle est la partie la plus exposée au soleil.

Le graphique ci-dessus met en évidence le rôle de déphasage thermique de l'isolant. En journée l'isolant limite les surchauffes, alors que la nuit la température à l'intérieur de la zone sera légèrement plus importante qu'à l'état initial, ce qui est moins gênant car la passerelle n'est plus occupée.

Remarque : il pourrait être envisagé la mise en place d'un cool roof, mais cette technologie implique un entretien régulier et une exploitation particulière entraînant un coût de maintenance. Elle peut aussi entraîner une gêne pour les niveaux donnant sur la passerelle en créant un éblouissement. Nous avons simulé le cool roof sur la maquette et le gain sur le taux d'inconfort de cette action est de 1%.

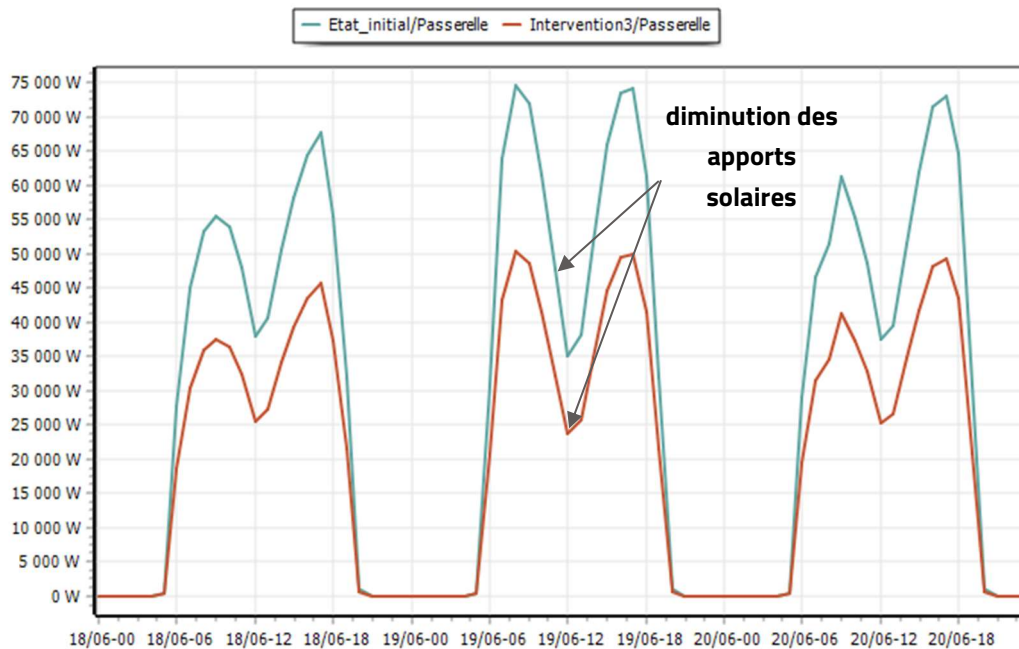
5.1.3 Intervention 3 : Remplacement du film solaire côté extérieur

| | | | |
|---|------------------------------|--|--|
| Remplacement du film solaire côté extérieur | | Investissement : 20 800 €HT | |
| Fiche CEE : - | | Surface concernée : 520 m² | |
| <i>Problématiques traitées et points de vigilance :</i> | | | |
| <div><div>></div>Diminution des apports solaires et amélioration du confort estival.</div> <div><div>></div>Diminution des apports solaires en période froide qui entraîne une augmentation des consommations de chauffage.</div> <div><div>></div>Durée de vie limitée (environ 5 ans).</div> <div><div>></div>Remplacement des films vieillissants et dégradés.</div> <div><div>></div>Transparence possible et donc non-modification de l'esthétique du bâtiment</div> <div><div>></div>Mise en œuvre facilement réalisable en site occupé</div> | | | |
| <i>Mise en œuvre proposée et performance :</i> | | | |
| <div><div>></div>Mise en place d'une nacelle permettant l'installation des films.</div> <div><div>></div>Dépose du film existant, nettoyage et séchage du vitrage avant la pose.</div> <div><div>></div>Pose de films solaires côté extérieur des menuiseries (Est et Ouest)</div> <div><div>></div>Eviter la pose en cas de vent ou de pluie.</div> <div><div>></div>Transmission thermique (Uw) non modifiée.</div> <div><div>></div>Le facteur solaire (Sw) et la transmission lumineuse (TLw) sont dépendants l'un de l'autre.</div> <div><div>></div>La performance est dépendante de la teinte et de l'aspect désiré. Le tableau ci-dessous présente des exemples de performances quelques types de films solaires :</div> | | | |
| Teinte / Aspect | Réduction du facteur solaire | Réduction de l'éblouissement (non modélisable) | Réduction de la transmission lumineuse (TLw) |
| Argent très foncé | 87 % | 96 % | 95 % |
| Argent clair | 64 % | 64 % | 56 % |
| Transparent | 45 % | 30 % | 30 % |
| Bleu | 68 % | 86 % | 88 % |

