



# Travail de fin d'études pour le diplôme d'ingénieur de l'École nationale des travaux publics de l'État

---

Année 2023-2024

Voie d'approfondissement :  
BAT

Soutenu le 05 septembre 2024

Devant le jury composé de :

- Président du Jury : Sophie Jost
- Tuteur : Loïc Martin
- Expert : Bassam Moujalled

Par

**Erwan GRASSET**

**Création d'un outil d'estimation des consommations à  
partir d'une base de données de résultats de  
simulations énergétiques dynamiques et variantes  
paramétriques permettant de limiter le temps d'étude  
en phase amont (concours / appel d'offre)**

Organisme d'accueil :

**KATENE**



# Notice analytique

AUTEUR			
Nom	Grasset		
Prénom	Erwan		
ORGANISME D'ACCUEIL			
Nom de l'organisme et Localité	KATENE		
Nom du Tuteur	Loïc Martin		
ANALYSE DU TFE			
Titre (français)	Création d'un outil d'estimation des consommations à partir d'une base de données de résultats de simulations énergétiques dynamiques et variantes paramétriques permettant de limiter le temps d'étude en phase amont (concours / appel d'offres)		
Titre (anglais)	Creation of a consumption estimation tool from an energetic simulation data base and parametric studies to decrease the amount of time in pre-phase studies		
Résumé (français)	Les simulations thermiques et énergétiques sont cruciales pour remporter un concours, mais elles sont chronophages. En étudiant des bâtiments déjà simulés, un outil d'estimation des consommations par poste a été développé pour accélérer ce processus. Cet outil se compose de deux parties : un outil rapide et fiable pour des estimations préliminaires, et un outil d'assistance avec des hypothèses prédéfinies permettant ainsi d'estimer les besoins et consommations bien plus rapidement qu'une simulation classique.		
Résumé (anglais)	Thermal and energy simulations are important for winning a bid but are time-consuming to get. By studying already simulated buildings, a tool was developed to estimate energy by category, streamlining the process. This tool is divided in two parts: a quick and reliable estimation tool for preliminary assessments, and an assistance tool with predefined assumptions, allowing for much faster estimation of energy needs and consumption compared to traditional simulations.		
Mots-clés (français, 5 maxi)	Simulation, énergétique, thermique, consommation		
Mots-clés (anglais, 5 maxi)	Simulation, energetic, thermic, consumption		
Termes géo-graphique (français)	France, Europe		
COLLATION			
	Nb de pages	Nb d'annexes (nb de pages)	Nb de réf. biblio.
	54	26	26

# Déclaration de travail personnel

---

Je déclare que ce rapport constitue l'aboutissement d'un travail personnel et ne peut être suspecté de plagiat.

Le travail présenté distingue explicitement ce que j'ai produit de ce que j'ai emprunté à d'autres. A ce titre, les citations sont clairement identifiables et les sources (écrits, images) qui ont alimenté ma réflexion sont référencées.

# Remerciements

---

Je remercie l'intégralité de KATENE pour leur accueil et leur bienveillance.

Je tiens également à remercier Loïc Martin, Vincent Morelle et Ingrid Guillerminet pour leur suivi méthodologique, bienveillant et efficace.

Je remercie toutes les personnes ayant pris le temps de m'accorder des entretiens concernant mon stage pour m'aider dans mes différentes analyses : Ingrid Guillerminet, René Ramos et Philippe Lemot.

# Sommaire

---

Notice analytique .....	2
Déclaration de travail personnel .....	3
Remerciements.....	4
Sommaire .....	5
Liste des abréviations .....	7
Table des figures .....	9
<b>Introduction.....</b>	<b>11</b>
Cadre du stage de fin d'études.....	11
Les concours/ appels d'offre, contexte.....	12
Outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment : méthodologie.....	15
<b>1. Analyse d'une BDD de résultats SED.....</b>	<b>15</b>
1.1 Descriptif bref des bâtiments étudiés .....	16
1.1.1 Kennedy .....	16
1.1.2 Limoges.....	16
1.1.3 Villefontaine.....	17
1.1.4 IVD bâtiment H et G .....	18
1.2 Analyse des consommations par poste .....	18
1.2.1 ECS.....	19
1.2.2 Eclairage.....	21
1.2.3 Bureautique.....	23
1.2.4 Auxiliaires hydrauliques .....	24
1.2.5 Auxiliaires aérauliques.....	26
1.2.6 Chauffage et refroidissement .....	28
1.2.7 Synthèse des analyses des consommations par poste.....	30
<b>2. Création d'un modèle à Varianter et étude de ses variantes .....</b>	<b>31</b>
2.1 Présentation du modèle modifié (modèle V0) .....	31
2.2 Validation des hypothèses et résultats de la V0 .....	32
2.3 Variantes simulées et étudiées à partir de la maquette OEC .....	33
2.3.1 V1 – SF uniquement.....	33
2.3.2 V2 – Température de chauffage .....	34
2.3.3 V3 – Apports internes.....	35
2.3.4 V4 - Compacité .....	36

2.3.5	V5 – Uw fenêtres.....	38
2.3.6	V6 – Imperméabilité à l'air du bâtiment .....	39
2.3.7	V7 – Ventilation .....	40
2.3.8	V8 – Vitrages .....	41
2.3.9	V9 – Résistance thermique des parois.....	43
2.3.10	V10 – Température de refroidissement .....	44
2.3.1	Conclusion des résultats des différentes variantes.....	45
<b>3.</b>	<b>OEC : Outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment type bureaux.....</b>	<b>48</b>
3.1	Outil d'estimation des consommations rapide .....	48
3.2	Outil d'estimation des consommation : assistance logiciel.....	50
3.3	Validation de l'outil et écarts avec les sorties logiciel.....	50
	<b>Conclusion.....</b>	<b>52</b>
	Bibliographie.....	54
	Annexes .....	56

# Liste des abréviations

---

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

ALJ : Autonomie en lumière du jours

BBC : Bâtiment basse consommation

BDD : Base de données

BET : Bureau d'études

BREEAM : Building research establishment environmental assessment method

BSO : Brise soleil orientable

CEREMA : Centres d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CH : Chaud

COP : Coefficient de performance

CREM : Marché de conception, de réalisation, d'exploitations ou maintenance

CVC : Chauffage ventilation et climatisation

DCE : Dossier de consultation des entreprises

DEET : Décret éco énergie tertiaire

DET : Direction de l'exécution ou des contrats de travaux

DF : Double flux

ECS : Eau chaude sanitaire

EDF : Electricité de France

EFS : Eau froide sanitaire

ELEC : Electricité

ERP : Etablissement recevant du public

FLJ : Facteur de lumière du jour

FR : Froid

HT : Hors taxe

ICU : Ilot de chaleur urbain

MGP : Marché global de performance énergétique

OEC : Outil d'estimation des consommations

PAC : Pompe à chaleur

QEB : Qualité environnement bâtiment

RDC : Rez de chaussée

REM : Marché de réalisation et d'exploitation ou maintenance

RT2012 : Réglementation thermique 2012

SCOP : Société coopérative de production

SDR : Salle de réunion

SED : Simulation énergétique dynamique

SF : Simple flux

SFPv : Specific fan power ventilation

STD : Simulation thermique dynamique

TFE : Travaux de fin d'études

VMC : Ventilation mécanique contrôlée

VRV : Volume de réfrigérant variable

# Table des figures

---

Figure 1 : Etude FLJ sur un laboratoire .....	11
Figure 2 : Etude FLJ sur un des laboratoires .....	11
Figure 3 : Plan de masse bioclimatique sur une piscine (Marseille, Bougainville) .....	12
Figure 4 : Schéma de la loi MOP .....	13
Figure 5 : Tableaux non exhaustif des bâtiments étudiés et de leurs consommations par poste	16
Figure 6 : Modélisation sous Pléiades du projet Kennedy .....	16
Figure 7 : Modélisation sous Pléiades de Limoges .....	17
Figure 8 : Modélisation sous Pléiades de Villefontaine .....	18
Figure 9 : Aperçu du bâtiment H / G d'IVD .....	18
Figure 10 : Tableau des besoins de Villefontaine .....	19
Figure 11 : Calcul des besoins de Villefontaine .....	19
Figure 12 : Conversion des besoins en consommation (rendement de 85%) .....	20
Figure 13 : Résultats des études de FLJ de Limoges .....	22
Figure 14 : Paramétrage de l'éclairage des bureaux dans le projet Limoges .....	22
Figure 15 : Puissances et énergies dissipées en bureautique dans le projet Villefontaine.....	24
Figure 16 : Méthode de calcul des consommations en auxiliaires hydrauliques de Kennedy .....	25
Figure 17 : Consommation en auxiliaire hydrauliques de Kennedy .....	25
Figure 18 : Consommation en auxiliaires hydrauliques des différents projets .....	25
Figure 19 : Débits requis dans différents types de bâtiments tertiaires .....	26
Figure 20 : Tableaux des paramètres pris en compte pour la consommation en ventilation.....	27
Figure 21 : Paramètres non exhaustifs impactants sur les consommations en CH et en FR .....	28
Figure 22 : Paramètres pris en compte pour les consommations en chauffage et en refroidissement .....	29
Figure 23 : Consommation en CH et en FR des différents projets .....	29
Figure 24 : Boîtes à moustache des différentes consommations par poste de la BDD SED .....	31
Figure 25 : aperçu général de la maquette (modèle Pléiades initial) .....	32
Figure 26 : Détail des pièces de la maquette avant modification .....	32
Figure 27 : Détail des pièces de la maquette après modification .....	32
Figure 28 : besoins en CH et en FR calculés avec Pléiades .....	33
Figure 29 : Graphique des différences des besoins en fonction de la température de chauffage	35
Figure 30 : Graphique des différences des besoins en fonction de l'occupation .....	36
Figure 31 : Calcul de la compacité en fonction du nombre d'étages .....	37
Figure 32 : Graphique des différences des besoins en fonction de la compacité du bâtiment .....	38
Figure 33 : Graphique des différences des besoins en fonction de Q4 .....	40
Figure 34 : Graphique des différences des besoins en fonction de la ventilation .....	41
Figure 35 : exemple d'erreur dans Pléiades (fenêtres en conflits avec les parois).....	42
Figure 36 : Graphique des différences des besoins en fonction de l'indice d'ouverture .....	42
Figure 37 : Graphique des différences des besoins en fonction de Up murs .....	43
Figure 38 : Résistances thermiques conseillées dans un projet de MGP .....	44
Figure 39 : Graphique des différences des besoins en fonction de la température de refroidissement .....	44
Figure 40 : Besoins contemporains et prévisions 2050 RCP 4.5 en CH et en FR de différentes villes .....	46
Figure 41 : Boite à moustache des besoins en CH et en FR des fichiers météo .....	46

Figure 42 : Synthèse des besoins en CH et en FR des différentes variantes d'OEC .....	47
Figure 43 : Boîtes à moustache des besoins en CH et en FR des différentes variantes d'OEC.....	47
Figure 44 : Paramètres fixes dans l'outil d'estimation des consommations rapides .....	49
Figure 45 : Démonstration d'OECr .....	49
Figure 46 : Démonstration de l'interface d'assistance logiciel .....	50
Tableau 1: Tableau des paramètres pris en compte pour la consommation en ECS.....	20
Tableau 2 : Tableau des paramètres pris en compte pour la consommation en éclairage.....	23
Tableau 3 : Consommation en bureautique des différents projets .....	24
Tableau 4 : Exemple d'équipements utilisés pour des projets de la BDD SED .....	30
Tableau 5 : Récapitulatif des besoins et des consommations de la modélisation V0 .....	33
Tableau 6 : Différence des besoins de V1 par rapport à V0 .....	34
Tableau 7 : Différences des besoins de V2 par rapport à V0 .....	34
Tableau 8 : Différences des besoins de V3 par rapport à V0 .....	36
Tableau 9 : Différences des besoins de V4 par rapport à V0 .....	37
Tableau 10 : Différences des besoins de V5 par rapport à V0 .....	38
Tableau 11 : Graphique des différences des besoins en fonction de Uw .....	39
Tableau 12 : Différences des besoins de V6 par rapport à V0 .....	40
Tableau 13 : Différences des besoins de V7 par rapport à V0 .....	41
Tableau 14 : Différences des besoins de V8 par rapport à V0 .....	42
Tableau 15 : Différences des besoins de V9 par rapport à V0 .....	43
Tableau 16 : Différences des besoins de V10 par rapport à V0 .....	44
Tableau 17 : Différence absolue des consommations en CH et en FR de V2 et V10 .....	45
Tableau 18 : Comparaison des besoins en chaud entre Pléiades et OEC (fichiers météo).....	50
Tableau 19 : Comparaison des besoins en FR entre Pléiades et OEC (fichiers météo) .....	51
Tableau 20 : Comparaison des besoins en CH entre Pléiades et OEC (Ventilation).....	51
Tableau 21 : Comparaison des besoins en FR entre Pléiades et OEC (ventilation).....	51

# Introduction

## Cadre du stage de fin d'études

J'ai réalisé ce stage portant sur mes travaux de fin d'études chez KATENE. C'est un BET dans lequel sont présent plusieurs pôles (CVC, DET, ELEC) dont le pôle QEB dans lequel j'ai effectué mon stage. Katene regroupe une quarantaine de personnes dont une trentaine de salariés à Woopa, à Vaulx-en-Velin, un bâtiment à énergie positive, et une dizaine de salariés à Aix-en-Provence. Katene est une SCOP et fait partie de Quadriplus groupe, un groupement commercial comprenant six bureaux d'études. Quadriplus et tous ses bureaux d'études qui le constituent ont pour but de construire et de maîtriser les impacts environnementaux de leurs projets<sup>1</sup>.

Ce stage vient finaliser mon diplôme d'ingénieur. J'ai pu effectuer celui-ci au sein de KATENE, dans le pôle QEB. Ce pôle réalise de nombreuses études de maîtrise d'œuvre en lien avec le bâtiment, sa consommation, son impact carbone et le confort des utilisateurs. J'ai participé à des missions de production en parallèle de mon stage, en réalisant notamment des études de FLJ, des héliodons et des études d'ICU.

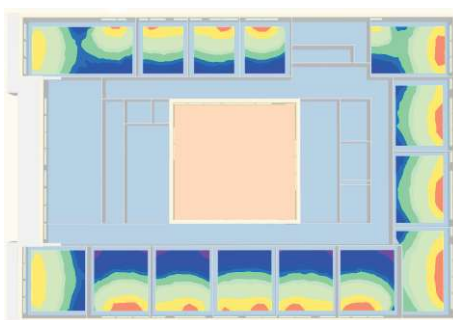


Figure 1 : Etude FLJ sur un laboratoire

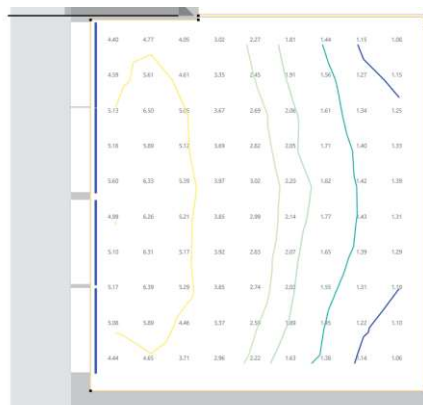


Figure 2 : Etude FLJ sur un des laboratoires

---

<sup>1</sup> Quadriplus groupe, « Ensemble, les associés couvrent le territoire dans toutes les spécialités de l'Ingénierie du bâtiment. Ils développent notamment leurs compétences en s'investissant dans une démarche de Qualité Environnementale aidant ainsi les partenaires de l'acte de construire à maîtriser les impacts de leurs constructions sur l'environnement tant extérieur qu'intérieur », disponible sur : <https://quadriplus-groupe.com/>

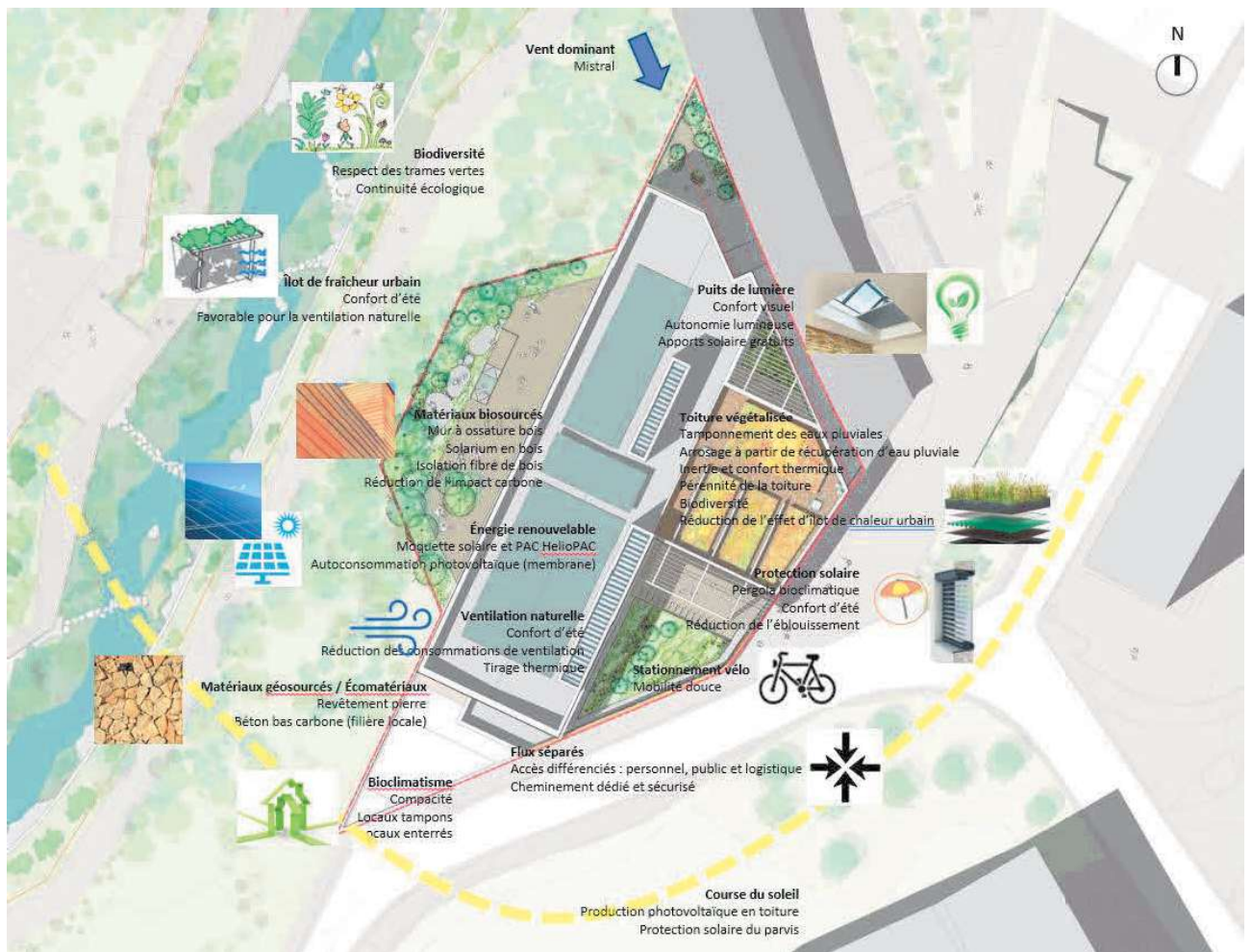


Figure 3 : Plan de masse bioclimatique sur une piscine (Marseille, Bougainville)

Quant à mon sujet de stage, il concernait la création d'un outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment. Mon stage a concerné uniquement les bureaux, de futures recherches à partir de mes travaux aideront probablement à développer l'outil sur les autres types de bâtiments existants (logements, groupes scolaires...).

Ainsi, ce TFE se concentre sur le sujet des différents types de consommation des bâtiments et la création d'un outil d'estimation, une alternative permettant de fortement réduire le temps d'étude nécessaire pour réaliser une SED pour un bâtiment type dans le cadre d'une étude en phase amont comme les concours ou encore les appels d'offres dans les marchés globaux de performance énergétique.