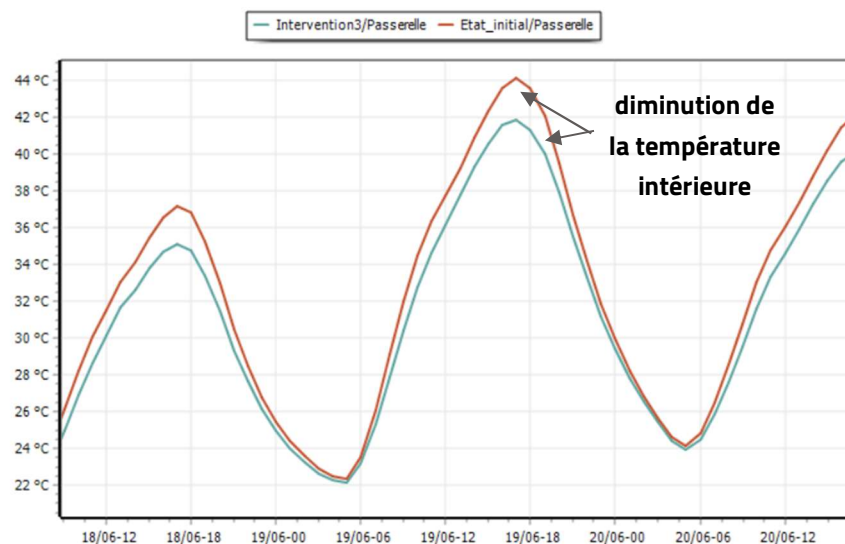
Dans le cadre de l'intervention proposée, un film argent clair est mis en œuvre.

Remplacement du film solaire côté extérieur

Résultats observés :



Le remplacement du film solaire existant par un film solaire plus performant, côté extérieur, permettra de réduire sensiblement les apports solaires au niveau de la passerelle. Sur une année complète, en comparaison avec l'état initial, les apports solaires diminuent de 20%.

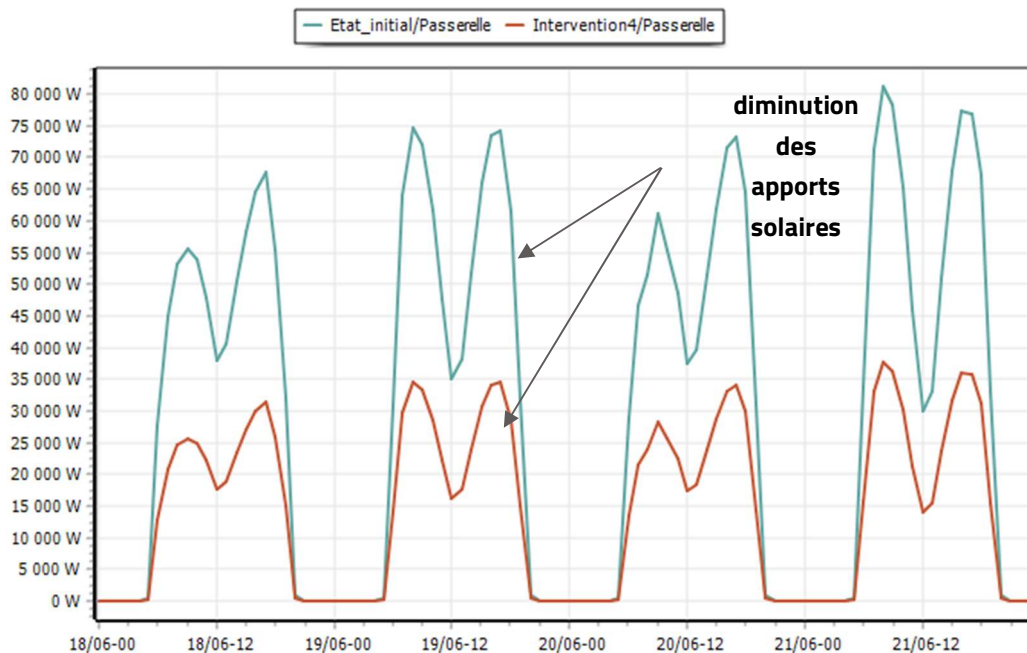


5.1.4 Intervention 4 : Remplacement de la façade rideau avec allèges pleines isolées et mise en place de double vitrage

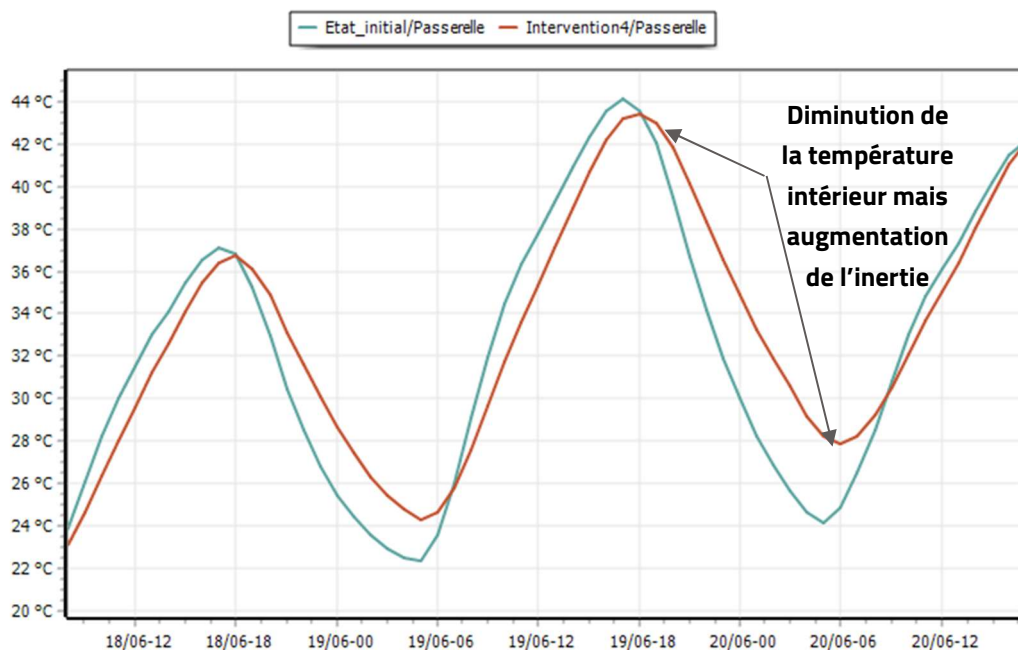
| | |
|---|--|
| Remplacement de la façade rideau avec allèges pleines isolées et mise en place de double vitrage | Investissement : 450 000 €HT |
| Fiche CEE : BAT-EN-104 – 3 042 MWh Cumac | Surface concernée : 520 m ² |
| <p><u>Problématiques traitées et points de vigilance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Réduction des déperditions et des consommations de chauffage. > Amélioration du confort hivernal. > Pérennisation de la passerelle. > Contraintes architecturale possible. > Diminution des apports solaires. > Mise en œuvre difficilement réalisable en site occupé <p><u>Mise en œuvre proposée et performance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > L'intervention comprend le remplacement de l'intégralité de la façade rideau. > Dépose de la façade rideau. > La surface vitrée existante n'est pas conservée. > Afin de limiter les problématiques d'inconfort d'hiver et d'été, les surfaces vitrées seront réduites. Les allèges de 90cm seront pleines et intégreront un isolant. > Mise en place d'une nouvelle façade légère. > Les surfaces opaques situées en allège devront posséder une isolation thermique. > La simulation a été réalisée avec un isolant d'un R de 2 m².K/W. > Le remplacement des surfaces vitrées existantes est réalisé avec des ouvrants en aluminium équipés de rupteurs de ponts thermiques avec un double-vitrage 4/16/4 peu émissif avec remplissage argon, respectant une performance thermique de Uw = 1,40 W/m².K. > L'intervention intègre la mise en place d'un vitrage avec traitement solaire, limitant le Sw à 0,30 au maximum. <p><u>Remarques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Une étude structurelle de la passerelle devra être réalisée pour valider la faisabilité de l'intervention. Le chiffrage n'intègre pas l'étude structure. | |

Remplacement de la façade rideau avec allèges pleines isolées et mise en place de double vitrage

Résultats observés :



Le remplacement de la façade rideau existante par une façade rideau intégrant des allèges pleines isolée et un double vitrage en partie haute avec traitement solaire, permettra de réduire sensiblement les apports solaires au niveau de la passerelle. Sur une année complète, en comparaison avec l'état initial, les apports solaires diminuent de 25%.