## Les concours/ appels d'offre, contexte

Dans un BET, la plupart des missions réalisées sont issues de réponses à des appels d'offres (marchés publics) ou encore des concours / mises en concurrence (marché privés). Ces derniers

ont pour but de choisir l'offre qui conviendra le mieux d'un point de vue financier, technique, écologique ou encore en termes de performances énergétiques. Un appel d'offres se déroule en plusieurs étapes<sup>2</sup>. Dans un premier temps, l'entreprise acheteuse définit les attentes et les besoins du projet. Elle établit ensuite le dossier de consultation des entreprises (DCE), ce document doit expliquer la nature de l'entreprise (statut et dirigeants, activités, réalisations, ...), les raisons qui l'ont amenée à établir cet appel d'offre, la description des besoins et des attentes, les modalités des procédures, et les différentes dates d'échéances (date limite de réception de l'offre, date de prise de décision, date de la commande et date de livraison). Après avoir réalisé le DCE, l'entreprise intéressée doit dépouiller les offres. C'est l'étape la plus complexe et la plus laborieuse, cette étape consiste à évaluer la pertinence de chaque proposition sur plusieurs points (techniques, économiques, écologiques...), la plus grande difficulté de cette étape réside dans la compréhension des documents tant sur le point technique que rédactionnel (les critères de notation sont définis dans le règlement de consultation). Bien que le prix soit un critère important, ce n'est pas l'unique critère qui sera retenu, l'entreprise intéressée devra alors décider en fonction des offres proposées. Et finalement viennent les négociations puis le passage de la commande. Les négociations permettent à ceux ayant répondu au marché de défendre de vive voix leurs propositions en précisant ou en apportant des précisions. Les négociations permettent également d'entamer les négociations sur le prix et les conditions contractuelles. Le passage de la commande quant à lui permet d'établir un contrat entre le groupement ayant remporté le marché et de répondre aux groupements n'ayant pas été retenus le marché tout en expliquant les raisons qui ont amenées à choisir un groupement plutôt qu'un autre.

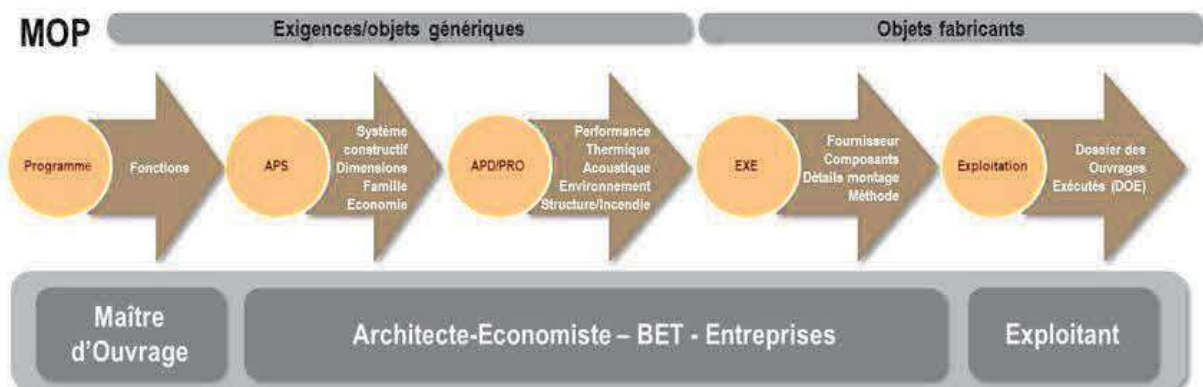


Figure 4 : Schéma de la loi MOP

Le BET dans lequel j'ai travaillé répond surtout à des MGP (marchés globaux de performance énergétique), les MGP répondaient auparavant aux noms de CREM (marchés de conceptions, de réalisation, d'exploitation ou maintenance) ou encore de REM (marchés de réalisation et d'exploitation ou maintenance). Ces derniers sont une sous-catégorie de marché et se déroulent

<sup>2</sup> Saqara, « La procédure d'appel d'offre en 5 étapes clés [...], définir les attentes et les besoins [...], établir le dossier de consultation [...], dépouiller les offres [...], négocier avec les fournisseurs [...], passer la commande », disponible sur : <https://saqara.com/blog/reussir-la-procedure-dappel-doffres-privé-en-5-etapes-cles>

de la même façon que les marchés publics et privés<sup>3</sup>. A la seule exception de l'obligation de performances énergétiques. En effet, si les exigences ne sont pas atteintes, ou si les résultats annoncés par les différents BET présentent une trop grande différence péjorative par rapport aux résultats prévus, le BET ayant indiqué des résultats erronés se verra payer des pénalités. Dans beaucoup d'études, on admet en général un certain coefficient de sécurité. Ce dernier permet effectivement de sécuriser les résultats indiqués, cependant un trop grand coefficient de sécurité peut venir déprécier la qualité d'un projet, tandis qu'un coefficient de sécurité moindre peut entraîner des pénalités pour non-respect des résultats annoncés. Il est donc important dans les études menées d'être suffisamment sûr de ses hypothèses et surtout savoir les justifier. On souligne donc l'importance des résultats et leurs précisions dans les différentes études menées dans les différents BET.

Dans les BET fluides / ou thermiques et dans le cadre d'un marché public ou privé, les STD / SED sont assez fréquentes (aux alentours de 30 % des études réalisées<sup>4</sup>). Ces études sont très importantes et permettent de savoir les impacts du bâtiment tant sur le plan performance énergétique ou du confort des occupants. Cependant, ces études sont peu rémunérées et le taux de réussite à ces concours est de l'ordre de 30 %, ce qui implique un risque financier important pour l'entreprise. Tandis que les appels d'offres durent entre environ 30 jours<sup>5</sup> et plusieurs mois (30 jours minimum pour un appel d'offre ouvert et 25 jours minimum pour un appel d'offre restreint), les STD et ou SED dans le cadre de MGP peuvent prendre deux à trois semaines en fonction du bâtiment. Réaliser une bonne STD ou SED est extrêmement long et ce en raison de différents paramètres qu'il faut prendre en compte. Modéliser le bâtiment en lui-même peut être chronophage (les projets sur lesquels j'ai travaillé vont d'environ 2000 m<sup>2</sup> à 11000 m<sup>2</sup>) modéliser les différentes cloisons au sein du bâtiment peut prendre beaucoup de temps, les différentes hypothèses indiquées également et surtout savoir les justifier (paramétrage des parois avec les natures d'isolant, leurs épaisseurs et les ponts thermiques, les menuiseries avec leurs différents paramètres, les différents scénarios comme l'occupation, la température, les puissances dissipées, l'occultation du bâtiment, sa ventilation, l'éclairage et bien d'autres). D'où les deux à trois semaines de travail pour réaliser une SED type. Cependant, il n'est pas rare de ne pas avoir accès à toutes les informations nécessaires ; il faut donc admettre certaines hypothèses si ces informations ne sont pas données (données fournies de base ou alors données en question / réponse).

---

<sup>3</sup> Matthieu Orphelin, « Les marchés globaux de performance permettent aux acheteurs d'associer l'exploitation [...] à la réalisation [...]. Le marché global de performance est une des catégories des marchés globaux. », disponible sur : [Marché global de perfo https://www.marche-public.fr/Marches-publics/Definitions/Entrees/Marche-global-performance.htm](https://www.marche-public.fr/Marches-publics/Definitions/Entrees/Marche-global-performance.htm) [mance code de la commande publique définition \(marche-public.fr\)](https://www.marche-public.fr/Marches-publics/Definitions/Entrees/Marche-global-performance.htm)

<sup>4</sup> Les STD et ou SED représentent 30% des études réalisées : ordre de grandeur des missions réalisées chez KATENE, cette valeur peut varier en fonction des BET.

<sup>5</sup> Code commande public, « La publication d'un avis de pré-information permet aux pouvoirs adjudicateurs de fixer un délai minimal de 15 jours pour la remise des dossiers en appel d'offres ouvert (au lieu de 35 jours). », disponible sur : <https://www.code-commande-publique.com/delais-de-reception-des-offres/>

Cependant, dans un appel d'offres / mise en concurrence, le risque de perdre est assez grand (un concours sur trois en remporté en moyenne<sup>6</sup>), donc mobiliser une personne sur une SED qui durera au moins la moitié de la durée de l'appel d'offre, sur un concours qui ne sera pas forcément gagné, représente un risque trop important. D'autant plus que d'autres études tout aussi intéressantes et moins chronophages auraient pu être réalisées, mettant davantage en valeur le projet. Cependant les STD/SED sont toutes aussi importantes voire même intéressantes pour mettre en valeur les solutions techniques apportées au projet. Il est donc important de trouver un moyen de réduire le temps nécessaire pour réaliser des STD/SED, d'où le questionnement suivant :

Comment concevoir un outil simple d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment, à partir de base de données de résultats de simulations énergétiques dynamiques et de variantes paramétriques, afin de réduire le temps d'étude en phase amont (concours / appel d'offre) ?

## **Outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment : méthodologie**

C'est donc dans cette optique que j'interviens dans le cadre de mon stage : la création d'un outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment. L'objectif est d'avoir un outil simple, où l'on entre tous les paramètres les plus impactants sur les consommations d'un bâtiment, et d'avoir une estimation des consommations par poste en peu de temps. Le but est de fournir une estimation en limitant les incertitudes pour répondre aux besoins des MGPE. Dans le cas où les incertitudes seraient trop importantes, des pénalités pourraient s'appliquer au BET en raison de consommations plus importantes que ce qu'elles sont en réalité.

Dans un premier temps, nous avons étudié uniquement les consommations par poste de différents bureaux simulés grâce à Pléiades. En effet, chaque usage de bâtiment est spécifique, un logement aura des besoins complètement différents de ceux d'un bureau, d'un établissement scolaire, etc. La plupart des appels d'offres de KATENE concernent surtout des bureaux, d'où ce choix.

Après avoir analysé les consommations par poste de différents bâtiments modélisés grâce à Pléiades, il a été possible d'établir un intervalle de consommation pour chaque poste du bâtiment. Ensuite, à partir d'une maquette type bureau, des études paramétriques ont pu être réalisées à partir de plusieurs variantes. A partir de ces dernières, j'ai pu analyser les résultats et les comparer au modèle de base dans le but de créer mon outil.

### **1. Analyse d'une BDD de résultats SED**

La première partie consiste en l'analyse d'une BDD de résultats de différents bâtiments, tous différents les uns des autres. L'analyse de cette BDD permet d'avoir une première approche sur les notices environnementales ainsi que les simulations réalisées, elle permet également d'obtenir une première estimation des intervalles de consommations des différents postes d'un bâtiment type bureaux. Dans le cas contraire, j'aurais pu réaliser un modèle type avec ses variantes et avoir des résultats complètement différents de la réalité voire complètement faux.

---

<sup>6</sup> Un concours sur trois gagné : estimation grosse maille donné par le BET KATENE.

Postes de consommation	Kennedy		Villefontaine		Limoges		Crous Madeleine Bureaux/logements		Sauvegarde (ESTIM Sans calcul précis)	
	kWhef/m <sup>2</sup>	kWhep/m <sup>2</sup>	kWhef/m <sup>2</sup>	kWhep/m <sup>2</sup>	kWhef/m <sup>2</sup>	kWhep/m <sup>2</sup>	MWh Ef/an	MWh Ep/an	Wh/m <sup>2</sup> SDI	Wh/m <sup>2</sup> SDI
Chauffage du bâtiment	46	46	16.6	42.8	17.4	35.1	30.2	30.1	35.0	35.0
Refroidissement du bâtiment et de locaux spécifiques à l'exclusion des salles serveur	3	8	2.3	5.9	0.2	0.6	1.0	1.0	5.0	12.9
Auxiliaires Hydrauliques de chauffage et rafraichissement	4	10	0	0	1	2.6	3.5	8.1	3.0	7.7
Auxiliaires Aérauliques (ventilateurs, ...)	14	31	8.5	21.9	2.6	6.8	7.2	16.6	8.0	20.6
Eclairage de tous types										
Eclairage extérieur	11	26					8.1	18.6	15.8	55.8
Eclairage parkings			12.6	32.5	7.4	19.2				
ECS	3	7	4.3	11.094	1.5	4	23.8	24.8	6.1	10.0
Bureautique + Divers	25	58	15	38.7	6.1	15.6			22.5	58.1
<b>Total</b>	<b>107.0</b>	<b>186.1</b>	<b>59.3</b>	<b>153.0</b>	<b>36.2</b>	<b>83.9</b>	<b>74</b>	<b>99</b>	<b>97.9</b>	<b>191.5</b>

Figure 5 : Tableaux non exhaustif des bâtiments étudiés et de leurs consommations par poste

## 1.1 Descriptif bref des bâtiments étudiés

### 1.1.1 Kennedy

Ce bâtiment, d'un peu plus de 10000 m<sup>2</sup> principalement constitué de bureaux avec un amphithéâtre au R-1 (représentant environ 3 % de la superficie du bâtiment), et une salle de restauration de type cantine au RDC (environ 6 % du bâtiment). Il se situe à Bourg-en-Bresse, en zone H1 selon la RT2012<sup>7</sup>. C'était un projet de rénovation thermique qui visait le label Effinergie BBC rénovation.

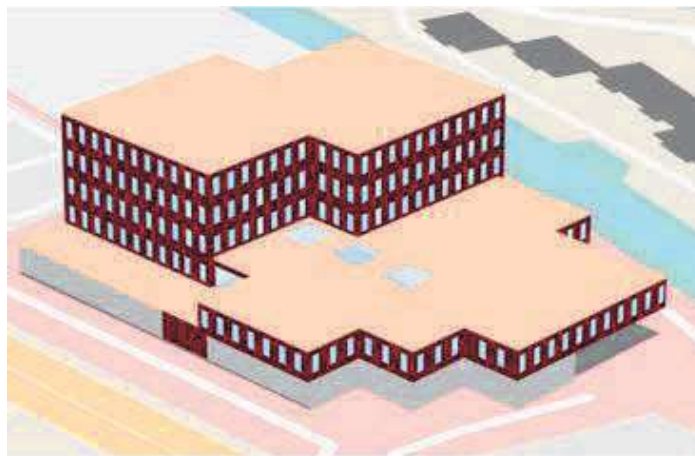


Figure 6 : Modélisation sous Pléiades du projet Kennedy

### 1.1.2 Limoges

Bureaux d'un peu plus de 9 000 m<sup>2</sup> avec une zone d'archives (environ 6 % de la superficie totale), et une zone de repas (environ 8 % du bâtiment). Le bâtiment est situé à Limoges, toujours en

<sup>7</sup> Carte RT2012 : <http://observatoire.rt-2012.com/>

zone H1 selon la RT2012. Ce projet était également un projet de rénovation, le but était d'atteindre le DEET 2040<sup>8</sup>.



**Figure 7 : Modélisation sous Pléiades de Limoges**

### **1.1.3 Villefontaine**

C'est une mairie composée principalement de bureaux, il y a très peu de salles de réunion alors qu'un bureau classique contient entre 15 % minimum et 30% maximum de salles de réunion<sup>9</sup>. Le bâtiment possède une salle de restauration où les employés peuvent manger, cette salle représente 2 % de la superficie totale chauffée. Le bâtiment contient également deux salles de mariage/de réception qui représentent près de 17% du bâtiment. Ce bâtiment a été rénové à la suite d'une manifestation où une des façades avait été partiellement brûlée.

---

<sup>8</sup> EDF, « Le dispositif Eco Energie Tertiaire (DEET) également appelé « décret tertiaire », impose une réduction des consommations énergétiques progressives pour les bâtiments tertiaires. Cette nouvelle réglementation vise à économiser 60% d'énergie finale dans ces bâtiments à l'horizon 2050. », disponible sur : <https://www.edf.fr/entreprises/le-mag/le-mag-entreprises/decryptage-du-marche-de-l-energie/tout-savoir-sur-le-decret-tertiaire-obligations-et-solutions-pour-reduire-vos-consommations-d-energie>

<sup>9</sup> Pourcentage de SDR dans des bureaux: 15% minimum à 30% maximum (ODG des projets chez KATENE).



Figure 8 : Modélisation sous Pléiades de Villefontaine

#### 1.1.4 IVD bâtiment H et G

IVD est un groupement de plusieurs bâtiments ayant différents usages. J'ai donc concentré mes études uniquement sur les bâtiments H et G. Ces derniers concernaient principalement des bureaux neufs. Les deux bâtiments sont identiques (compacité, répartition bureaux et SDR, aménagement intérieur). La seule différence réside dans les équipements du bâtiment en termes de chauffage, de refroidissement et de ventilation. Le bâtiment contient une salle de restauration, comme dans la mairie de Villefontaine.



Figure 9 : Aperçu du bâtiment H / G d'IVD

## 1.2 Analyse des consommations par poste

J'avais à ma disposition des tableaux regroupant les consommations par poste de différents bâtiments en énergie finale et en énergie primaire, tous ces bâtiments ont été simulés grâce à Pléiades ou TRNSYS. J'ai pu analyser les notices environnementales et les modèles réalisés sur Pléiades pour établir les paramètres impactants sur les différentes consommations possibles (chauffage, rafraîchissement, auxiliaires, éclairage, ECS, bureautique et divers).

### 1.2.1 ECS

J'ai commencé par analyser les consommations les plus faciles à expliquer, pour ensuite aborder les sorties les plus complexes à traiter. L'ECS est une consommation assez simple à calculer car il n'y a pas beaucoup de paramètres d'entrée et surtout, une première estimation permet d'obtenir une consommation électrique en ECS proche de la réalité.

Voici donc les données que j'ai récoltées via les notices environnementales, les SED ou encore les différents tableurs permettant de calculer les consommations par poste.

Voici un exemple avec la mairie de Villefontaine :

		Besoin énergétique		
	Surface	Chauffage	ECS	Climatisation
Projet ( A)	1 826 m <sup>2</sup>	98 643 kwh/an	6 732 kwh/an	7 663 kwh/an
Guichet Unique ( B)	746 m <sup>2</sup>	35 733 kwh/an	2 750 kwh/an	4 832 kwh/an
<b>Total (A+B)</b>		<b>134 376 kwh/an</b>	<b>9 482 kwh/an</b>	<b>12 495 kwh/an</b>

Figure 10 : Tableau des besoins de Villefontaine

Les besoins ont été séparés en deux blocs (Projet (A) et Guichet unique (B)), ces derniers ne prennent en compte que la superficie du bâtiment et aucun autre paramètre. En examinant les calculs réalisés dans ces cellules, j'ai pu voir les paramètres pris en compte pour calculer les besoins en ECS.

		Besoin énergétique		
	Surface	Chauffage	ECS	Climatisation
		98 643 kwh/an	$L24 \cdot N24 \cdot Q24 \cdot 1.16 \cdot 10^{-3}$	7 663 kwh/an
		35 733 kwh/an	2 750 kwh/an	4 832 kwh/an
		<b>134 376 kwh/an</b>	<b>9 482 kwh/an</b>	<b>12 495 kwh/an</b>

	nbr eleves	l/j 40°C	nbres jour/an	Delta T
Effectif	93	744	260	30

Figure 11 : Calcul des besoins de Villefontaine

Après avoir obtenu les besoins, j'ai pu les convertir en consommation<sup>10</sup> en kWh/m<sup>2</sup>. Les pertes sont principalement dues aux ballons électriques décentralisés, qui ont un rendement de 85%.

<sup>10</sup> Les besoins représentent l'énergie nécessaire à fournir pour obtenir ce dont souhaite l'utilisateur. Les consommations représentent l'énergie consommée + les pertes dues aux différents systèmes.

Besoin énergétique	
Chauffage	ECS
98 643 kwh/an	6 732 kwh/an
35 733 kwh/an	2 750 kwh/an
<b>134 376 kwh/an</b>	<b>9 482 kwh/an</b>

Consommation énergétique	
Chauffage	ECS
31 315 kwh/an	7 920 kwh/an
11 344 kwh/an	3 236 kwh/an
<b>42 659 kwh/an</b>	<b>11 155 kwh/an</b>
16.6	4.3

Figure 12 : Conversion des besoins en consommation (rendement de 85%)

J'ai donc analysé tous les calculs réalisés ainsi que les données indiquées sur les notices environnementales et les simulations sur Pléiades. J'ai pu établir un tableau récapitulatif de tous les paramètres de sortie et d'entrée que voici :

#### Conclusion consommation en ECS:

	<b>Kennedy (9800m<sup>2</sup>)</b>	<b>Limoges (9330m<sup>2</sup>)</b>	<b>Villefontaine (2572m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD G (2377 m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD H (3799m<sup>2</sup>)</b>
<b>Température EFS</b>	10°C	10°C	10°C	10°C	10°C
<b>Température ECS</b>	40°C	40°C	40°C	40°C	40°C
<b>Consommation [L/j/personne]</b>	8	4	8	ECS que pour les douches	ECS que pour les douches
<b>Nombre d'occupants</b>	370	352	93	95	152
<b>Moyen de production</b>	Ballons électriques, décentralisé (0.9)	Ballons électriques, décentralisé (0.9)	Ballons électriques, décentralisé (0.85)	Ballons électriques, décentralisé	Ballons électriques, décentralisé
<b>Consommation [kWh/m<sup>2</sup>]</b>	3	1.5	4.3	1	1

Tableau 1: Tableau des paramètres pris en compte pour la consommation en ECS

La consommation en ECS dépend de plusieurs paramètres, elle est proportionnelle à la différence de température entre l'ECS et l'EFS, la consommation d'eau en L/jour/occupant, le nombre de personnes et le moyen de production. L'expression permettant de calculer la consommation en ECS d'un bâtiment en kWh/m<sup>2</sup>/an est la suivante :

$$E_{ECS} = d \times Q \times 260 \times k \times (T_{chaud} - T_{froid}) \times 1/\eta$$

Avec  $d$  la densité d'occupation [personne/m<sup>2</sup>],  $Q$  la quantité d'eau consommée par jour et par personne [L/j/personne], 260 le nombre de jours ouvrés par an, le rapport  $k = 4182/3600 \times 10^{-3}$  (la conversion d'énergie des Joule en kWh),  $T_{\text{chaud}}$  et  $T_{\text{froid}}$  la température de l'eau chaude et de l'eau froide [°C] respectivement et  $\eta$  le rendement lié au type de production (généralement égal à 0.9 ou 0.85 pour des ballons électriques décentralisés et leur efficacité propre).

### 1.2.2 Eclairage

Dans les notices environnementales et les différents modèles SED que j'ai pu analyser, la consommation concernant l'éclairage n'était pas traitée de la même manière selon le projet. En effet, comme expliqué en introduction, les différentes consommations par postes dépendent surtout des objectifs fixés pour le bâtiment. Si l'objectif du projet est d'avoir un maximum d'autonomie lumineuse, alors des études de FLJ et/ou d'ALJ seront réalisées dans le but de quantifier l'autonomie lumineuse ou l'éclairage naturel et d'améliorer en fonction des attentes souhaitées.

Dans des missions de production, j'ai par exemple pu réaliser des études de FLJ où la surface vitrée des locaux n'était pas suffisante pour atteindre les critères souhaités, il a donc fallu modifier les surfaces vitrées ainsi que les dispositions pour répondre aux besoins demandés par la maîtrise d'ouvrage.

Pour revenir sur les consommations en éclairage, pour admettre un éclairage naturel, on admet un certain pourcentage de locaux éclairés, ce qui est appelé foisonnement. En clair, on considère un certain pourcentage du bâtiment éclairé par rapport à sa surface. Dans la base de données des résultats SED, seul le projet de Limoges a l'objet d'études de FLJ et de d'ALJ, avec ces dernières, il a été démontré qu'un foisonnement de 70 % pour le projet était suffisant pour se rapprocher d'une consommation en éclairage proche de la réalité<sup>11</sup>, avec une marge d'erreur limitée.

---

<sup>11</sup> Foisonnement de 30% : conclusion réalisée dans le calcul des consommations et les études de FLJ d'après la notice environnementale du projet Limoges.

### 3. Résultat

#### a) Salle de formation R+3

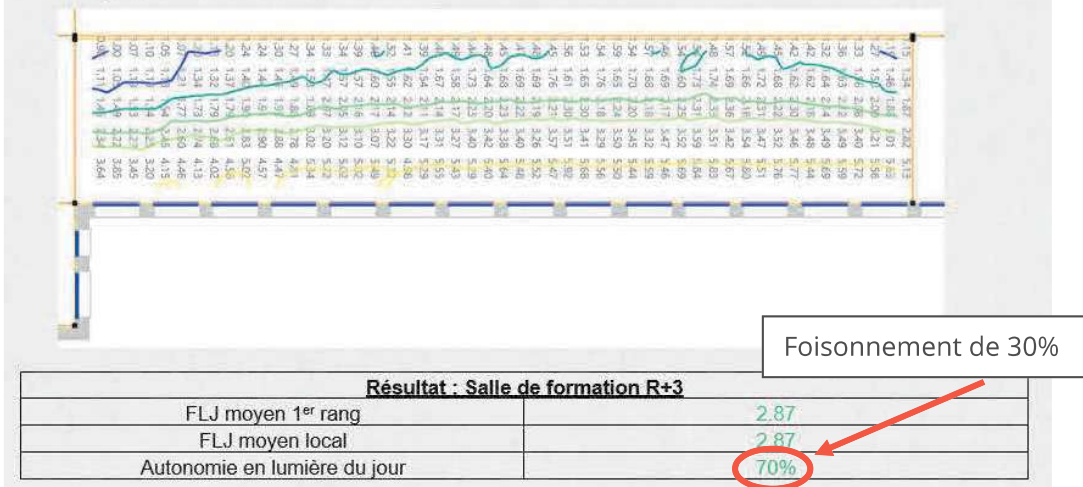


Figure 13 : Résultats des études de FLJ de Limoges

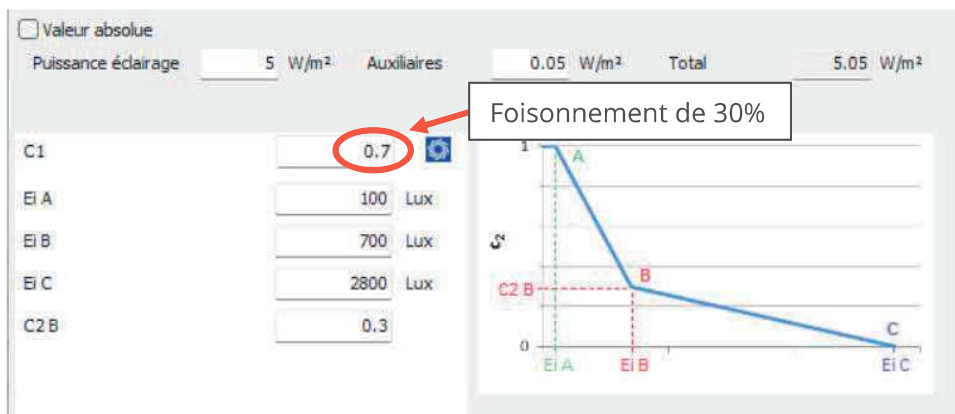


Figure 14 : Paramétrage de l'éclairage des bureaux dans le projet Limoges<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Izuba, « C1 traduit l'occupation effective des locaux et le mode de gestion (mise en marche et extinction de l'éclairage) », disponible sur : [https://docs.izuba.fr/v4/fr/index.php/%C3%89clairage\\_\(Biblioth%C3%A8que\)](https://docs.izuba.fr/v4/fr/index.php/%C3%89clairage_(Biblioth%C3%A8que))

### Conclusion des consommations en éclairage:

	Kennedy (9800m <sup>2</sup> )	Limoges (9330m <sup>2</sup> )	Villefontaine (2572m <sup>2</sup> )	IVD G (2377 m <sup>2</sup> )	IVD H (3799m <sup>2</sup> )
Puissance d'éclairage [W/m <sup>2</sup> ]	5	5	6	6	3.5
Temps d'utilisation [h]	8.5	8	8	Non renseigné	Non renseigné
Foisonnement [%]	0	30	0	45	45
Consommation éclairage [kWh/m <sup>2</sup> /an]	11	7.4	12.5	3.6	2.1

Tableau 2 : Tableau des paramètres pris en compte pour la consommation en éclairage

La consommation en éclairage est proportionnelle à la puissance d'éclairage, au temps d'utilisation et au foisonnement appliqué au bâtiment dans les calculs (études FLJ ou ALJ réalisées ou non). L'expression permettant de calculer la consommation en éclairage dans un bâtiment est la suivante :

$$E_{\text{éclairage}} = P \times t \times 260 \times 10^{-3} \times (1 - \varphi)$$

Avec P la puissance d'éclairage surfacique, t le temps de fonctionnement, 260 correspondant aux nombres de jours ouvrés,  $10^{-3}$  étant le rapport de conversion de l'énergie des Wh en kWh et  $\varphi$  le foisonnement appliqué.

### 1.2.3 Bureautique

La consommation en bureautique n'a pas été analysée en tant que consommation mais en tant qu'énergie dissipée. En effet, les consommations en bureautique ont été définies à partir d'une étude réalisée sur les consommations en bureautique des bureaux dans le cadre des MGP. Des études sur les consommations en bureautique et des serveurs locaux ont été menées. Les consommations en bureautiques permettent de quantifier les apports internes dus aux différents équipements dans les bureaux. Effectivement, chaque équipement informatique va, en consommant, produire une certaine quantité de chaleur, cette quantité de chaleur émise permettra, en théorie, de baisser les besoins en chauffage et donc la consommation. C'est également le cas des occupants dans un bâtiment : plus il y a d'occupants et moins les besoins en chauffage seront importants (en revanche les besoins en rafraîchissement seront plus importants).

Dans les différents calculs réalisés, on prend comme hypothèse une consommation en bureautique fixe et on détermine les puissances dissipées en W/m<sup>2</sup> uniquement dans les bureaux (pour obtenir la consommation souhaitée en W/m<sup>2</sup> chauffés), à noter que seuls les équipements présents dans les bureaux sont pris en compte dans les apports internes ; les serveurs ne sont inclus dans les puissances dissipées en bureautique, ces derniers sont situés dans des locaux non chauffés.

Voici un exemple avec le projet Villefontaine :

Figure 15 : Puissances et énergies dissipées en bureautique dans le projet Villefontaine

Ici la consommation indiquée correspond à la consommation uniquement pour le local où le scénario appliqué. En considérant uniquement les espaces où ce scénario est appliqué, on arrive à 15kWh/m²/an.

#### Conclusion des consommations en bureautique :

	Kennedy (9800 m <sup>2</sup> )	Limoges (9330 m <sup>2</sup> )	Villefontaine (2572 m <sup>2</sup> )	IVD G (2377 m <sup>2</sup> )	IVD H (3799 m <sup>2</sup> )
Consommation en bureautique [kWh/m <sup>2</sup> /an]	25.0	6.1	15.0	16.5	22.4

Tableau 3 : Consommation en bureautique des différents projets

Les consommations en bureautique ne sont pas vraiment un sujet à part entière ; elles sont fixées comme objectif ou non suivant la nature du projet. Pour le projet Kennedy, l'objectif était de considérer la consommation en bureautique dans le pire des cas possible, tandis que le projet Limoges visait à minimiser la consommation ce poste-là.

Les consommations en bureautique permettent de déterminer les puissances dissipées en apports internes.

#### 1.2.4 Auxiliaires hydrauliques

Les auxiliaires se divisent en deux catégories, les auxiliaires aérauliques, qui concernent directement la ventilation du bâtiment, qu'elle que soit sa nature, et les auxiliaires hydrauliques, qui concernent les consommations dues aux pompes à chaleur pour fournir la chaleur ou la fraîcheur dans le bâtiment. Concernant les consommations de la mairie de Villefontaine, la consommation en auxiliaires hydraulique est nul car ce sont des VRV<sup>13</sup> qui sont utilisées pour refroidir et réchauffer le bâtiment, il n'y a donc aucun système de pompe.

<sup>13</sup> Energieplus, « la terminologie française DRV (Débit de Réfrigérant Variable) [ou encore] VRV (Variable Refrigerant Volume) réalise une détente directe dans chaque local, [...] le fluide réfrigérant est alors transporté jusqu'à l'échangeur du local qui sert d'évaporateur ou de condenseur. Ce n'est ni [de] l'air ni [de] l'eau qui circule dans les conduits, mais bien du fluide réfrigérant », disponible sur : <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/systemes-d-emission-de-froid/systemes-autonomes-a-detente-directe/climatisation-a-debit-de-refrigerant-variable/>

Les consommations en auxiliaires hydrauliques étaient en dehors de mon périmètre d'étude dans le cadre de mon stage et n'ont donc pas été traitées. Cependant la méthode de calcul a été analysée : elle se base sur la surface totale chauffée du bâtiment et est multipliée par un coefficient, à cela est rajouté la puissance des ventilo-convecteurs et leur temps de fonctionnement.

Voici un exemple avec le projet Kennedy:

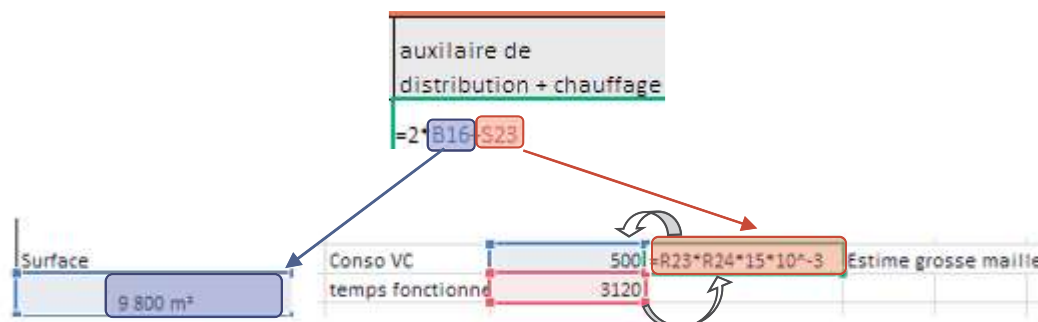


Figure 16 : Méthode de calcul des consommations en auxiliaires hydrauliques de Kennedy

auxiliaire de distribution + chauffage
43 000 kWh/an
4 kWh/an

Figure 17 : Consommation en auxiliaire hydrauliques de Kennedy

$$E_{hydrau} = (S_{chauffée} \times k + P_{VC} \times t) \times \frac{1}{S_{chauffée}}$$

Avec  $S_{chauffée}$  la surface chauffée du bâtiment,  $k$  le coefficient de consommation en kWh/m<sup>2</sup>,  $P_{VC}$  la puissance des ventilo-convecteurs en kW et  $t$  le temps de fonctionnement des ventilo-convecteurs.

### Conclusion sur les consommations en auxiliaires hydrauliques :

	Kennedy (9800 m <sup>2</sup> )	Limoges (9330 m <sup>2</sup> )	Villefontaine (2572 m <sup>2</sup> )	IVD G (2377 m <sup>2</sup> )	IVD H (3799 m <sup>2</sup> )
Consommation en aux. hydrauliques [kWh/m <sup>2</sup> /an]	4.0	1.0	0.0	1.0	1.1

Figure 18 : Consommation en auxiliaires hydrauliques des différents projets

La consommation en auxiliaires hydrauliques dépend principalement de la puissance des pompes et de leurs caractéristiques (pression variable ou constante, débit variable ou constant). Ce poste n'est généralement pas analysé en détail dans les phases concours.

### 1.2.5 Auxiliaires aérauliques

Les auxiliaires aérauliques, ou ventilation, sont dimensionnés en fonction du nombre de personnes dans le bâtiment. On fixe alors un nombre de personne fictif maximal par type de pièce et d'usage. Une régulation est également déterminée selon le type de pièce, une pièce à occupation variable aura souvent une sonde CO2, tandis qu'une pièce fréquemment occupée disposera généralement d'un détecteur de présence. La consommation en ventilation dépend du débit insufflé dans le bâtiment, du type de ventilation (simple ou double flux), de l'efficacité des échangeurs et de la SFPV<sup>14</sup> (Specific Fan Power ventilation).

Selon le type de bâtiment et les critères imposés, le débit insufflé n'est pas le même. Par exemple, pour un bâtiment BREEAM, le débit insufflé sera 20% plus élevé que celui requis par le Code du travail<sup>15</sup> :

Destination des locaux	RSD m3/h/occ	Code du travail	16798-1 cat II peu polluant	m <sup>2</sup> /pers
<b>Bureaux et locaux assimilés</b>				
+bibliothèque, banque, poste...	18	25	50.4	10
<b>Locaux de réunion</b>				
Salle de réunion, lieu de culte, clubs, foyer, spectacle	18	30	30.2	2
Auditorium	18	30	27.1	0.75

Figure 19 : Débits requis dans différents types de bâtiments tertiaires<sup>16</sup>

Grâce aux différentes notices environnementales et aux simulations sur Pléiades, j'ai pu analyser les différentes valeurs renseignées et obtenir les consommations en ventilation de toute la base de données :

<sup>14</sup> Swegon, « La puissance spécifique des ventilateurs [SFPV] est la puissance électrique totale des ventilateurs d'une centrale de traitement d'air en kW, divisée par le débit d'air soufflé [...] ce coefficient nous indique ne coût énergétique] du système de ventilation], disponible sur : <https://blog.swegon.com/fr/la-pression-dans-les-r%C3%A9seaux-a%C3%A9rauliques-et-le-coefficient-sfp>

<sup>15</sup> Construction 21, « respecter les débits de ventilation conformément aux exigences BREEAM pour la France (valeur minimale de 10l/pers./s pour les personnes non-fumeurs), disponible sur : <https://www.construction21.org/france/data/sources/users/4713/preass-breeam-lomme-iii-qeb-d-151023b.pdf>

<sup>16</sup> Valérie Le prince, Cours de ventilation de la voie d'approfondissement BAT à l'ENTPE.

	<b>Kennedy (9800 m<sup>2</sup>)</b>	<b>Limoges (9330 m<sup>2</sup>)</b>	<b>Villefontaine (2572 m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD G (2377 m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD H (3799 m<sup>2</sup>)</b>
Type de ventilation	VMC DF usage et SF circulations	VMC DF usage et SF circulations + naturelle	VMC DF usage et SF circulations	VMC DF usage et SF circulations + naturelle	VMC SF par insufflation + naturelle
Régulation	SDR : CO2  Bureaux : DP	SDR : CO2  Bureaux : DP	Horaire	SDR : CO2  Bureaux : DP	SDR : CO2  Bureaux : DP
Dimensionnement personnes	SDR : 1p+1/2m <sup>2</sup>  Bureaux :1p+ 1/10m <sup>2</sup>	SDR : 1p+1/2m <sup>2</sup>  Bureaux :1p+ 1/10m <sup>2</sup>	SDR : 1p+1/2m <sup>2</sup>  Bureaux :1p+ 1/10m <sup>2</sup>	SDR : 1p+1/2m <sup>2</sup>  Bureaux :1p+ 1/10m <sup>2</sup>	SDR : 1p+1/2m <sup>2</sup>  Bureaux :1p+ 1/10m <sup>2</sup>
Débit [m <sup>3</sup> /h/p]	SDR : 30  Bureaux : 25	SDR : 30  Bureaux : 25	SDR : 30  Bureaux : 25	SDR : 30  Bureaux : 25	SDR : 30  Bureaux : 25
SFPv [Wh/m <sup>3</sup> ]	DF :0.80 SF :0.30	DF :0.80 SF :0.25	DF :0.70 SF :0.25	-	-
Efficacité échangeur [-]	0.6	0.85	0.55	-	-
Consommation en aux. aérauliques [kWh/m <sup>2</sup> /an]	14.0	2.6	8.5	2.7	2.2

**Figure 20 : Tableaux des paramètres pris en compte pour la consommation en ventilation**

### **Conclusion sur les consommations en auxiliaires aérauliques :**

La consommation en ventilation est proportionnelle au nombre de personnes spécifiées (dimensionnement bureaux ou SDR), au débit ventilé spécifique, à la SFPv, au type de réglementation, et au type de ventilation. Une ventilation simple flux ayant un seul moteur et peu de perte de charge, a un SFPv moyen de 0.25 Wh/m<sup>3</sup>. En revanche, une ventilation double flux, a deux moteurs, présente pertes de charges plus importantes et a en conséquence un SFPv moyen de 0.7 Wh/m<sup>3</sup>. Voici l'expression qui permet de calculer les consommations en ventilation d'un bâtiment :

$$E_{ventilation} = d_{specifique} \times S_{specifique} \times SFPv \times t_{specifique} \times k_{regulation}$$

Avec  $d$  la densité d'occupation [occupants/m<sup>2</sup>],  $S_{specifique}$  la surface spécifique (s'il s'agit d'un bureau, d'une SDR ou de circulations),  $SFPv$  [Wh/m<sup>3</sup>],  $t_{specifique}$  le temps de ventilation [h] et  $k_{regulation}$  le coefficient de régulation (1 pour de la détection de présence et 0.2 pour détection via sonde CO<sub>2</sub>).

### 1.2.6 Chauffage et refroidissement

Pour les consommations en chaud et en froid des différents projets, il était difficile de calculer leurs consommations de manière précise. En effet, les paramètres pris en compte étaient trop nombreux et les estimations ne sont pas assez précises pour être utilisées. Chaque projet étant unique, il était complexe d'établir clairement les lois régissant les consommations, telles que la compacité, l'impact des masques, les fichiers météo, l'isolation du bâtiment, l'imperméabilité à l'air, etc.