Cependant, bien que cette intervention réduise les apports solaires, elle a un impact négatif sur l'inertie de la passerelle. En améliorant l'étanchéité à l'air de la façade rideau et l'inertie (ajout de l'isolation), la passerelle stock plus facilement l'énergie reçue des rayonnements solaires pendant la journée sans pouvoir la dissiper la nuit.

Nous avons réalisé plusieurs simulation, en intégrant une isolation en allège plus importante et de type matériaux biosourcés (déphasage) et le résultat de la simulation thermique dynamique est toujours le même. Cette solution augmente le taux d'inconfort mais diminue la température maximale atteinte.

Cette préconisation doit être couplée à une intervention permettant l'aération naturelle de la passerelle pour dissiper la chaleur stockée en journée.

5.1.5 Intervention 5 : Mise en place d'allèges non isolées

| Mise en place d'allèges non isolées | Investissement : 37 500 €HT |
|--|-----------------------------|
| Fiche CEE : - | |
| <p><u>Problématiques traitées et points de vigilance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Contraintes architecturale et structurelle possible. > Diminution des apports solaires. > Diminution des déperditions. > Mise en œuvre difficilement réalisable en site occupé <p><u>Mise en œuvre proposée et performance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Dépose de la façade rideau en allège (90cm). > Mise en place d'une nouvelle allège maçonnée avec finition placoplâtre et peinture. <p><u>Remarques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Une étude structurelle de la passerelle devra être réalisée pour valider la faisabilité de l'intervention. Le chiffrage n'intègre pas l'étude structure. <p><u>Résultats observés :</u></p> <p>Même constat que pour l'intervention 4. La mise en place d'allège pleine maçonnée mais non isolée en partie basse permet de limiter les apports solaires, mais augmente le taux d'inconfort car son impact est négatif sur l'inertie. Ces préconisations doivent être couplées à une intervention permettant l'aération naturelle de la passerelle pour dissiper la chaleur stockée en journée.</p> | |

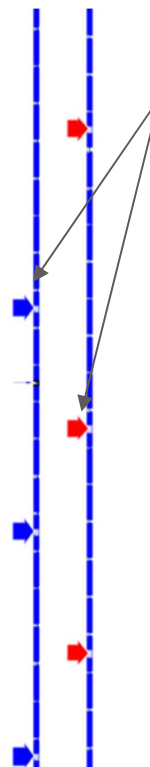
5.1.6 Intervention 6 : Mise en place d'une aération automatisée

| Mise en place d'une aération naturelle | Investissement : 52 000 €HT |
|--|-----------------------------|
| Fiche CEE : - | |
| <p><u>Problématiques traitées et points de vigilance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > La passerelle est équipée de menuiseries non ouvrantes, ne permettant pas de créer de courant d'air la journée ou l'évacuation de la chaleur en période nocturne. > Amélioration du ressenti par courant d'air. > Contraintes structurelles possible. <p><u>Mise en œuvre proposée et performance :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> > Cette préconisation consiste en la mise en place de menuiseries double vitrage ouvrantes, permettant l'ouverture manuelle des menuiseries en période d'occupation et durant la nuit par un agent de sécurité. > Sur chaque façade Est et Ouest, dépose de 8 ensemble de menuiserie fixe, soit 16 au total sur l'ensemble de la passerelle (seules les parties hautes seront déposées). > Le remplacement des surfaces vitrées existantes est réalisé avec des ouvrants en aluminium équipés de rupteurs de ponts thermiques avec un double-vitrage 4/16/4 peu émissif avec remplissage argon, respectant une performance thermique de $U_w = 1,40 \text{ W/m}^2.K$. > L'intervention intègre la mise en place d'un vitrage avec traitement solaire, limitant le S_w à 0,30. > Les fenêtres installées seront basculantes ou oscillo-battantes, ce qui permettra de les ouvrir et de créer un courant d'air. La simulation a été réalisée avec un taux d'ouverture de 40%. > Les fenêtres ouvrantes sont équipées d'un système d'ouverture automatique par l'intermédiaire de vérins mécanique intégrant un pilotage pour une ouverture la nuit et la journée lorsque la température intérieure au sein de la passerelle est plus importante que la température extérieure. > Les fenêtres rénovées sont considérées ouvertes toute la nuit en saison estivale. | |

Mise en place d'une aération automatisée

Résultats observés :

4.8 m/s
35.46 °C



Visualisation
de l'aération
nocturne

La mise en place d'une aération par ouvertures des menuiseries permet de créer un courant d'air améliorant le confort et le ressenti des usagers en journée, et permet également de chasser la chaleur accumulée en journée durant la nuit.

5.1.7 Intervention 7 : Variante – Vitrage ImmoBlade

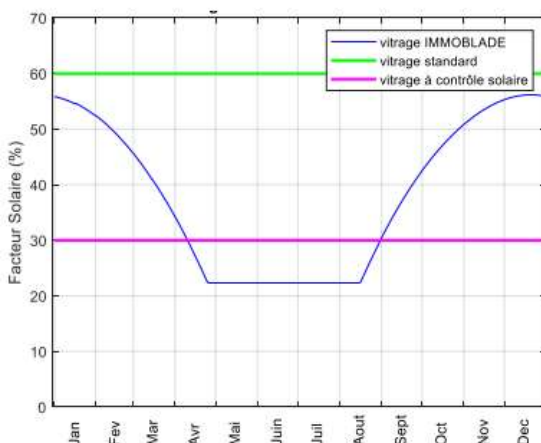
| | |
|--|------------------------------|
| Variante – Vitrage ImmoBlade | Investissement : 450 000 €HT |
| Fiche CEE : BAT-EN-104 – 3 042 MWh Cumac | Surface concernée : 520 m² |

Problématiques traitées et points de vigilance :

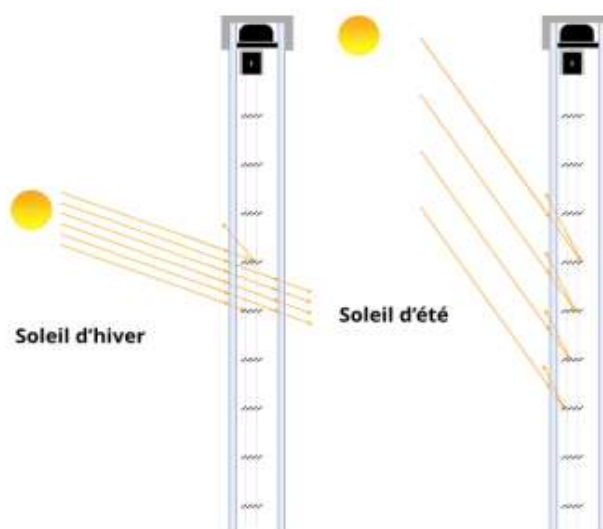
- > Réduction des déperditions et des consommations de chauffage.
- > Amélioration du confort hivernal et estival.
- > Pérennisation de la passerelle.
- > Contraintes architecturale possible.
- > Diminution des apports solaires.
- > Mise en œuvre difficilement réalisable en site occupé.

Mise en œuvre proposée et performance :

- > L'intervention comprend le remplacement de l'intégralité de la façade rideau.
- > Dépose de la façade rideau.
- > La surface vitrée existante n'est pas conservée.
- > Mise en place d'une nouvelle façade légère.
- > Le remplacement des surfaces vitrées existantes est réalisé avec des ouvrants en aluminium équipés de rupteurs de ponts thermiques avec un double-vitrage type ImmoBlade Minostore 4/20/4 peu émissif avec remplissage argon, respectant une performance thermique de **Uw = 1,30 W/m².K**.
- > L'intervention intègre la mise en place d'un vitrage avec traitement solaire type Ministore, limitant le **Sw à 0,23 en été**.
- > Ce type de vitrage permet de conserver un coefficient de transmission lumineuse de 65% pour limiter le recours à l'éclairage artificiel.
- > En période hivernal, le facteur solaire Sw varie entre 0,35 et 0,57, permettant de bénéficier des apports solaires et de limiter le chauffage.



| Mois | Vitrage IMMOBLADE (%) | Vitrage standard (%) | Vitrage à contrôle solaire (%) |
|------|-----------------------|----------------------|--------------------------------|
| Jan | 55 | 60 | 30 |
| Fev | 50 | 60 | 30 |
| Mar | 40 | 60 | 30 |
| Avr | 23 | 60 | 30 |
| Mai | 23 | 60 | 30 |
| Juin | 23 | 60 | 30 |
| Juil | 23 | 60 | 30 |
| Aout | 23 | 60 | 30 |
| Sept | 40 | 60 | 30 |
| Oct | 50 | 60 | 30 |
| Nov | 55 | 60 | 30 |
| Dec | 55 | 60 | 30 |



Remarques :

- > Une étude structurelle de la passerelle devra être réalisée pour valider la faisabilité de l'intervention. Le chiffrage n'intègre pas l'étude structure.