Nous avons décidé, à travers plusieurs réunions, de formuler de nombreuses hypothèses et d'évaluer les impacts potentiels sur les consommations en chaud et en froid. Nous avons également considéré comme acquises les consommations en chaud et en froid des projets, avoir vérifié les résultats via Pléiades :

Compacité :	+ de Surface : + de déperditions	Occupation :	Occupation + : Besoins CH – et Besoins FR +
Surface vitrée :	Rayonnement solaire : besoins CH – et besoins FR +	Apports internes (bureautique :	App + : Besoins CH – et Besoins FR +
Q4 (étanchéité) :	Moins Etanche : Besoins CH + et besoins FR -	Fichier météo :	Impact sur les DJU CH et FR
Température CH :	T°C CH + : Besoins CH+	Efficacité échangeur :	Eff. Echangeur - : Besoins CH + et Besoins FR -
Température FR :	T°C FR - : Besoins FR+	Débit insufflé :	Débit + : Besoins CH + et Besoins FR -

Figure 21 : Paramètres non exhaustifs impactants sur les consommations en CH et en FR

**Conclusion besoins en chauffage et en refroidissement :**

	<b>Kennedy (9800 m<sup>2</sup>)</b>	<b>Limoges (9330 m<sup>2</sup>)</b>	<b>Villefontaine (2572 m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD G (2377 m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD H (3799 m<sup>2</sup>)</b>
Emplacement	Bourg en Bresse	Limoges	Villefontaine	Lyon	Lyon
Masque (de visu)	Très peu	Modéré	Importants (mitoyens)	Importants	Très important
Indice d'ouverture [-]	10%	17%	20%	28%	25%
Q4 (étanchéité) [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	1.2	1.7	1.3	-	-
Compacité [m <sup>-1</sup> ]	0.41	0.30	0.48	-	-
T°C CH [°C]	20.5	19	21.5	20	20
T°C FR [°C]	26	Pas de clim.	26	26	26
Eff. Echangeur [-]	0.6	0.85	0.55	-	-
Débit insufflé max [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	5.096	2.270	3.002	3.04	3.66
Apports internes [W/m <sup>2</sup> ]	4	4.8	6	-	-

**Figure 22 : Paramètres pris en compte pour les consommations en chauffage et en refroidissement**

	<b>Kennedy (9800 m<sup>2</sup>)</b>	<b>Limoges (9330 m<sup>2</sup>)</b>	<b>Villefontaine (2572 m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD G (2377 m<sup>2</sup>)</b>	<b>IVD H (3799 m<sup>2</sup>)</b>
Consommation chauffage [kWh/m <sup>2</sup> /an]	46	17.4	16.6	26.5	22.4
Consommation refroidissement [kWh/m <sup>2</sup> /an]	3	0.2	2.3	0.6	0.9

**Figure 23 : Consommation en CH et en FR des différents projets**

Le projet Kennedy présente une consommation nettement plus élevée en chauffage, ce qui s'explique par la production en chaud réalisé par un RCU pour la production de chaleur plutôt que d'une PAC. En revanche, les autres projets affichent une consommation assez similaires, ce qui pourrait être dû aux fichiers météo utilisés. Les écarts observés peuvent se justifier par les différents mentionnés précédemment et les particularités de chaque bâtiment (telles que les surfaces mitoyennes, les salles de mariage, les salles de restauration, ...) ainsi que les types d'équipements et de pertes.

	<b>Kennedy</b>	<b>Limoges</b>	<b>Villefontaine</b>
Besoins de chaud	39.3	-	52.2
Besoins de froid	4.2	-	4.9
Production de chaud	RCU	PAC COP 3.5	PAC COP 3.5
Rendement de chaud	85%	-	90%
Production de froid	PAC EER 2.5	PAC EER 2.5	PAC EER 3
Conso. latentes	200%	-	140%

**Tableau 4 : Exemple d'équipements utilisés pour des projets de la BDD SED**

### **1.2.7 Synthèse des analyses des consommations par poste**

Voici un récapitulatif des différentes consommations par poste. On rappellera que toutes ces consommations concernent des bâtiments types bureaux, tous modélisés en zone thermique H1. Ces différentes consommations par poste seront utiles dans la partie suivante pour la création de l'outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment type bureau. Un tableau des différents paramètres est disponible en annexe 1.

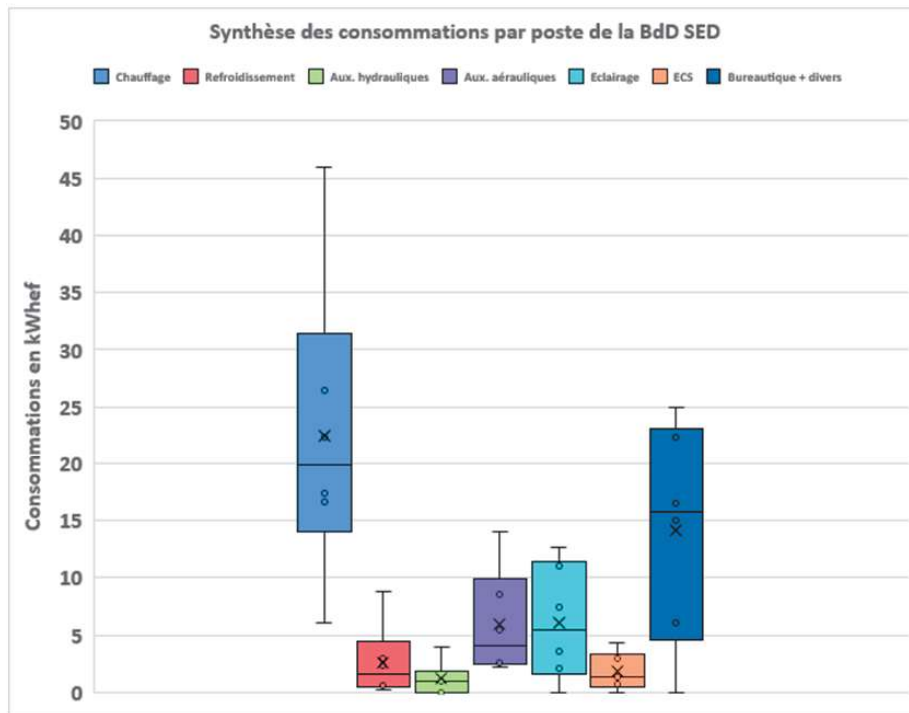


Figure 24 : Boîtes à moustache des différentes consommations par poste de la BDD SED

## 2. Création d'un modèle à Varier et étude de ses variantes

A partir des travaux d'analyse réalisés en amont, il a été possible de développer un outil basé sur une modélisation correspondant uniquement à un usage de bureau. Cet outil est composé de deux parties : La première permet d'estimer les consommations par poste d'un bâtiment type bureau en moins de 15 minutes. La deuxième partie est un outil d'assistance : à partir d'une maquette Pléiades, cet outil conseillera les paramètres à rentrer dans Pléiades pour réaliser une STD en moins de deux heures (au lieu de deux à trois semaines si l'on devait tout créer depuis zéro).

La maquette en question comprenait essentiellement des bureaux ainsi que des vestiaires et des douches. Pour répondre précisément aux besoins de l'outil, le projet a été modifié afin de se concentrer uniquement sur des bureaux, des salles de réunion et des circulations.

Cette partie servira surtout à analyser les différents paramètres pour l'outil d'estimation rapide. Les résultats sortis par mon outil seront principalement les sorties vérifiées du logiciel Pléiades. L'outil d'estimation rapide permet de ne pas avoir recours à Pléiades une seule fois et d'avoir des consommations proches de la réalité.

### 2.1 Présentation du modèle modifié (modèle V0)

La maquette comprenait des vestiaires et des bandes servant. Pour correspondre uniquement à des bureaux, les vestiaires ont été convertis en circulations ou en salle de réunion, tandis que les bandes servant ont été remplacées par des bureaux. Les cloisons ont également été retravaillées pour se rapprocher de la réalité.

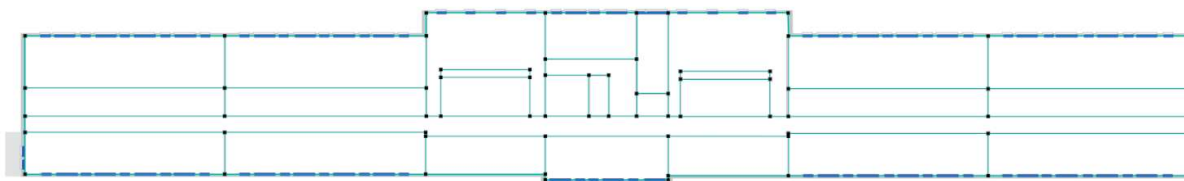


Figure 25 : aperçu général de la maquette (modèle Pléiades initial)

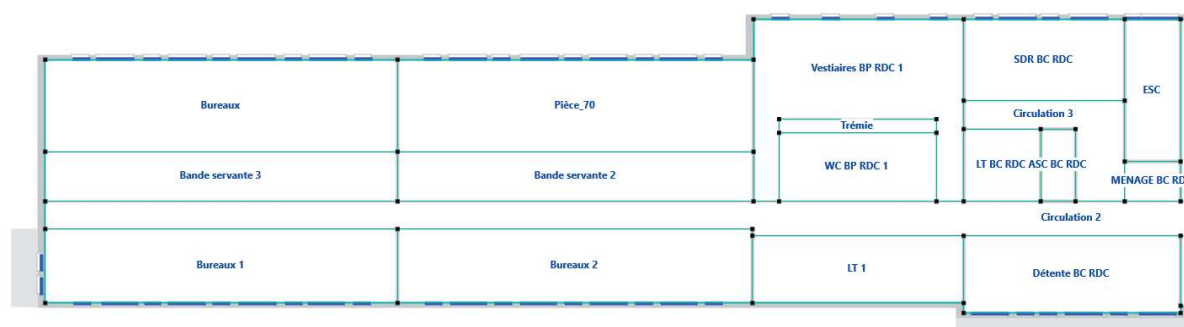


Figure 26 : Détail des pièces de la maquette avant modification

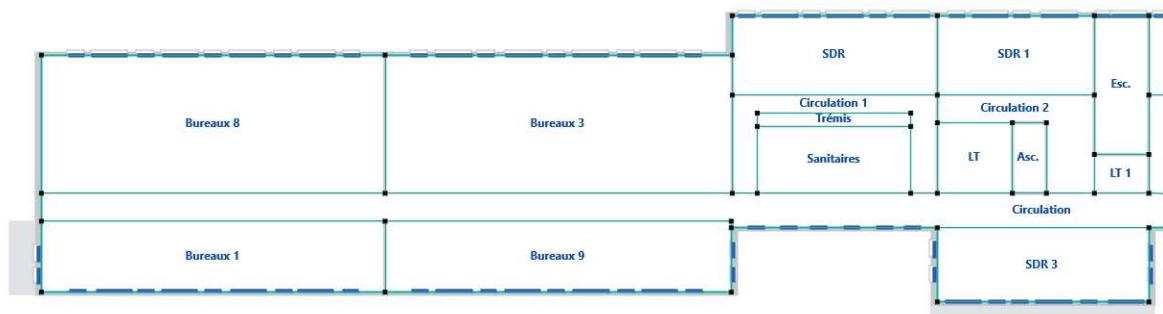


Figure 27 : Détail des pièces de la maquette après modification

Nous avons également pris la décision de rajouter des fenêtres au niveau des bureaux pour se rapprocher de la réalité. En effet, dans la plupart des bureaux, les surfaces vitrées sont abondantes. Les locaux techniques du RDC ont été supprimés et la nature des murs modifiée pour avoir une résistance thermique homogène sur tout type de façades. Pour ne pas confondre la modélisation de base et celle modifiée, on parlera de la maquette modifiée, à savoir : OEC.

## 2.2 Validation des hypothèses et résultats de la V0

Avant de réaliser des variantes, il était important de vérifier les résultats et les différentes hypothèses renseignées dans la simulation réalisée sur Pléiades. Dans le cas contraire il pourrait y avoir des erreurs, et celles-ci pourraient alors avoir de gros impacts sur les sorties de mon outil d'estimation rapide des consommations par poste.

Les résultats ont donc été vérifiés avec la rédaction d'une notice STD. avec cette dernière, toutes les hypothèses ont été vérifiées points par points et résumées dans ce document. Ce document est disponible en annexe 2 si vous souhaitez voir les différentes hypothèses renseignées et la vérification des résultats.

Zones	Surface	Nb h. occ.	Besoins Ch.		Puiss. Chauff.		Besoins Clim.		Puiss. Clim. sensible	T° min	T° moy	T° max	T° max occ.
	m <sup>2</sup>	h.	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	W	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	W	°C	°C	°C	°C	
<b>TOTAL</b>	<input type="checkbox"/> 6 343,0		<b>171 635,8</b>	<b>28,0</b>	<b>326220</b>	<b>52 187,2</b>	<b>8,5</b>	<b>255512</b>	-	-	-	-	
Bureaux Ouest	<input checked="" type="checkbox"/> 2 578,6	2600	41 028,3	15,9	106568	21 051,1	8,2	110938	18,0	22,0	27,7	27,2	
Bureaux Est	<input checked="" type="checkbox"/> 1 346,7	2600	40 986,7	30,4	83897	16 462,4	12,2	77669	17,0	21,9	28,8	28,4	
Salles de réunion Ouest	<input checked="" type="checkbox"/> 819,8	2600	27 783,3	33,9	49331	10 098,7	12,3	50600	17,0	21,8	28,7	28,1	
Vestiaires/Wc	<input checked="" type="checkbox"/> 271,0	0	11 795,2	43,5	18890	259,8	1,0	6398	17,0	21,1	27,6		
Circulations	<input checked="" type="checkbox"/> 1 116,9	0	50 042,3	44,8	91506	4 315,2	3,9	41410	17,0	21,4	28,1		
Escalier-Ascenseur + LT VC	<input type="checkbox"/> 210,0	0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	17,6	21,3	27,2		

Figure 28 : besoins en CH et en FR calculés avec Pléiades

<b>Besoins en chauffage</b>	28.00 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Besoins en refroidissement</b>	8.50 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Consommations en ventilation</b>	8.23 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Consommation en éclairage</b>	9.10 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Besoins en ECS</b>	2.81 kWh/m <sup>2</sup>
<b>Consommation en bureautique</b>	20.00 kWh/m <sup>2</sup>

Tableau 5 : Récapitulatif des besoins et des consommations de la modélisation V0

## 2.3 Variantes simulées et étudiées à partir de la maquette OEC

Pour créer cet outil d'estimation rapide des consommations par poste d'un bâtiment, des simulations ont été réalisées sur plusieurs variantes ayant toutes un impact soit sur les consommations en chauffage, soit sur les consommations en refroidissement. Pour les autres consommations, des estimations sont amplement suffisantes et se rapprochent suffisamment des résultats sortis et vérifiés de Pléiades. Tous les résultats ont été vérifiés de la même manière que dans la notice STD disponible en annexe 2.

### 2.3.1 V1 – SF uniquement

Dans l'analyse de la BDD SED, la ventilation du bâtiment G d'IVD se faisait via une ventilation SF par insufflation. Il a donc été pris comme hypothèse de base que tout le bâtiment était ventilé via une VMC SF. Les efficacités des échangeurs de toutes les zones SED ont été supprimés, et la SFPv de base de 0.70 Wh/m<sup>3</sup> est passé à 0.25 Wh/m<sup>3</sup>. Les résultats ont été vérifiés de la même manière que dans la notice STD disponible en annexe 2.

En insufflant uniquement en SF, nous avons émis l'hypothèse que les besoins en chaud seraient plus importants et que les besoins en froid seraient moins importants. En effet, avec une efficacité de l'échangeur moyen à 0, l'air neuf ne serait plus préchauffé en hiver (et réciproquement, ne serait pas rafraîchi en été). Nous aurions donc des besoins en chauffage plus importants et des besoins en froid moins importants. La ventilation initiale de la maquette est une VMC DF.

	OEC V0	OEC V1 – SF uniquement	Différence
Besoins CH	28	42.1	+50%
Besoins FR	8.5	8.5	-

**Tableau 6 : Différence des besoins de V1 par rapport à V0**

Les hypothèses formulées concernant les besoins en chaud sont correctes, cependant il n'y a eu aucune différence concernant les besoins en froid. Cela peut s'expliquer soit par le fonctionnement du By-pass<sup>17</sup>, soit par le fichier météo utilisé ou encore le fait que la ventilation et/ou la consigne de froid soit « saturée ».

### 2.3.2 V2 – Température de chauffage

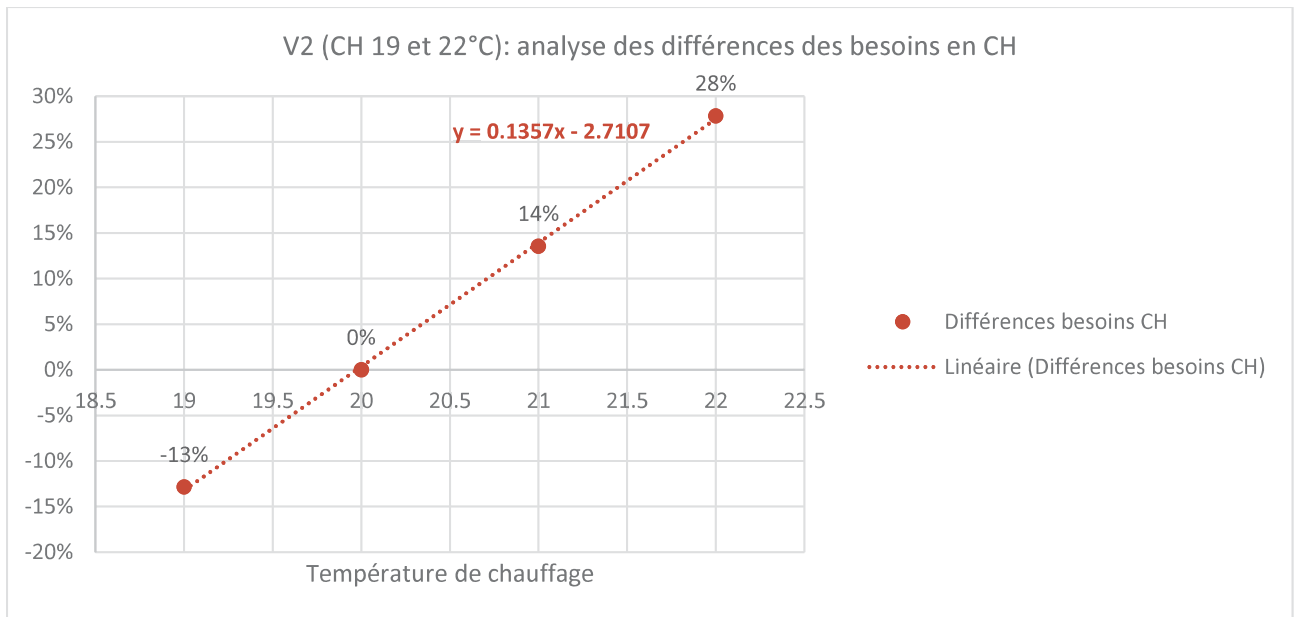
Un bâtiment chauffé avec une consigne moins élevée permettra de réduire les besoins en chaud (et inversement). Pour cela, la consigne de chauffage a été directement changé dans Pléiades, dans l'onglet « Scénario » et « températures ». Les résultats obtenus ont été vérifiés de la même manière que dans la notice STD disponible en annexe 2. La température initiale pour le chauffage est de 20°C.

	OEC V0	OEC V2.1	Différence	OEC V2.2	Différence	OEC V2.3	Différence
Besoins CH	28	24.4	-13%	31.8	+14%	35.8	+28%
Besoins FR	8.5	8.5	-	8.5	-	8.5	-

**Tableau 7 : Différences des besoins de V2 par rapport à V0**

---

<sup>17</sup> RT2012, « L'air neuf est préchauffé pour limiter les besoins en chauffage du logement. Les double-flux équipés d'un by-pass permettent de ne pas [échanger les calories de] l'air vicié], disponible sur : <https://www.rt-2012.com/actualites/technique/vmc-double-flux-principe-de-fonctionnement-avantage/>



**Figure 29 : Graphique des différences des besoins en fonction de la température de chauffage**

On remarque que la consigne en chauffage d'un bâtiment a un comportement linéaire. Les résultats auraient pu être affinés en réalisant d'avantage de sous-variantes et en testant des températures de consignes plus ou moins importantes que celles fixées. Cependant, dans la réalité, il sera assez rare de descendre en dessous de 19 °C et de monter au-dessus de 22 °C. En revanche, dans le domaine étudié, la différence des besoins en chauffage est linéaire en fonction de la température de consigne.

**Remarque :** D'après l'ADEME<sup>18</sup>, baisser la température de consigne du chauffage dans les pièces à vivre ferait baisser de 7 % la consommation de chauffage d'un bâtiment (en supposant un bâtiment type logement), et jusqu'à 15 % si l'on maîtrise sa consommation en adoptant les bons gestes. Comme une STD/SED est rigoureuse (consignes fixes, temps d'occupation fixes, montée en température progressives, ...). Les résultats trouvés sont tout à fait cohérents, on observe une diminution de 13% des besoins en chaud lorsque l'on passe d'une consigne de 20°C à une consigne de 19°C.

### 2.3.3 V3 – Apports internes

Les apports internes dans un bâtiment sont générés par les occupants et les différents équipements présents. Des apports internes plus importants permettent de réduire les besoins

<sup>18</sup> Total, « Cela paraît peu, mais baisser 1 degré de chauffage en moins permet de réaliser des économies non négligeables. L'ADEME est formelle : cet unique degré permettrait de réduire de 7% la consommation moyenne, et jusqu'à 15% si vous maîtrisez votre consommation en adoptants les bons gestes », disponible sur: <https://services.totalenergies.fr/particuliers/conseils/energies-habitat/chauffage/baisser-chauffage-un-degre>

en chaud, et réciproquement d'augmenter les besoins en froid. Pour cela la densité d'occupation et la consommation en bureautique ont été modifiées ; cependant, les paramètres concernant la ventilation sont restés inchangés car le dimensionnement de celle-ci est règlementaire. La densité initiale dans les bureaux et les salles de réunion est de 0.08 personne/m<sup>2</sup>.