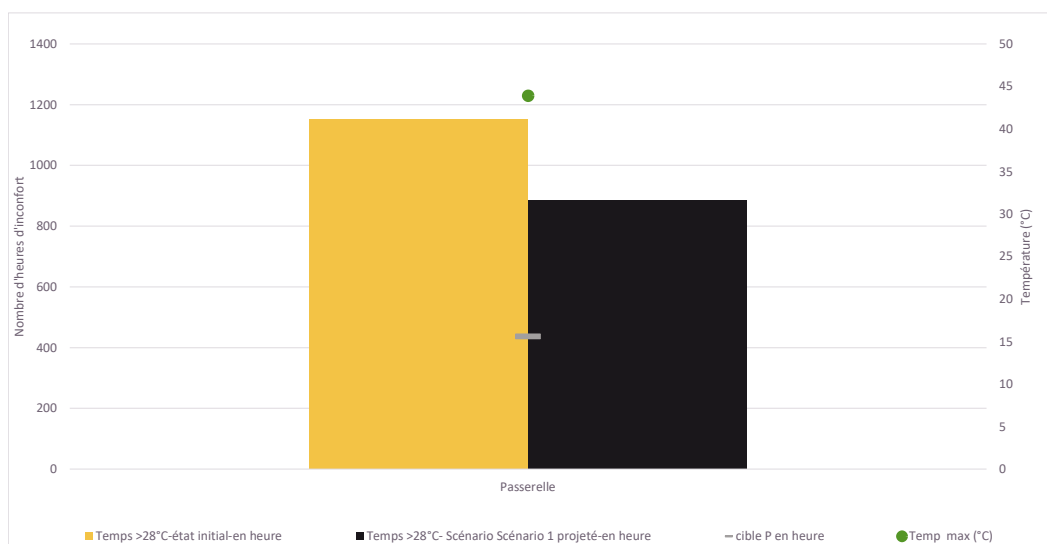
Résultats observés :

Les résultats observés sont équivalents à ceux de l'intervention 4. Le remplacement de la façade rideau existante par une façade rideau équipée de vitrage type ImmoBlade permettra de réduire sensiblement les apports solaires au niveau de la passerelle. Cependant, bien que cette intervention réduise les apports solaires, elle a un impact négatif sur l'inertie de la passerelle. En améliorant l'étanchéité à l'air de la façade rideau et l'inertie, la passerelle stocke plus facilement l'énergie reçue des rayonnements solaires pendant la journée sans pouvoir la dissiper la nuit. Pour être totalement efficace, cette préconisation doit être couplée à une intervention permettant l'aération naturelle de la passerelle pour dissiper la chaleur stockée en journée.

5.1.8 Scénario 1 : A minima

Le scénario 1 reprend les interventions simulées suivantes :

- > Intervention 2 : Isolation du plancher haut
- > Intervention 3 : Remplacement du film solaire côté extérieur



Scénario 1 - Evolution du nombre d'heure d'inconfort ($T > 28^{\circ}\text{C}$)