	OEC V0	OEC V3.1	Différence	OEC V3.2	Différence	OEC V3.3	Différence	OEC V3.4	Différence
Besoins CH	28	30.6	+9%	29.7	+6%	26.3	-6%	25.5	-9%
Besoins FR	8.5	7.3	-14%	7.7	-9%	9.3	+9%	9.8	+15%

Tableau 8 : Différences des besoins de V3 par rapport à V0

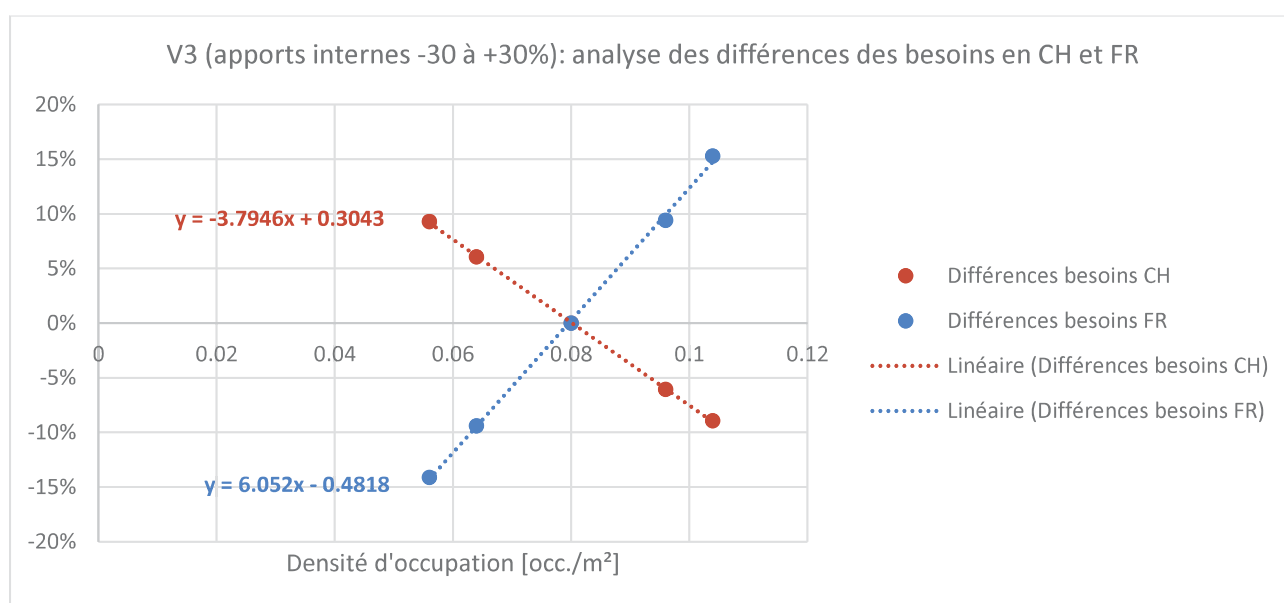


Figure 30 : Graphique des différences des besoins en fonction de l'occupation

On remarque que les modifications des apports internes en occupants et en bureautique ont un impact linéaire sur l'intervalle étudié. Les valeurs renseignées correspondent à des occupations normales que l'on pourrait rencontrer dans des bâtiments types bureaux.

### 2.3.4 V4 - Compacité

La compacité d'un bâtiment est importante. En effet, une surface de déperdition plus importante pour un même volume implique des besoins plus importants en chaud. C'est la raison pour laquelle cette variante a été étudiée.

Pour modifier la compacité du modèle de base, il a été décidé de supprimer d'abord un étage, puis un deuxième. Dans les calculs de volumes et de surfaces déperditives, chaque niveau supprimé modifiait la compacité du bâtiment.

**Rappel :** La compacité est en  $m^{-1}$ , par conséquent, plus la valeur est élevée, plus le bâtiment est déperditif et donc moins compact.

Compacité Minarm initiale	Périmètre	Surfaces déperditives	Surfaces chauffées	Volumes chauffés
RDC	267.86	2454.852	1597.7	5112.64
R+1	283.39	906.848	1597.7	5112.64
R+2	283.39	906.848	1597.7	5112.64
R+3	283.39	2504.548	1597.7	5112.64
Dalle et toiture	1597.7			
			Compacité initiale	0.33
Compacité Minarm 2 étage	Périmètre	Surfaces déperditives	Surfaces chauffées	Volumes chauffés
n étages	2			
RDC	267.86	2454.852	1597.7	5112.64
R+i (i=1:n-1)	283.39	906.848	1597.7	5112.64
R+n	283.39	2504.548	1597.7	5112.64
			Compacité -1 étage	0.38
Compacité Minarm 1 étage	Périmètre	Surfaces déperditives	Surfaces chauffées	Volumes chauffés
n étages	1			
RDC	267.86	2454.852	1597.7	5112.64
R+i (i=1:n-1)	0	0	0	0
R+n	283.39	2504.548	1597.7	5112.64
			Compacité -2 étages	0.49

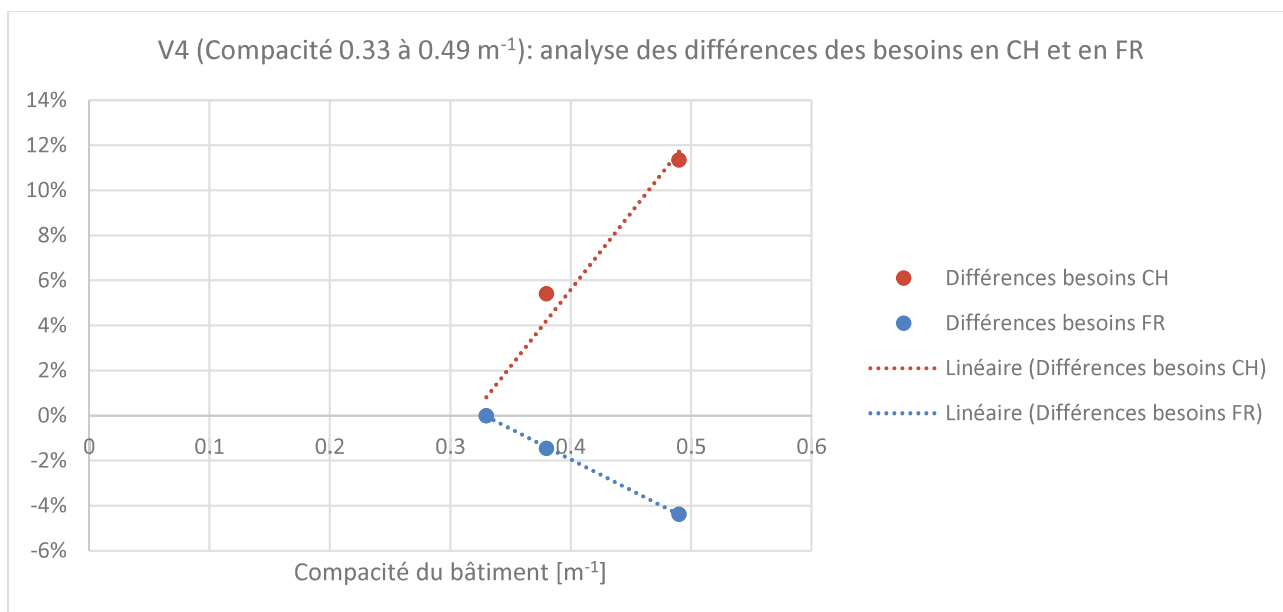
Figure 31 : Calcul de la compacité en fonction du nombre d'étages

Cependant, avec les masques présents, supprimer des niveaux auraient eu des impacts drastiques sur les besoins en chaud et en froid car le bâtiment aurait nettement moins de gain dus aux apports solaires. On a donc décidé de supprimer tous les masques aux alentours pour n'avoir que les différences dues à la compacité de mon bâtiment.

De plus, retirer des niveaux impliqueraient moins de ponts thermiques. Cependant, cela ne serait pas tout à fait représentatif de la réalité. Nous avons donc pris la décision de supprimer tous les ponts thermiques de la simulation et d'uniquement baser les différences dues à la compacité dans un modèle sans masque et sans pont thermique, cette maquette s'appellera OEC V0.1. La compacité initiale du bâtiment est de  $0.33m^{-1}$ .

	OEC V0.1	OEC V4.1	Différence	OEC V4.2	Différence
Besoins CH	18.5	19.5	+5%	20.6	+11%
Besoins FR	13.7	13.5	-1%	13.1	-4%

Tableau 9 : Différences des besoins de V4 par rapport à V0



**Figure 32 : Graphique des différences des besoins en fonction de la compacité du bâtiment**

Avec un nombre limité de point, il est impossible de définir clairement le comportement des consommations en chaud et en froid de ce bâtiment. Il serait également difficile ou trop long de modifier le bâtiment pour avoir une compacité différente, le tout en gardant les mêmes paramètres. Il nous sera donc impossible de conclure quant aux comportements des besoins en chaud et en froid.

Cependant nous remarquons que les consommations en chaud sont plus importantes pour un bâtiment moins compacte et qu'au contraire, les besoins en froid sont moins importants. Ce qui est cohérent avec les hypothèses formulées en amont.

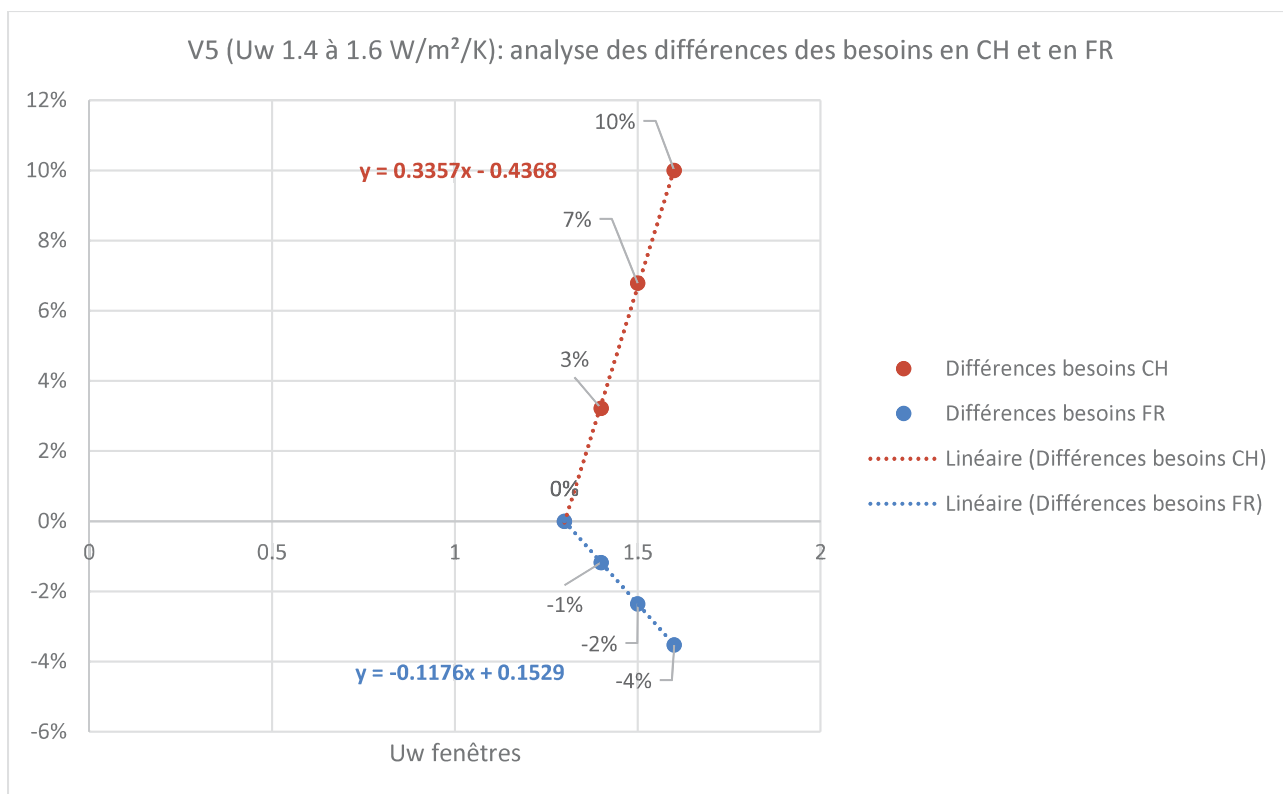
### 2.3.5 V5 – Uw fenêtres

Nous nous intéresserons ici à la conductivité des fenêtres du bâtiments. Cette dernière joue un rôle similaire à l'isolation du bâtiment. Nous allons donc étudier les impacts de la conductivité des fenêtres pour une surface vitrée donnée (à savoir un indice d'ouverture de 18 %).

Pour réaliser cette simulation, le coefficient de conductivité des fenêtres directement a directement été modifié dans l'interface Pléiades. Le Uw initial des fenêtres est de 1.3 W/m<sup>2</sup>/K.

	OEC V0	OEC V5.1	Différence	OEC V5.2	Différence	OEC V5.3	Différence
Besoins CH	28	28.9	+3%	29.9	+7%	26.3	+10%
Besoins FR	8.5	8.4	-1%	8.3	-2%	9.3	-4%

**Tableau 10 : Différences des besoins de V5 par rapport à V0**



**Tableau 11 : Graphique des différences des besoins en fonction de  $U_w$**

On remarque que les consommations en chaud et en froid ont un comportement linéaire en fonction de la conductivité des fenêtres dans le domaine donné. Plus la conductivité des fenêtres est importante, plus les besoins en chaud augmentent et les besoins en froid diminuent.

Nous n'étudierons pas de conductances plus ou moins importantes que celles étudiées en amont car elles correspondent à des conductivité de fenêtre généralement utilisé pour des fenêtres dans le cadre des MGP.

### 2.3.6 V6 – Imperméabilité à l'air du bâtiment

L'imperméabilité à l'air d'un bâtiment est la capacité d'un bâtiment à maîtriser les infiltrations d'air non contrôlées à travers ses différentes parois. Une imperméabilité plus importante permettra donc d'avoir des besoins en chaud moindre mais des besoins en froid plus importants. Pour se faire, l'imperméabilité à l'air du bâtiment a été modifié directement dans l'interface Pléiades. Le Q4 initial est de 1.3  $m^3/h/m^2$ .

	OEC V0	OEC V6.1	Différence	OEC V6.2	Différence	OEC V6.3	Différence
Besoins CH	28	26.5	-5%	28.6	+2%	29.4	+5%
Besoins FR	8.5	8.7	+2%	8.4	-1%	8.3	-2%

Tableau 12 : Différences des besoins de V6 par rapport à V0

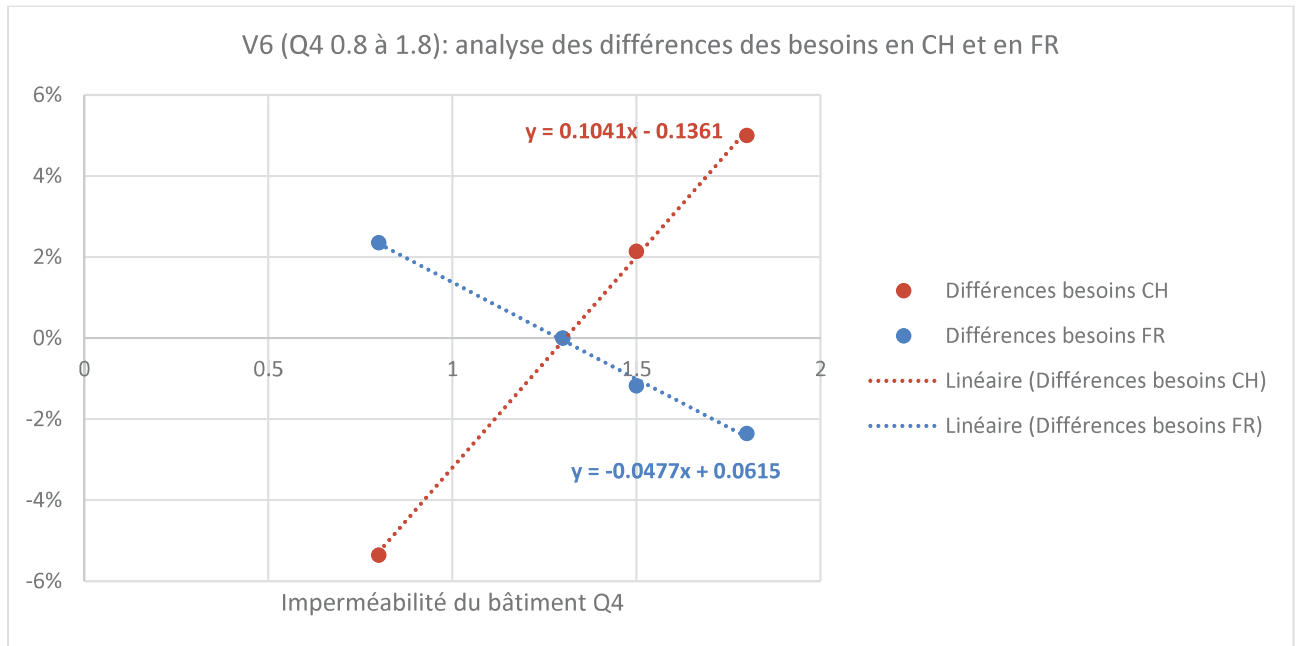


Figure 33 : Graphique des différences des besoins en fonction de Q4

Les consommations en chaud et en froid du bâtiment ont un comportement linéaire sur le domaine étudié en fonction de l'imperméabilité à l'air du bâtiment. Le domaine d'étude est suffisant et représente suffisamment l'imperméabilité moyenne de bureaux dans le cadre de MGP.

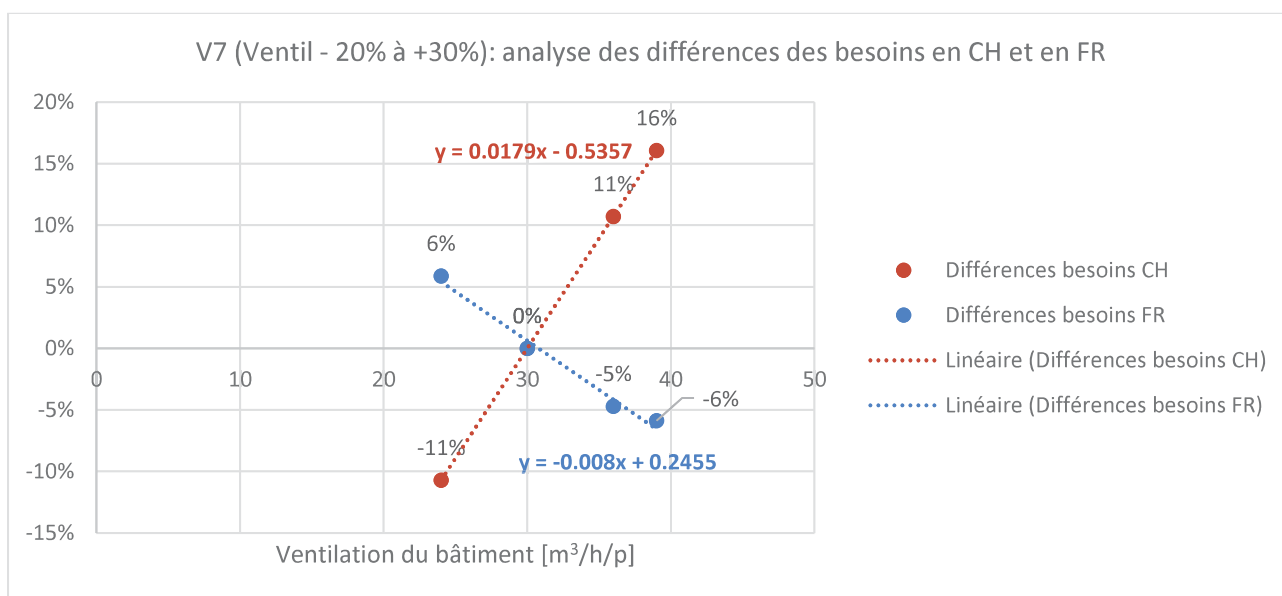
On constate que plus le bâtiment est imperméable à l'air et moins il y aura de besoins en chaud et plus il y aura de besoins en FR. Pour rappel, plus Q4 est faible, plus le bâtiment est imperméable à l'air.

### 2.3.7 V7 – Ventilation

Dans les bâtiment très étanche à l'air, la question de la qualité de l'air est très importante. En effet, si la ventilation n'est pas suffisante, la qualité de l'air ne sera pas satisfaisante. Il est donc important de suffisamment ventiler pour avoir une qualité d'air correcte. Cependant, trop ventiler aura des impacts non négligeables sur les consommations en chaud du bâtiment. La simulation a été réalisée en ajustant directement la ventilation dans les paramètres de Pléiades. Les résultats sont affichés selon la ventilation réglementaire des salles de réunion. La valeur initiale est de 30m<sup>3</sup>/h/personne.

	OEC V0	OEC V7.1	Différence	OEC V7.2	Différence	OEC V7.3	Différence
Besoins CH	28	25	-11%	31	+11%	32.5	+16%
Besoins FR	8.5	9	+6%	8.1	-5%	8.1	-6%

**Tableau 13 : Différences des besoins de V7 par rapport à V0**



**Figure 34 : Graphique des différences des besoins en fonction de la ventilation**

Les comportements des besoins en chaud et en froid sont, dans le domaine étudié, linéaires en fonction de la ventilation du bâtiment. Le domaine étudié est largement représentatif des ventilations dimensionnées dans les bureaux.

On lit sur le graphique que plus la ventilation est importante, plus les besoins en chaud sont importants et moins les besoins en froid sont importants. Ceci est cohérent avec les hypothèses formulées en amont.

### 2.3.8 V8 – Vitrages

Les surfaces vitrées sont essentielles dans n'importe quel type de bâtiment. Ces dernières permettent de bénéficier d'apports solaires en hiver et d'être autonome en lumière, à condition que ces surfaces soient bien maîtrisées. Pour modifier les surfaces vitrées dans le modèle Pléiades et pour ne pas créer de conflits avec la géométrie du bâtiment, il a été décidé de modifier la hauteur du vitrage et de vérifier à chaque fois s'il n'y avait pas d'erreur dans l'onglet 3D de Pléiades



Figure 35 : exemple d'erreur dans Pléiades (fenêtres en conflits avec les parois)

Pour ne pas avoir de résultats erronés dues aux masques, nous avons décidé de supprimer les masques aux alentours et de ne comparer les besoins en chaud et en froid uniquement à partir de la maquette sans masque, cette maquette s'appellera OEC V0.2. L'indice d'ouverture initiale est de 18%.

	OEC V0.2	OEC V8.1	Différence	OEC V8.2	Différence	OEC V8.3	Différence
Besoins CH	24.9	25	-11%	31	+11%	32.5	+16%
Besoins FR	12.4	9	+6%	8.1	-5%	8.1	-6%

Tableau 14 : Différences des besoins de V8 par rapport à V0

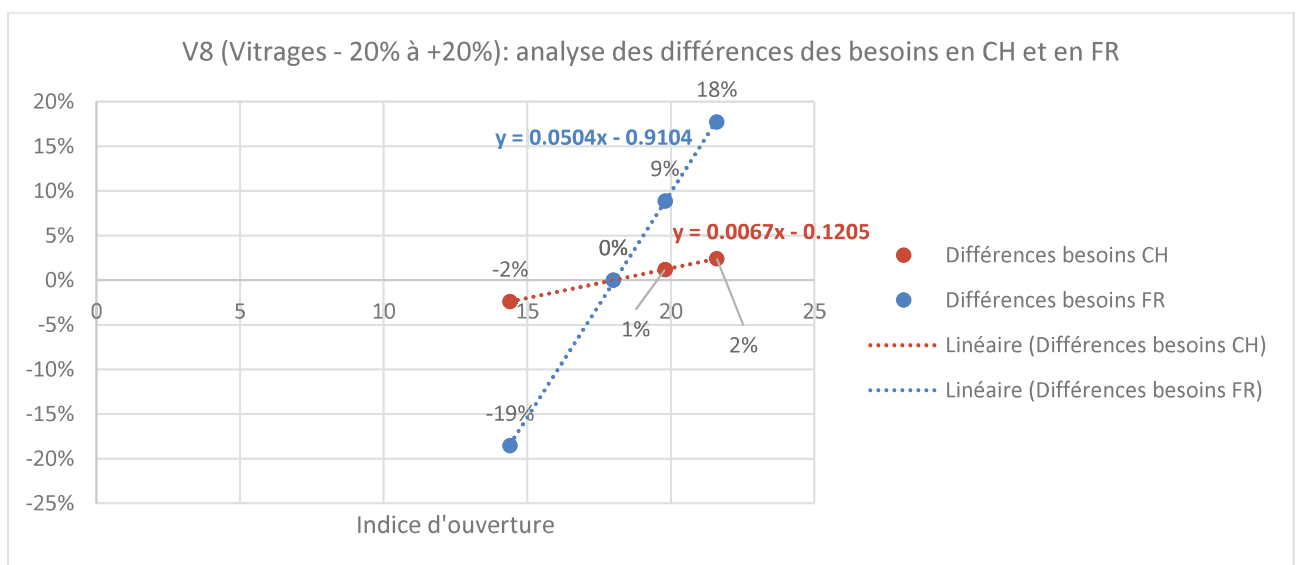


Figure 36 : Graphique des différences des besoins en fonction de l'indice d'ouverture

Les besoins en chaud et en froid ont, dans le domaine donné (14.4% à 21.6%), un comportement linéaire en fonction de l'indice d'ouverture. Le domaine étudié est plutôt représentatif de la réalité. A titre indicatif, dans l'étude de la base de données, l'indice d'ouverture allait de 10 à 28%.

Les besoins en chaud ne sont pas tellement impactés par l'indice d'ouverture, à noter que la répartition des vitrages en fonction de l'orientation n'a pas changé. Cependant les besoins en froid ont énormément évolué. Plus l'indice d'ouverture est important et plus les besoins en froid sont importants. Ceci peut s'expliquer en partie à cause du rayonnement solaire reçu qui est plus important.

### 2.3.9 V9 – Résistance thermique des parois

La performance thermique d'un bâtiment passe avant tout par l'efficacité de son enveloppe. Plus son enveloppe est isolée et moins ses besoins en chaud et en froid seront importants. Pour réaliser cette simulation, l'épaisseur des isolants des différentes parois déperditives ont été modifiés. Cependant, les résistances thermiques des cloisons n'ont pas changé car les résistances thermiques de ces dernière sont moindres comparés aux surfaces déperditives. L'affichage des résultats est basé suivant la résistance thermique des murs, toutes les surfaces déperditives ont été modifiées. La résistance thermique de base des murs est de 0.22 m<sup>2</sup>.K/W.

	OEC V0	OEC V9.1	Différence	OEC V9.2	Différence
Besoins CH	28	27	-4%	29	+4%
Besoins FR	8.5	9	-	8.1	-

Tableau 15 : Différences des besoins de V9 par rapport à V0

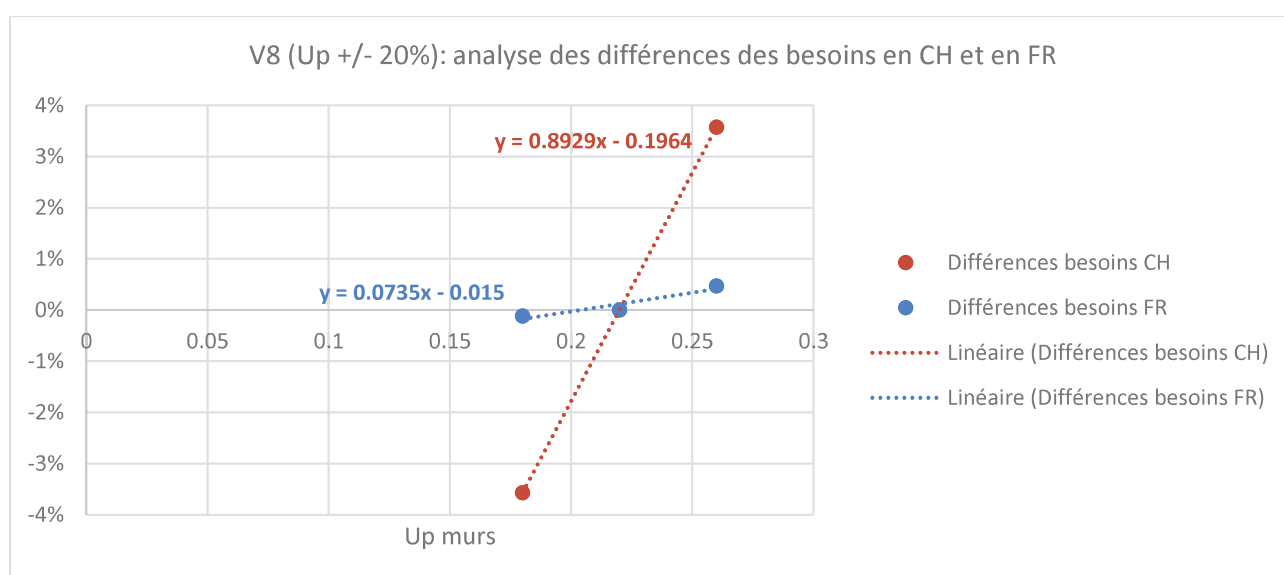


Figure 37 : Graphique des différences des besoins en fonction de Up murs

Le comportement des besoins en chaud et en froid, dans le domaine étudié, est linéaire en fonction de la résistance thermique du bâtiment. Nous  $R_{murs} = 4.17 \pm 0.834 \text{ m}^2.K/W$ ,  $R_{sol} = 5.61 \pm 1.12 \text{ m}^2.K/W$  et  $R_{toiture} = 7.36 \pm 1.47 \text{ m}^2.K/W$ , le domaine étudié est donc suffisamment représentatif de la réalité:

RT 2012 valeur de résistance thermique à atteindre		
Parois opaques	BBC 2012	BEPOS 2020
Combles	R >ou = 8	R >ou = 10
Murs	R >ou = 4	R >ou = 5
Sols	R >ou = 4	R >ou = 5

Figure 38 : Résistances thermiques conseillées dans un projet de MGP

### 2.3.10 V10 – Température de refroidissement

Pour finir, nous avons également étudié la consigne en température de refroidissement au sein du bâtiment en fonction de la consigne. Un bâtiment avec une consigne de froid plus important impliquera des besoins en froid plus important et réciproquement l'inverse avec des températures de consigne plus important. La simulation a été réalisée en ajustant la température directement dans les options du logiciel, la consigne de température de base pour le refroidissement est de 26°C.

	OEC V0	OEC V10.1	Différence	OEC V10.2	Différence	OEC V10.3	Différence
Besoins CH	28	28	-	28	-	28	-
Besoins FR	8.5	13.3	+56%	10.8	+27%	4.5	-47%

Tableau 16 : Différences des besoins de V10 par rapport à V0

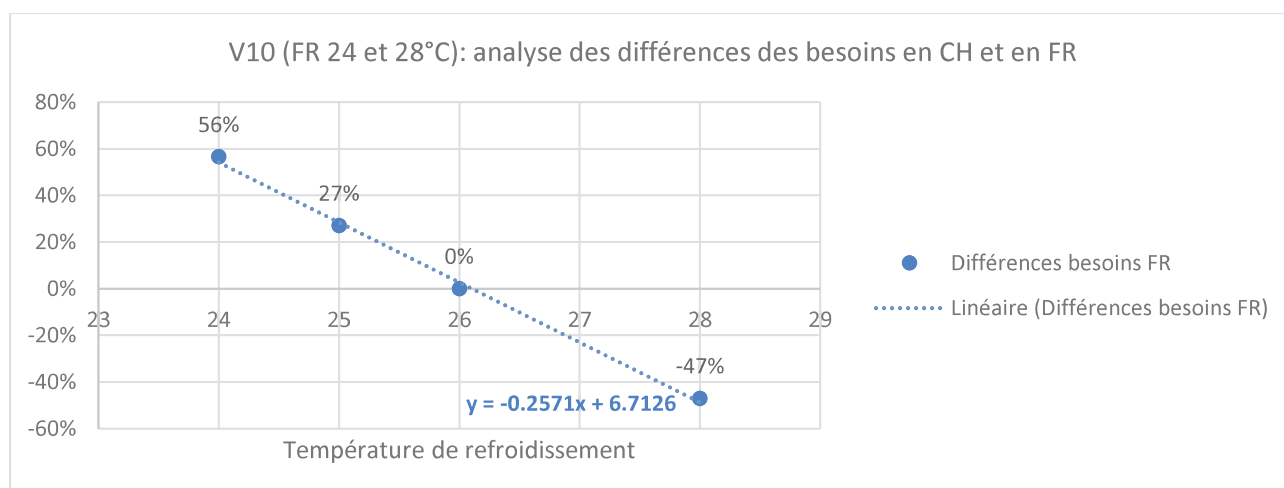


Figure 39 : Graphique des différences des besoins en fonction de la température de refroidissement

Les consommations en froid, dans le domaine étudié, sont linéaires en fonction de la température de refroidissement. Bien que les différences des besoins entre les différentes température de refroidissement semblent importants, ces dernières sont justes et ont été vérifiés de la même manière que la notice STD présent en annexe 2. En effet, les besoins en climatisations sont bien moindres comparés à ceux en chaud (comme étudié en partie 2.3.2). Si l'on regarde uniquement les écarts absolues, on remarque que l'ordre de grandeur est sensiblement le même.

	CH 19°C	CH 20°C	Différence absolue
Besoins CH	24.4 kWh/m <sup>2</sup>	28 kWh/m <sup>2</sup>	-3.6 kWh/m <sup>2</sup>

	FR 25°C	FR 26°C	Différence absolue
Besoins FR	10.8 kWh/m <sup>2</sup>	8.5 kWh/m <sup>2</sup>	+2.3 kWh/m <sup>2</sup>

**Tableau 17 : Différence absolue des consommations en CH et en FR de V2 et V10**

Le domaine étudié est bien au-delà des consignes de refroidissement dans la réalité. Il est par exemple interdit de refroidir à moins de 26°C en été<sup>19</sup>, et rare sont les bureaux à refroidir à 28°C étant donné que cette température est le seuil d'inconfort fixé depuis la RT2012<sup>20</sup>.

### 2.3.1 Conclusion des résultats des différentes variantes

Après avoir analysé toutes les variantes, la maquette a également été testée avec d'autres fichiers météo. Les fichiers météo choisis correspondent aux localisations où KATENE a le plus de projet. Des simulations ont également été effectués dans les villes de référence pour chaque zone climatiques.

<sup>19</sup> Elodie Brechet, « Pour les bureaux, ERP et logements [...] [la] limite supérieur de température pour le chauffage de ces bâtiments est fixée à 19°C. », « Depuis 2007, l'article R.242-30 du code de l'énergie interdit de faire fonctionner une climatisation si la température intérieur des locaux ne dépasse pas 26°C. », disponible sur : <https://hse-reglementaire.com/quelles-sont-les-temperatures-a-respecter-pour-le-chauffage-et-la-climatisation/>

<sup>20</sup> CEREMA, « Les DH qui s'exprime en °C.h [...] [représente] les degrés inconfortables sont conventionnellement ceux qui dépassent les 26 ou 28°C suivant les configurations extérieurs ». Disponible sur : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reglementation-environnementale-2020-quelles-evolutions-1>

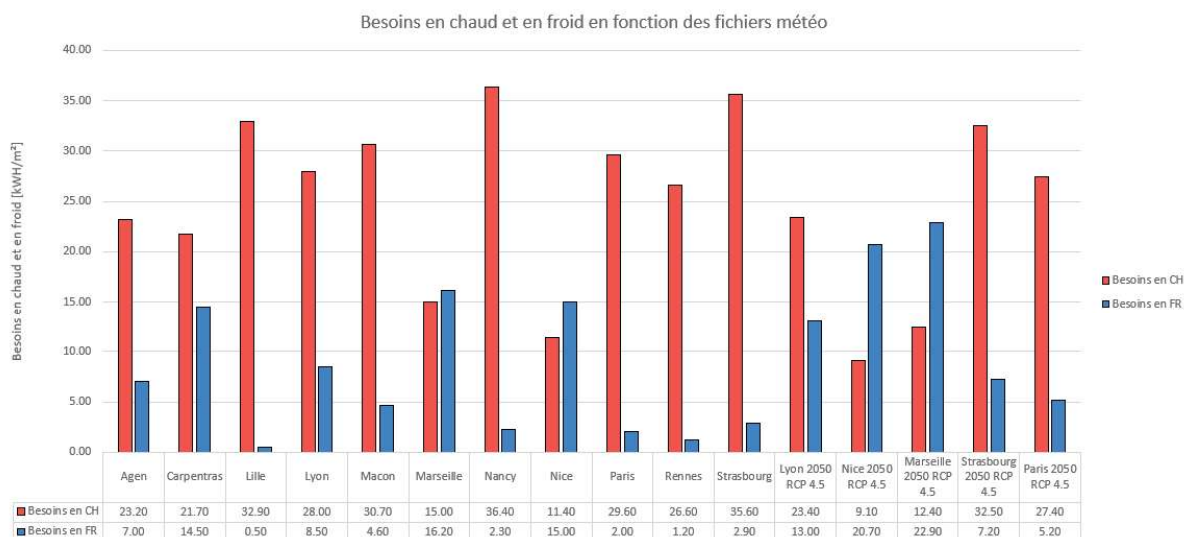


Figure 40 : Besoins contemporains et prévisions 2050 RCP 4.5 en CH et en FR de différentes villes

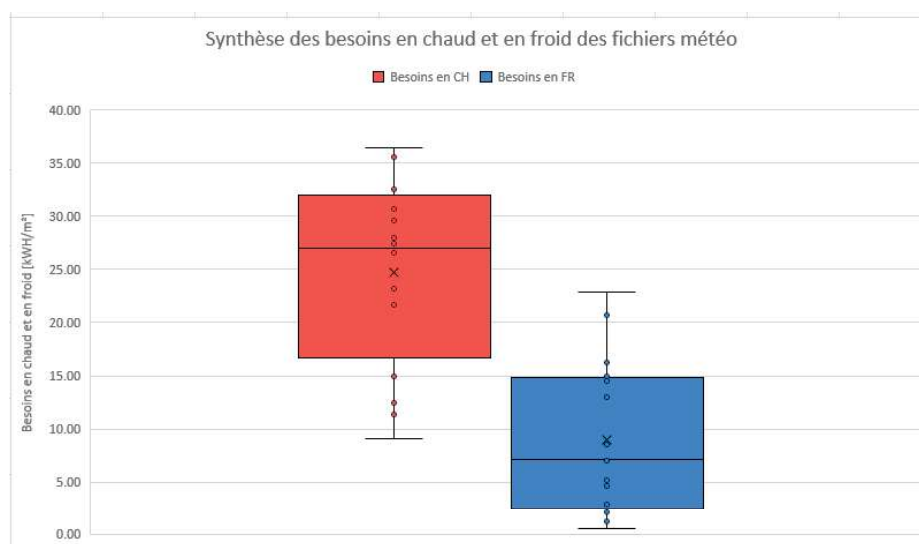


Figure 41 : Boite à moustache des besoins en CH et en FR des fichiers météos

Voici également un récapitulatif des besoins en chaud et en froid des variantes paramétriques étudiées en amont:

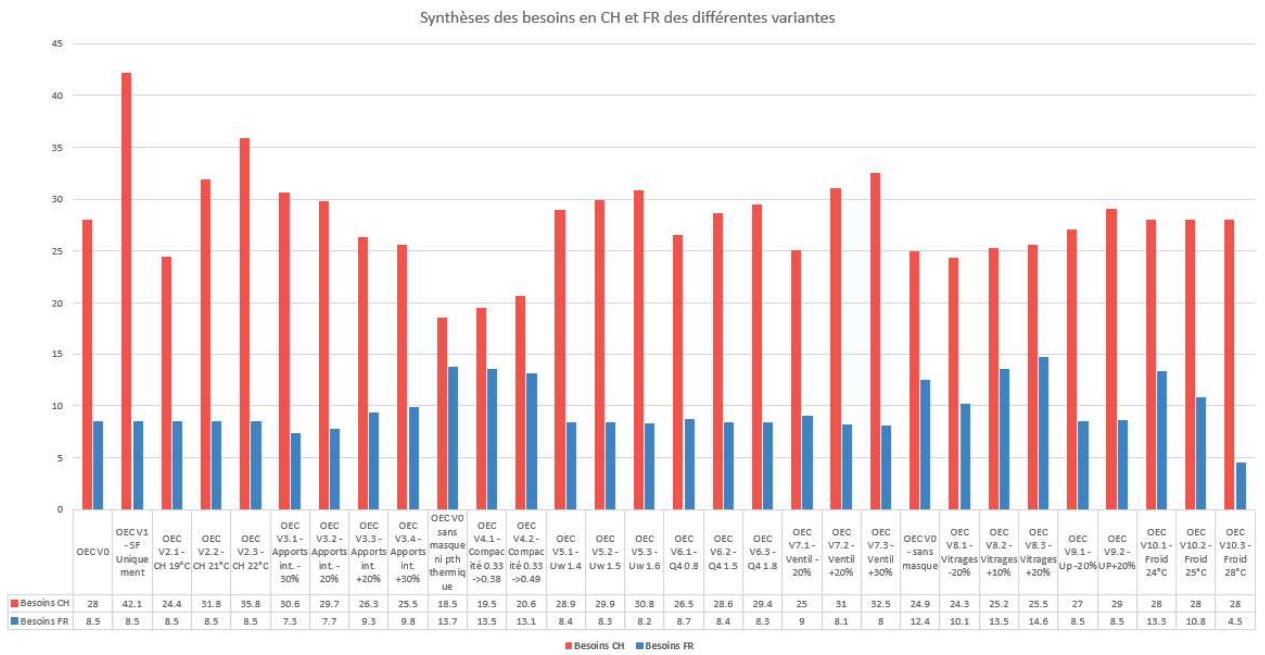


Figure 42 : Synthèse des besoins en CH et en FR des différentes variantes d'OEC

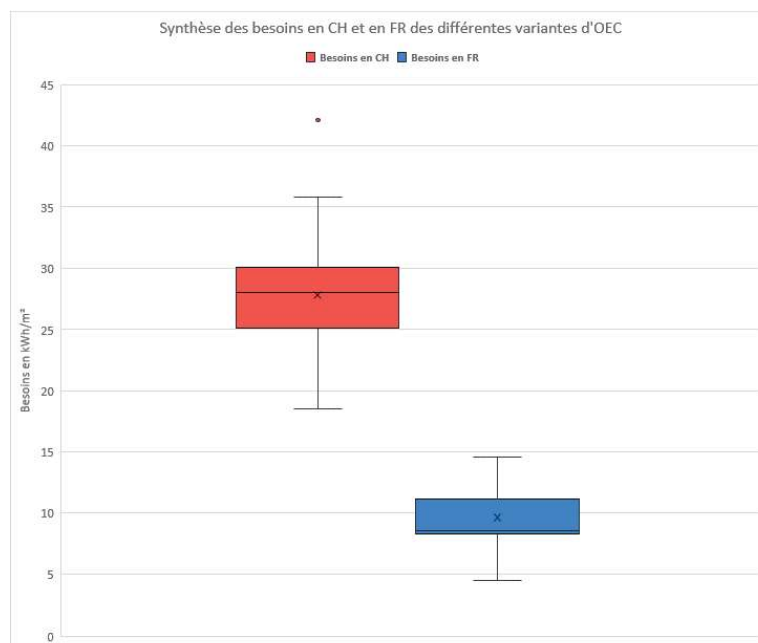


Figure 43 : Boîtes à moustache des besoins en CH et en FR des différentes variantes d'OEC

A partir de l'analyse des consommations par poste d'un bâtiment réalisé en partie 1 et des résultats, il a été possible de créer un outil d'estimation des consommations par poste pour un bâtiment type bureaux.