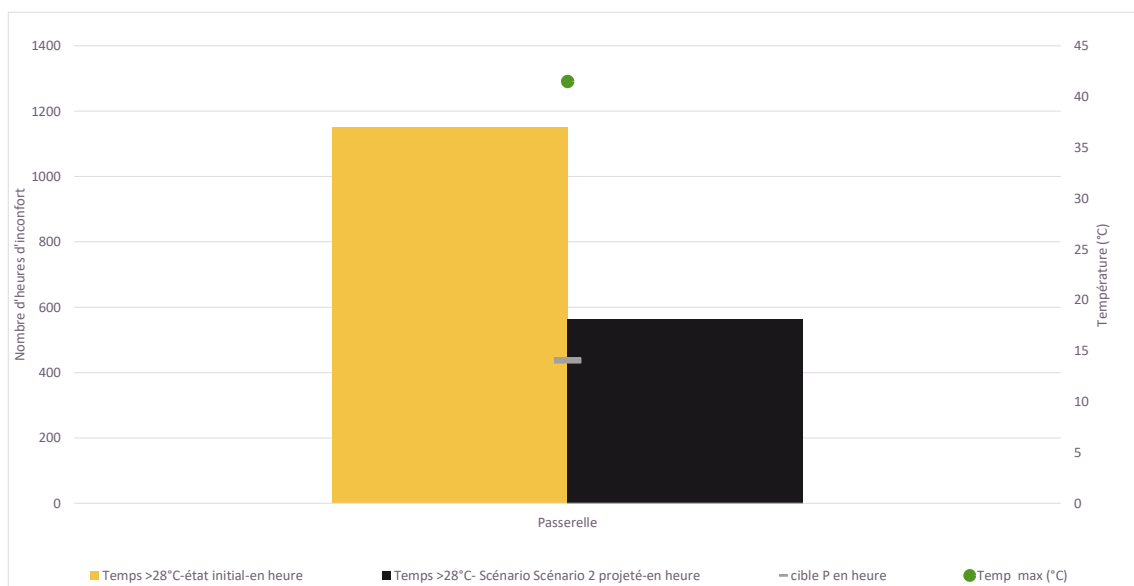
Commentaires :

- > L'inconfort dans la passerelle diminue de 30% en moyenne après les interventions proposées dans le scénario 1.
- > La température maximale atteinte est également plus faible après le scénario 1, passant de 48°C en état initial à 43°C.
- > Le scénario 1 ne permet pas de tendre vers l'objectif ambitieux d'un taux d'inconfort inférieur à 5% en passant de 13% à 10%.
- > L'étude ayant été réalisée avec un fichier météo *caniculaire*, les résultats sont donc volontairement défavorables.
- > A titre de comparaison, la simulation a été réalisée avec un fichier météo *Bordeaux moyen*, ce qui entraîne un taux d'inconfort moyen inférieur à 6% ce qui est très satisfaisant.

5.1.9 Scénario 2 : Optimisation globale

Le scénario 2 reprend les interventions simulées suivantes :

- > Intervention 2 : Isolation du plancher haut
- > Intervention 3 : Remplacement du film solaire côté extérieur
- > Intervention 5 : Mise en place d'allèges non isolées
- > Intervention 6 : Mise en place d'une ventilation automatisée



Scénario 2- Evolution du nombre d'heure d'inconfort ($T > 28^{\circ}\text{C}$)

Commentaires :

- > L'inconfort dans les zones étudiées diminue de 50% en moyenne après les interventions proposées dans le scénario 2 d'amélioration du confort d'été.
- > La température maximale atteinte est également plus faible après le scénario 2, passant de 48°C en état initial à $41,5^{\circ}\text{C}$.
- > Le scénario permet de tendre vers l'objectif ambitieux d'un taux d'inconfort inférieur à 5% en passant de 13% à 6%.
- > L'étude ayant été réalisée avec un fichier météo *caniculaire*, les résultats sont donc volontairement défavorables.
- > A titre de comparaison, la simulation a été réalisée avec un fichier météo *Bordeaux moyen*, ce qui entraîne un taux d'inconfort moyen de 3,5% ce qui est très satisfaisant contre 6% avec le fichier météo utilisé lors de l'état initial.

5.1.10 Synthèse des simulations

Les tableaux ci-dessous récapitulent les interventions et gains sur le confort estival :

| | | Isolation du plancher bas sur extérieur | Isolation du plancher haut | Remplacement du film solaire côté extérieur | Remplacement de la façade rideau avec allèges pleines isolées et mise en place de double vitrage | Mise en place d'allèges maçonnées | Mise en place d'une aération automatisée | Variante - Vitrage Immobile | Scénario 1 | Scénario 2 |
|--------------------------------|--------------|---|----------------------------|---|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|------------|------------|
| Taux d'inconfort | Etat initial | Intervention 1 | Intervention 2 | Intervention 3 | Intervention 4 | Intervention 5 | Intervention 6 | Intervention 7 | Scénario 1 | Scénario 2 |
| Passerelle | 13.2% | 15.3% | 12.6% | 11.1% | 15.3% | 14.7% | 9.8% | 14.1% | 10.1% | 6.5% |
| Température maximale °C | Etat initial | Intervention 1 | Intervention 2 | Intervention 3 | Intervention 4 | Intervention 5 | Intervention 6 | Intervention 7 | Scénario 1 | Scénario 2 |
| Passerelle | 48.3 | 50.0 | 46.6 | 46.2 | 47.7 | 48.4 | 46.2 | 47.9 | 43.9 | 41.5 |