Bien que le nombre de variantes analysées soit conséquent, d'autres variantes auraient pu être simulées (comme les scénarios sur les BSO, la ventilation naturelle avec les ouvertures des fenêtres, etc). Les résultats auraient également être plus affinés mais compte tenu de la durée

du TFE, il est difficile de réaliser des simulations aussi poussées et aussi précises en aussi peu de temps.

### **3. OEC : Outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment type bureaux.**

Après avoir analysé des bâtiments déjà simulés et étudié un bâtiment type bureau varianté, il a été possible de créer un outil d'estimation des consommations par poste d'un bâtiment type bureaux. Pour des raisons de précision, l'outil sera séparé en deux parties : La première partie sera un outil d'estimation des consommations par poste rapide. Tandis que la deuxième sera un outil d'assistance permettant de remplir une modélisation et ses scénarios déjà renseignés initialement, il ne restera plus qu'à saisir les paramètres souhaités et l'outil indiquera les données à renseigner et où les insérer dans Pléiades.

Pourquoi avoir scindé l'outil en deux plutôt que de créer un seul outil pour estimer les consommations par poste d'un bâtiment ? Malheureusement, concevoir un tel outil est assez délicat. En effet, si l'on ne fait bouger qu'un seul paramètre, les consommations seront proches des sorties de Pléiades. Cependant, si l'on modifie plusieurs paramètres, les sorties auront d'énormes erreurs (Ce n'est pas parce qu'un paramètre X fait baisser les consommations de 40% et qu'un paramètre Y fait baisser de 60% les consommations que la différence des consommations d' $X+Y$  seront de -100%). Ce sont donc les raisons pour lesquels nous auront deux outils : un permettant d'estimer les consommations par poste d'un bâtiment avec suffisamment de paramètres, et un autre facilitant la saisie des paramètres directement dans Pléiades.

#### **3.1 Outil d'estimation des consommations rapide**

À partir des résultats analysés et vérifiés de Pléiades, j'ai pu créer un outil d'estimation rapide des consommations. Cependant, pour garantir que les résultats soient suffisamment proches de ceux obtenus avec Pléiades, j'ai décidé de définir un bâtiment de base avec des paramètres fixes. Cette approche permet de réduire considérablement les marges d'erreur dans les estimations des consommations par poste. En utilisant un modèle de référence stable, l'outil peut fournir des résultats plus précis et fiables, tout en étant rapide à utiliser.

Le modèle de base simulé est la maquette OEC évoqué en partie 2.1, les hypothèses fixes sont basées sur des valeurs réglementaires et assez proches des objectifs fixés par KATENE ou d'autre BET type. Voici les paramètres fixes pris en compte :

Hypothèses / paramètres de la simulation (non modifiable dans l'outil)		
Caractéristiques propres au bâtiment	Pourcentage SDR sur bureaux	17.30%
	Pourcentage circulation sur total	22.70%
	Surface vitrée	1101.16
	Indice d'ouverture	18%
	Q4 [m3/h/m2]	1.3
	Compacité	0.33
	Up sol (terre-plein)	0.15
	Up toit	0.11
	Up murs	0.22
	Uw	1.3
Chauffage	Consigne occupé [°C]	20
	Consigne inoccupé [°C]	16
Rafraîchissement	Consigne occupé [°C]	26
	Consigne inoccupé [°C]	32
Ventilation	Type	DF
	Régulation	CO2
	Dimensionnement densité SDR [occ./m³]	0.5
	Dimensionnement densité Bureaux [occ./m³]	0.1
	Débit SDR [m3/h/pers]	30
	Débit Bureaux [m3/h/pers]	25
	Efficacité échangeur	0.68
	SFPv DF	0.7
	SFPv SF	0.25
	SFPv moyen	0.66
Utilisation - apports internes	Apports internes bureautique [W/m²]	7.58
	ECS à 40°C [L/personne]	5
	Temps d'occupation [h]	10
	Pourcentage occupation	90%
	Réduction personnel vacances scolaires	80%
Réduction personnel Noël et été	50%	

Figure 44 : Paramètres fixes dans l'outil d'estimation des consommations rapides

Si vous souhaitez voir une démonstration en temps réel de l'outil, vous pouvez scanner le QR code suivant. Cette vidéo résume également les démarches réalisées pour la création de cet outil :

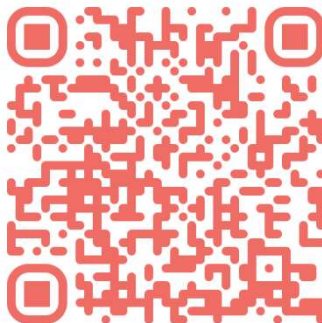


Figure 45 : Démonstration d'OECr

### 3.2 Outil d'estimation des consommations : assistance logiciel

Cette interface permet de conseiller les valeurs à rentrer dans une maquette Pléiades déjà réalisée. En effet, le problème majeur des STD réside dans le paramétrage des maquettes. On émet souvent des hypothèses calculées à la main, on recrée des scénarios déjà existants, ... Cet outil permet donc de fortement réduire le temps pris à calculer les différentes hypothèses concernant les modèles STD.

En comparaison avec l'outil d'estimation des consommations rapide, non seulement cette interface permet de réduire le temps pris pour réaliser une STD, mais il permet également de renseigner le fichier météo de son choix, ce qui n'est pas possible avec l'outil des consommations rapide qui propose des fichiers météos prédéfinis.

Comme avec l'outil des estimation des consommations rapide, si vous souhaitez voir une démonstration de l'outil en temps réel, vous pouvez cliquer sur le lien ou scanner le QR code suivant :



Figure 46 : Démonstration de l'interface d'assistance logiciel

### 3.3 Validation de l'outil et écarts avec les sorties logiciel

Cette partie concernera uniquement l'outil d'estimation rapide. L'interface permet à un utilisateur de renseigner des paramètres directement dans Pléiades.

Les comparaisons des sorties logiciel et celles de l'outil concernent principalement les fichiers météo utilisés et le débit en ventilation appliqué au bâtiment.

Colonne1	Besoins CH Pléiades	Besoins CH OEC	Pourcentage de différence des résultats CH
Agen	23.2	23.2	0.00%
Carpentras	21.7	21.7	0.00%
Lille	32.9	32.9	0.00%
Lyon	28	28	0.00%
Macon	30.7	30.7	0.00%
Marseille	15	15	0.00%
Nancy	36.4	36.4	0.00%
Nice	11.4	11.4	0.00%
Paris	29.6	29.6	0.00%
Rennes	26.6	26.6	0.00%
Strasbourg	35.6	35.6	0.00%
Lyon 2050	23.4	23.4	0.00%
Nice 2050	9.1	9.1	0.00%
Marseille 2050	12.4	12.4	0.00%
Strasbourg 2050	32.5	32.5	0.00%
Paris 2050	27.4	27.4	0.00%
		Erreur min CH	0%
		Erreur max CH	0%

Tableau 18 : Comparaison des besoins en chaud entre Pléiades et OEC (fichiers météo)

Colonne1	Besoins FR Pléiades	Besoins FR OEC	Pourcentage de différence des résultats FR
Agen	7	7.04	-0.57%
Carpentras	14.5	14.59	-0.62%
Lille	0.5	0.5	0.00%
Lyon	8.5	8.55	-0.58%
Macon	4.6	4.63	-0.65%
Marseille	16.2	16.3	-0.61%
Nancy	2.3	2.31	-0.43%
Nice	15	15.09	-0.60%
Paris	2	2.01	-0.50%
Rennes	1.2	1.21	-0.83%
Strasbourg	2.9	2.92	-0.68%
Lyon 2050	13	13.08	-0.61%
Nice 2050	20.7	20.82	-0.58%
Marseille 2050	22.9	23.04	-0.61%
Strasbourg 2050	7.2	7.24	-0.55%
Paris 2050	5.2	5.23	-0.57%
		Erreur min CH	-0.83%
		Erreur max CH	0.00%

Tableau 19 : Comparaison des besoins en FR entre Pléiades et OEC (fichiers météo)

Ventilation SDR	Besoins CH Pléiades	Besoins CH OEC	Pourcentage de différence des résultats CH
24	25	25	0.00%
30	28	28	0.00%
36	31	31	0.00%
39	32.5	32.5	0.00%
		Erreur min CH	0%
		Erreur max CH	0%

Tableau 20 : Comparaison des besoins en CH entre Pléiades et OEC (Ventilation)

Ventilation SDR	Besoins FR Pléiades	Besoins FR OEC	Pourcentage de différence des résultats FR
24	9	8.96	0.45%
30	8.5	8.55	-0.58%
36	8.1	8.14	-0.49%
39	8	7.94	0.76%
		Erreur min CH	-0.58%
		Erreur max CH	0.76%

Tableau 21 : Comparaison des besoins en FR entre Pléiades et OEC (ventilation)

OEC permet donc d'avoir une marge d'erreur de plus ou moins un pourcent sur les fichiers météo prédéfinis et sur les paramètres de ventilations. Des estimations sur les besoins et par conséquent les consommations pourront être réalisés en moins de 15 minutes et ce avec une marge d'erreur très faible.

Les différentes erreurs sont dues à l'estimation des consommations en auxiliaires ayant un impact sur les consommations en chaud et en froid. Comme étudié en partie 2.3.7, l'impact de la ventilation sur les besoins en chaud et en froid est linéaire.

# Conclusion

---

Une part importante des missions des bureaux d'études consiste à répondre à des appels d'offres, qu'ils soient publics ou privés. Pour remporter ces appels, le groupement ayant le mieux répondu aux aspects techniques imposés et ayant proposé le projet le moins coûteux aura le plus de chances de gagner le concours et la prime associée. Dans ce cadre, de nombreuses études sont réalisées pour valider et promouvoir les différents aspects techniques proposés.

Dans le cadre des réponses aux appels d'offres et pour les bureaux d'études spécialisés en fluide et thermique, les simulations thermiques dynamiques jouent un rôle crucial. En effet, elles permettent d'estimer les besoins en chauffage et en refroidissement (ainsi que les consommations) d'un bâtiment à partir d'une modélisation et des hypothèses renseignées. Cependant, un marché dure environ un mois, et une simulation thermique dynamique (STD) peut prendre jusqu'à trois semaines. Cela signifie qu'une personne pourrait ne pas être en mesure de réaliser d'autres études intéressantes et valorisantes pendant cette période. Étant donné le risque élevé de perdre un concours, l'objectif est de fournir une estimation proche des sorties logicielles tout en minimisant le temps nécessaire.

Dans ce contexte, la création d'un outil permettant de réduire le temps d'étude est particulièrement utile. Toutefois, en raison de la complexité et du grand nombre de paramètres, il a été décidé dans ce travail de fin d'études (TFE) de se concentrer uniquement sur les bureaux, qui représentent environ 30 % des projets dans le cadre des marchés globaux de performance (MGP).

Dans un premier temps, des études de consommation ont été réalisées sur des bâtiments déjà simulés. Cette démarche a permis de mieux comprendre comment les bâtiments tertiaires de type bureaux consomment sur différents postes (chauffage, refroidissement, éclairage, eau chaude sanitaire, auxiliaires, et bureautique). Certaines estimations dites « grosse maille » peuvent être réalisées avec précision et suffisent largement. C'est le cas des consommations d'éclairage, d'eau chaude sanitaire (ECS), et des auxiliaires. Cependant, les consommations en chauffage et en refroidissement ne peuvent pas être précisées uniquement avec des calculs en grosse maille en raison de leur complexité et du nombre de paramètres impliqués.

Après avoir analysé les différentes consommations par poste de plusieurs bâtiments déjà modélisés, il a été décidé d'évaluer l'impact de différents paramètres sur une modélisation type bureaux. À partir de ces résultats, il a été possible d'établir le comportement de chaque paramètre sur une plage donnée, correspondant principalement aux valeurs pouvant être renseignées dans des projets de type MGP. Ces analyses ont conduit à la création d'un outil d'estimation des consommations par poste pour un bâtiment de type bureaux. En raison de la complexité de la réalisation d'un outil capable de combiner les résultats de plusieurs variantes, il a été décidé de scinder l'outil en deux parties :

L'outil d'estimation rapide : Permet d'obtenir les différentes consommations d'un bâtiment à partir de la surface chauffée, du débit ventilé spécifique, de la localisation et des types d'équipements. Cet outil fournit des résultats en moins d'une heure, mais il est limité en termes de détail. Il est particulièrement utile dans le cadre d'un appel d'offres où le temps est extrêmement limité.

L'outil d'assistance : Permet d'obtenir des résultats plus proches de ceux souhaités en se basant directement sur les sorties du logiciel de simulation. Il facilite la saisie des paramètres dans Pléiades à partir d'une maquette déjà modélisée et de scénarios prédéfinis. Cette approche permet d'obtenir des résultats précis en quelques jours, avec la possibilité d'utiliser des fichiers météo spécifiques fournis lors des appels d'offres, plutôt que ceux prédéfinis dans l'outil d'estimation rapide.

Ces deux outils représentent deux approches différentes pour estimer les consommations. La première est rapide mais moins détaillée, tandis que la seconde est plus longue mais offre une précision accrue. Toutefois, les résultats resteront forcément différents d'une véritable STD réalisée avec les plans fournis par l'architecte, et des paramètres détaillés (parois, menuiseries, masques, occupation, véritables usages, etc.).

Les simulations thermiques et énergétiques dynamiques sont actuellement le meilleur moyen d'estimer les consommations d'un bâtiment. Cependant, la différence entre les consommations estimées et les consommations réelles réside souvent dans l'utilisation réelle du bâtiment. Les bureaux d'études peuvent uniquement conseiller et émettre des hypothèses, mais les utilisateurs du bâtiment peuvent ne pas toujours suivre ces recommandations. Il est toutefois possible de suivre les consommations du bâtiment au fil des années et d'ajuster les consignes définies par les utilisateurs. Le retour d'expérience des utilisateurs, leur mode de vie, et la sensibilisation à l'utilisation du bâtiment peuvent significativement réduire les besoins et permettre de se rapprocher des résultats simulés.

En outre, les fichiers météo utilisés pour les simulations actuelles sont basés sur des moyennes des 30 dernières années. Cette méthode était utile lorsque les températures étaient relativement constantes d'année en année. Cependant, cette méthode est désormais obsolète, car les records de température sont battus chaque année. Les fichiers météo utilisés proviennent des aéroports et ne prennent pas toujours en compte le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Il serait pertinent, pour améliorer les résultats des simulations, de considérer les particularités du site étudié et d'utiliser des températures plus pessimistes pour simuler les îlots de chaleur urbains.

# Bibliographie

---

## Sites internet

- « Ingénierie coopérative », Quadriplus, disponible sur : <https://quadriplus-groupe.com/>
- « Mise en concurrence dans les marchés publics et procédures », disponible sur : <https://services.totalenergies.fr/particuliers/conseils/energies-habitat/chauffage/baisser-chauffage-un-degrefr>
- « Réussir la procédure d'appel d'offres privés », Saqara, disponible sur : <https://www.marche-public.fr/Marches-publics/Definitions/Entrees/Marche-global-performance.htm>
- « Marché global de performance », disponible sur : <https://www.marche-public.fr/Marches-publics/Definitions/Entrees/Marche-global-performance.htm>
- « Délai de réception des offres – Délais de remise des offres », Code commande publique, disponible sur : <https://www.code-commande-publique.com/delais-de-reception-des-offres/com>
- « Observatoire de la RT2012 », disponible sur : <http://observatoire.rt-2012.com/>
- « Tout savoir sur le décret tertiaire : obligations et solutions pour réduire vos consommations d'énergie », EDF, disponible sur : <https://www.edf.fr/entreprises/le-mag/le-mag-entreprises/decryptage-du-marche-de-l-energie/tout-savoir-sur-le-decret-tertiaire-obligations-et-solutions-pour-reduire-vos-consommations-d-energie>
- « Equipement d'éclairage », Manuel d'utilisation par Izuba, disponible sur : [https://docs.izuba.fr/v4/fr/index.php/%C3%89clairage\\_\(Biblioth%C3%A8que\)](https://docs.izuba.fr/v4/fr/index.php/%C3%89clairage_(Biblioth%C3%A8que))
- « Climatisation à débit de réfrigérant variable », energieplus, disponible sur : <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/systemes-d-emission-de-froid/systemes-autonomes-a-detente-directe/climatisation-a-debit-de-refrigerant-variable/>
- « La pression dans les réseaux aérauliques et le coefficient SFP », Swegon, disponible sur : <https://energieplus-lesite.be/techniques/climatisation8/systemes-d-emission-de-froid/systemes-autonomes-a-detente-directe/climatisation-a-debit-de-refrigerant-variable/>
- « Evaluation de la qualité environnementale du bâtiment », diagobat, disponible sur : <https://www.construction21.org/france/data/sources/users/4713/preass-breeam-lomme-iii-qeb-d-151023b.pdf>
- « VMC Double Flux : principe de fonctionnement et avantage », disponible sur : <https://www.rt-2012.com/actualites/technique/vmc-double-flux-principe-de-fonctionnement-avantage/>
- « Pourquoi baisser le chauffage de 1 degré ? », TotalEnergies, disponible sur : <https://services.totalenergies.fr/particuliers/conseils/energies-habitat/chauffage/baisser-chauffage-un-degre>
- « Quelles sont les températures à respecter pour le chauffage et la climatisation ? », disponible sur : <https://hse-reglementaire.com/quelles-sont-les-temperatures-a-respecter-pour-le-chauffage-et-la-climatisation/>
- « Réglementation Environnementale 2020 : Quelles évolutions sur le confort d'été ? », Cerema, disponible sur : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/reglementation-environnementale-2020-quelles-evolutions-1>
- « L'outil SCORE ICU », construction21, disponible sur : <https://www.construction21.org/france/articles/h/loutil-score-icu.html>
- « ICEtool », Ademe, disponible sur : <https://wiki.resilience-territoire.ademe.fr/wiki/ICEtool>
- « ICE : La solution pour étudier le rafraîchissement de vos quartiers. », elioth by egis, disponible sur : <https://elioth.com/ice-la-solution-pour-etudier-le-rafraichissement-de-vos-quartiers/>

## **Vidéo**

« L'humanité fonce dans le mur ? – Entretien avec Jean-Marc Jancovici », disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=iWGaYMa90v4>

« Malette Pédagogique Découvrir Pleiades », disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=pjSvVHfZjXU&list=PLUJefeiRHtD6p7Zeoi8vdtpc2KCUMwjq>

« Los Angeles se pare de blanc pour lutter contre la chaleur », disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=meYDV32wC3Q>

## **Rapports**

« Concilier efficacité énergétique et acoustique dans le bâtiment : Guide », HAL open science, Jean-Jacques Akoua, Jean-Baptiste Chene, Salem Farkh, Rémi Foret, Catherine Guigou-Carter, Roland Wetta, Michel Villot, disponible sur : <https://cstb.hal.science/hal-04067947>

« Le calcul des centrales de traitement d'air », climaWin, disponible sur : [www.bbs-slama.com](http://www.bbs-slama.com)

« Cool Pavements Research and Technology », Kendra K., Insitute of Transportation Studies Library at UC Berkeley

« Coefficient cultural d'espèces végétales », BRL Exploitation

## **Formation**

« Ventilation et conditionnement d'air – Les systèmes de ventilation en tertiaire », Cours de ventilation de la VA BAT ENTPE, Valérie LEPRINCE.