6 CONCLUSION DE L'ETUDE

Le passerelle a été construite en 1991 sur une structure de type façade rideau entièrement vitrée montée sur une ossature métallique. Ce mode constructif montre aujourd'hui ses limites et des faiblesses en termes de confort des occupants, de performance thermique et de qualité environnementale. Quel que soit la saison, le confort des occupants n'est pas optimal. Son manque d'inertie, de ventilation/aération et sa surface vitrée trop importante induisent un taux d'inconfort important et une montée en température conséquente.

Le scénario 1, à minima, permet de diminuer les apports solaires provenant du plancher haut (paroi recevant le plus d'heure d'ensoleillement) mais également au niveau des menuiseries en mettant en place un film solaire plus efficace côté extérieur.

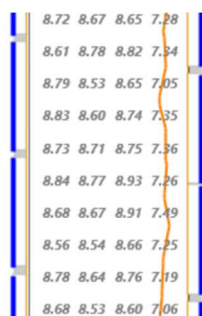
Le scénario 2 est cumulatif au scénario 1. La surface vitrée est également diminuée en allège avec l'intervention 5 ce qui fait grandement diminuer les apports solaires. Conjointement à cela, une mise en place de 16 menuiseries ouvrantes double vitrage plus performantes permet l'évacuation de la chaleur en période nocturne. A noter que l'ouverte en journée de ces dernières va créer un courant d'air améliorant le ressenti des usagers. Ce scénario atteint un taux d'inconfort de 6% au lieu de 13% à l'état initial.

A noter que ce scénario permettra également de **diminuer de 40% les déperditions de la passerelle**, entraînant une diminution des consommations énergétiques liées au chauffage.

Afin de s'assurer que le scénario 2 ne dégrade pas **l'éclairage naturel de la passerelle** avec la mise en place d'allèges pleines maçonneries, nous avons réalisé un **calcul FLJ** en état initial et après le scénario 2.

Le FLJ, ou le Facteur Lumière du Jour, est l'indicateur le plus répandu d'appréciation de la qualité de l'éclairage naturel d'un local. Le FLJ exprime le ratio entre l'éclairement intérieur en un point du plan de référence (en général le plan de travail ou le sol) et l'éclairement extérieur horizontal en site dégagé sous condition de ciel couvert dit CIE. Le FLJ s'exprime en pourcentage. Le FLJ traduit les conditions jugées les plus défavorables puisqu'il rend compte des performance d'un local sous des conditions de ciel couvert.

Le FLJ du scénario 2 est impacté avec la mise en place des allèges pleines mais reste plus que satisfaisant pour une circulation. Pour information, le FLJ moyen recommandé dans une circulation est de 2 à 5% en fonction du référentiel utilisé. A l'état initial le FLJ moyen est de 14%, et il est de 8% après le scénario 2 ce qui est bien au-dessus des recommandations.



FLJ Moyen – Scénario 2

7 ANNEXES

7.1 Grandeurs utiles au diagnostic

7.1.1 Lexique de quelques abréviations

| | |
|-----------------|---|
| BBC | Bâtiments Basse Consommation |
| DF | Double Flux |
| DV | Double Vitrage |
| EF, EP | Energie Finale, Energie Primaire (kWh) |
| ECS | Eau Chaude Sanitaire |
| EnR | Energies Renouvelables |
| DJU | Degrés Jours Unifiés |
| GTB/GTC | Gestion Technique de Bâtiment/ Gestion Technique Centralisée |
| K | Degrés Kelvin |
| LBC | Lampe Basse Consommation |
| PCI, PCS | Pouvoir Calorifique Inférieur, Pouvoir Calorifique Supérieur |
| PSE | Polystyrène expansé |
| R | Résistance thermique des matériaux ($m^2.K/W$) |
| RT | Réglementation Thermique |
| SF | Simple Flux |
| SV | Simple Vitrage |
| Sw | Facture solaire |
| RDC | Rez-de-chaussée |
| TI | Transmission lumineuse |
| U | Coefficient de transmission surfacique global de la paroi ($W/m^2.K$) |
| V3V | Vanne 3 Voies |
| VMC | Ventilation Mécanique Contrôlée |