# Annexes

---

Annexe 1 : Etude des consommations par poste d'une base de données SED

Annexe 2 : Notice STD d'OEC (vérifications des hypothèses, des entrées et des sorties)

Annexe 3 : Etude des besoins en chaud et en froid d'OEC

# Annexe 1 : Etude des consommations par poste d'une base de données SED

	Kennedy (ren)	Limoges (ren)	Villedoraine (ren)	Montballain (ren)	DDO BAT 14 (ren)	DDO BAT 6 (ren)
Caractéristiques propres au bâtiment	Zone climatique	H1c (bourg en Brenois)	H1c (Limoges)	H1c (Villedoraine)	H1c (ren)	H1c (ren)
	Présence de maques	Très peu	Modéré (de vue)	Importants	Modérés	Proches; importants
	SfP [m²]	9000	8954	13116	2769	2777
	Surface bureaux	8778.6	7224.6	1832.6	-	-
	Pourcentage circulation (SR-Bureaux et Ctx)	30%	8%	52%	-	-
	Surface vitrée	1.02.18	1.480.38	539.08	-	665.55
	Indice d'ouverture	0.10	0.17	0.20	-	Importante (sourd, J)
	Type de vitrage	Clairs	Clairs	Clairs	-	Clairs
	Gd [m³/m²]	1.2	1.7	1.3	1.2	-
	B50, B55 ou capacité de toit	B50 et Scores	B40	Scores	B50	B50
Chauffage	Compacité	0.41	0.38	0.48	-	Moyenne
	Type	RCU	PAC	VRV	Pac eau/eau	Moyenne
	Energetique	VC	Bâtiments	VC	Pac eau/eau	PAC absorption
	Type	PAC eau/eau	Network (Freecooling)	VC	Pac eau/eau	Panneaux rayonnants, sauf sanitaire avec radiateurs
	Energetique	VC	Network (Freecooling)	VRV	Pac eau/eau	Panneaux rayonnants + Basseurs
	Régulation	Horraire	Thermostat PID	-	-	-
	Consigne escale [°C]	32	32	32	-	28
	Consigne inoccupé [°C]	32	32	32	-	34
	Climatisation	OUI	OUI	OUI	-	Non
	Type	VMC DF - pas spécialement de Freecooling	VMC DF - dans certains locaux, sinon VMC SF ou Ventilation	2 CTA et VMC SF pour sanitaires essentiellement	VMC DF - sauf sanitaire avec VMC SF - peu de ventilation naturelle	VMC SF - par insulation - peu de ventilation naturelle
Ventilation	Régulation	sonde CO2 pour grands salles et DP pour les petites	sonde CO2	Horraire	SOR - DP + CO2	SOR - DP + CO2
	Qmax/m² Total	2.770	2.002	2.770	-	3.04 ateculibre
	Qmax/m² Bureaux uniquement	3.993	1.863	4.484	-	3.66 equibre
	Q03 total et bureaux uniquement	21.64%	17.9%	48.03%	-	-
	Débit SDR (m³/h/jars)	30	30	30	-	30
	Débit bureaux (m³/h/jars)	35	25	25	-	25
	Efficacité moyenne échangeur totale	0.519	0.185	0.603	-	-
	Efficacité moyenne échangeur bureaux	0.6	0.127	0.376	-	-
	SEPP moyen total	0.741	0.428	0.85	-	-
	SEPP moyen bureaux	0.76	0.212	0.626	-	-
Utilisation - apports internes	Ratio de SDR	19%	4.50%	0%	-	-
	Occupation (SDR) personne/m²	0.06	0.10	0.10	-	0.1
	Occupation (Bureaux) personne/m²	0.06	0.06	0.10	-	0.1
	Occupation (Circulation) personne/m²	0.06	0.06	0.10	-	0.1
	Apports internes locaux	4.8W/m²	4.8W/m²	6W/m²	-	8W/m²
	Vacances [1 or mois]	2 mois	2 mois	2 mois	-	2 mois
	Reduction personne été	30%	40%	50%	-	-
	Temps d'occupation [h]	8.5	5.35	9.5	-	-
	Chauffage du bâtiment	46	17.4	16.6	6.1	26.5
	Chauffage des locaux spécifiques à l'auditorium	3	0.2	2.3	8.8	0.6
Consommation par poste [kWh/m²]	Chauffage du bâtiment	1	0	0	0	1.1
	Chauffage des locaux spécifiques à l'auditorium	3	2.6	8.5	5.5	2.2
	Auxiliaires techniques (ventilateurs...)	11	7.4	12.6	12.6	3.6
	Eclairage tout type	3	1.5	4.3	0	2.1
	ICES	25	6.1	35	0	0.7
	Incendie + divers	107	36.2	59.5	16.5	22.6
	Total	39.3	52.2	20.0	20.0	16.9
	Chauffage du bâtiment	4.2	4.2	1.8	1.8	1.8
	Refroidissement du bâtiment et de locaux spécifiques à l'auditorium, salles, sas...	3.7	3.7	1.0	1.0	1.0

# OEC : NOTICE STD



Validation du modèle OEC et de ses hypothèses



Sommaire

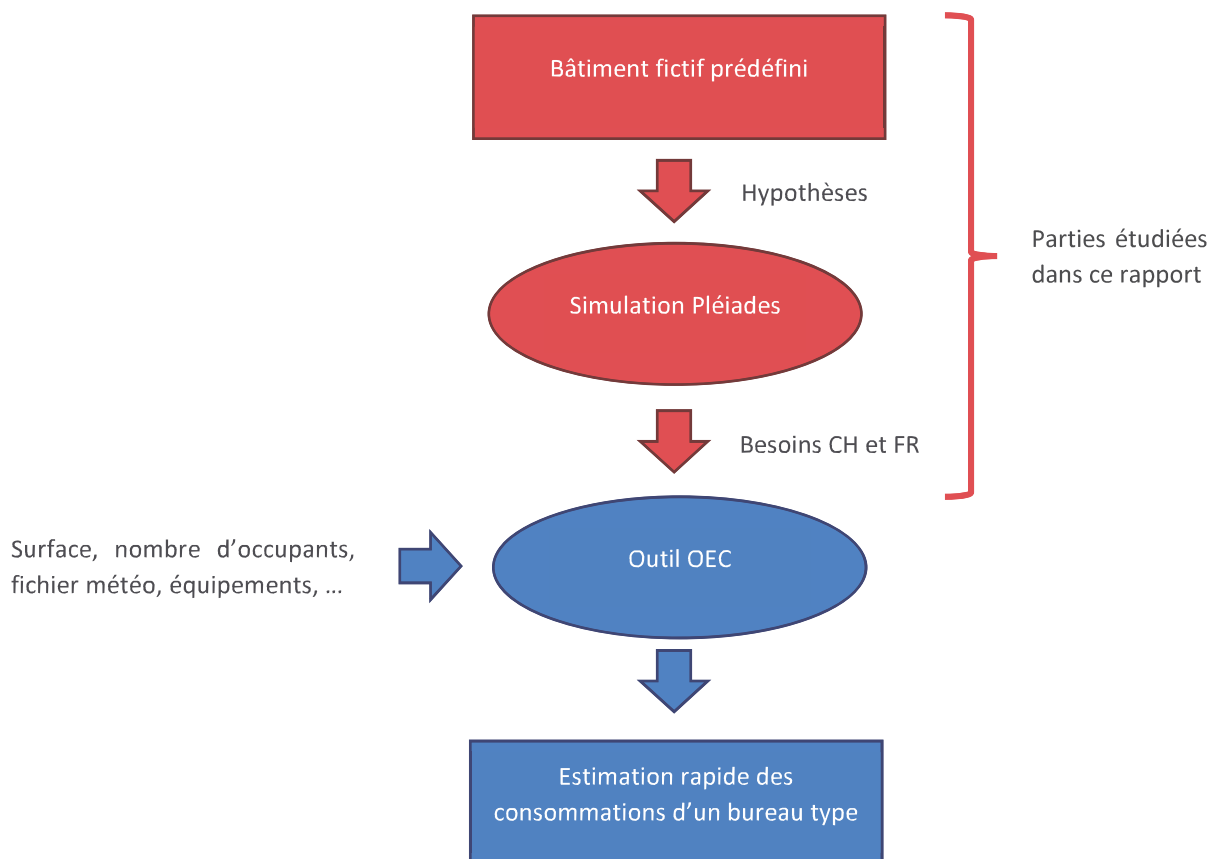
<b>1. CONTEXTE DE L'ETUDE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. GENERALITES.....</b>	<b>4</b>
3.1 LOGICIEL UTILISE .....	4
3.2 DONNEES METEOROLOGIQUES.....	4
3.3 GEOMETRIE MODELE 3D ET MASQUE .....	4
3.4 ZONAGE THERMIQUE – STD.....	6
<b>4 HYPOTHESES DE FONCTIONNEMENT .....</b>	<b>7</b>
<b>5 HYPOTHESES ENVELOPPE .....</b>	<b>8</b>
<b>6 SCENARIOS.....</b>	<b>9</b>
6.1 OCCUPATION .....	9
6.2 TEMPERATURE.....	10
6.3 PUISSANCE (APPORTS INTERNES BUREAUTIQUE) .....	11
6.4 VENTILATION .....	12
6.5 ECLAIRAGE.....	14
<b>7 HYPOTHESES SPECIFIQUES CONFORT D'ETE .....</b>	<b>14</b>
7.1 PROTECTION SOLAIRE .....	14
7.2 BYPASS ECHANGEUR .....	15
<b>8 RESULTAT.....</b>	<b>15</b>



## 1. Contexte de l'étude

Les études réalisées dans ce document permettent de vérifier les paramètres et les résultats obtenus sur le projet OEC, ce projet a été créé à partir d'un projet fictif (MINARM), un projet qui correspond à un bâtiment tertiaire type bureau. Le projet OEC (Outil d'Estimation des Consommations par poste), a pour but de créer un outil permettant de réduire significativement le temps pris pour réaliser une STD et ou SED classique. Une STD réalisée dans le cadre d'un MGP peut prendre entre 2 et 3 semaines, l'outil permettrait de passer à moins de 15 minutes.

L'objectif est d'avoir un bâtiment tertiaire (bureaux) type et d'étudier les différents paramètres et leurs comportements en sortie (linéaire, polynomiale, exponentielle, ...). Pour cela, il nous faut un bâtiment simulé initial, avec des hypothèses cohérentes et vérifiées avant de lancer plusieurs variantes, le but étant d'avoir des résultats les plus fiables possibles.



L'outil OEC se basera sur les résultats obtenus grâce aux différentes modélisations réalisées. **Ce rapport ne concernera que la V0 de la maquette OEC.**

## 2. Généralités

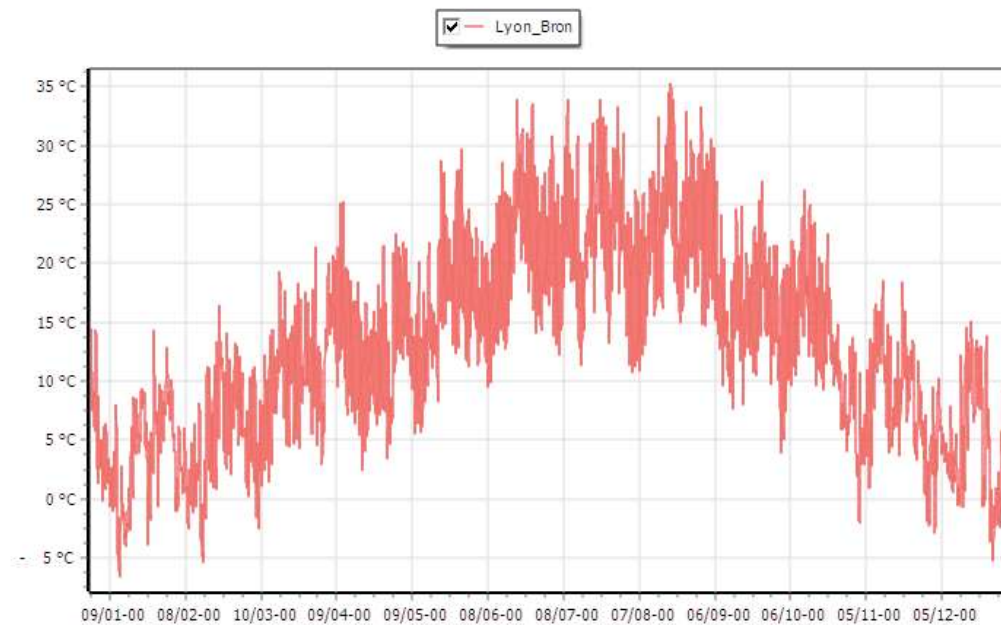
### 1. Logiciel utilisé

Le logiciel Pléiades a été utilisé pour la réalisation des calculs STD.

### 2. Données météorologiques

Le fichier météo utilisé est celui de Lyon Bron, téléchargé à partir du logiciel Meteonorm 8.

Ce fichier correspond à un scénario contemporain.



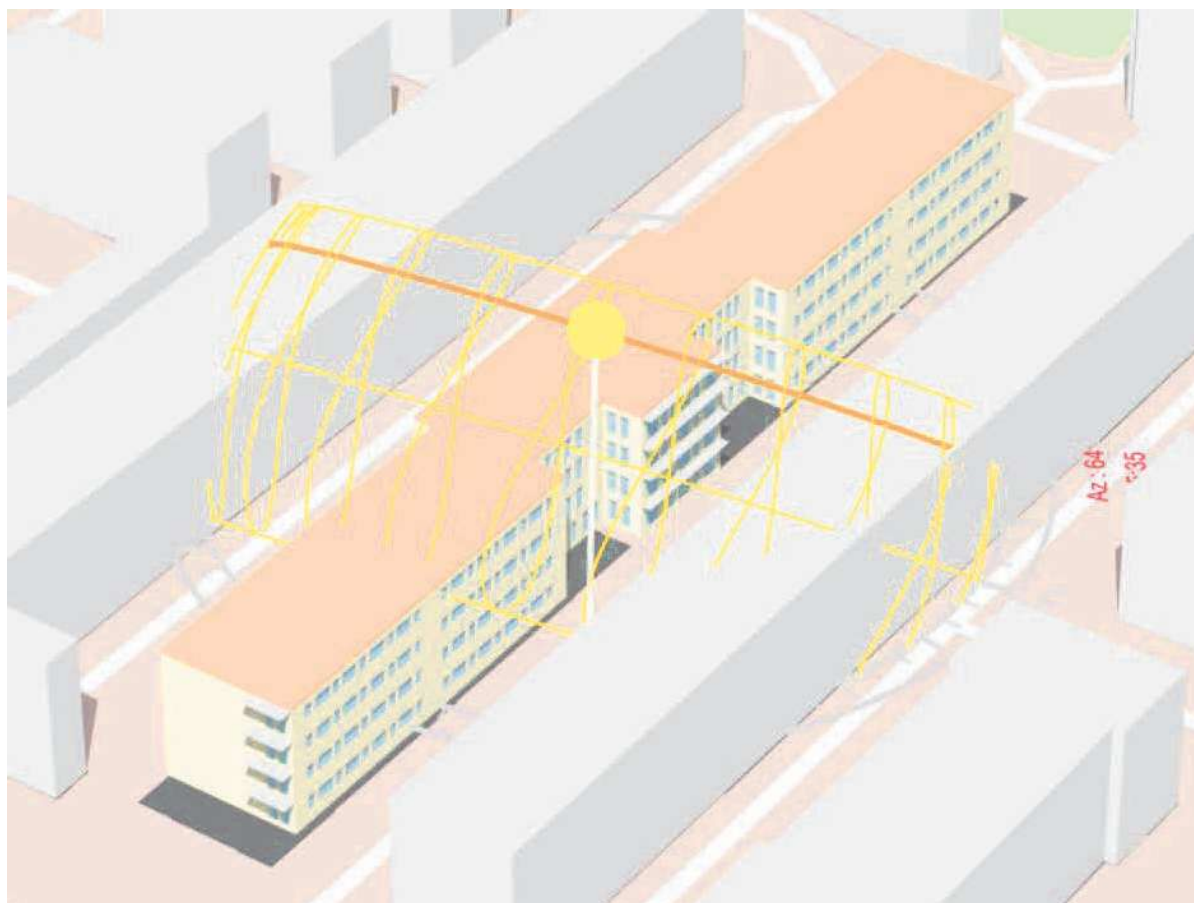
Température de l'air (°C) : fichier météo Lyon-Bron Meteonorm 8

Le fichier utilisé affiche une température maximale de **35.3 °C**, et une température minimale de **-6.6 °C**.

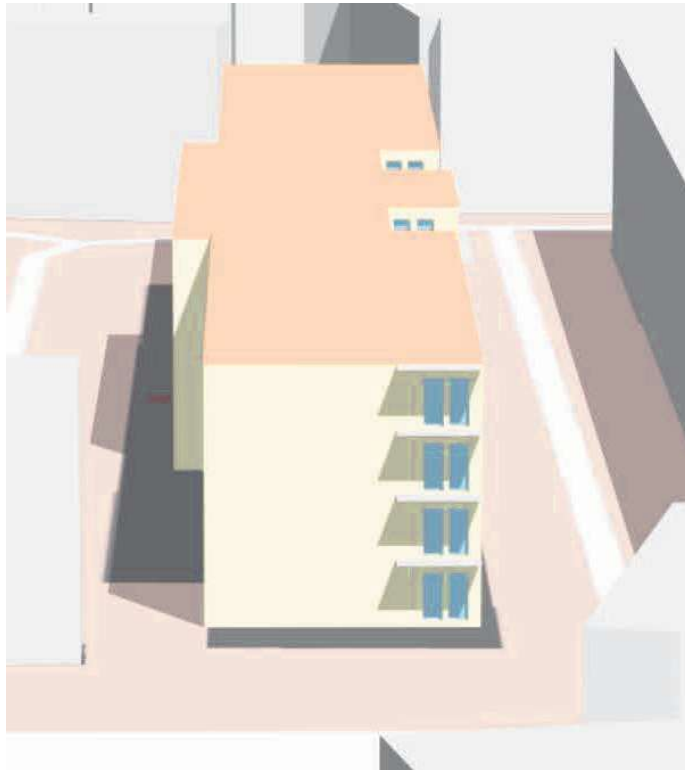
Ce fichier météo, comme expliqué précédemment correspond à un scénario contemporain.

### 3. Géométrie modèle 3D et masque

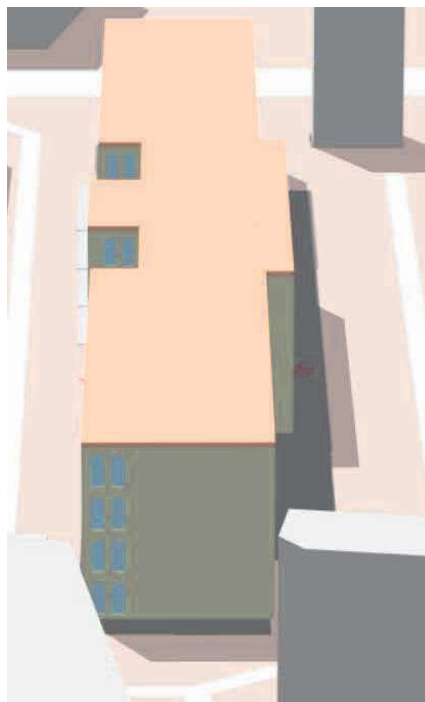
Les masques proches représentent les bâtiments aux alentours et permettent de se rapprocher d'une situation réaliste où il y aurait des bâtiments aux alentours.



*Vue masque proche*



*Vue Sud*

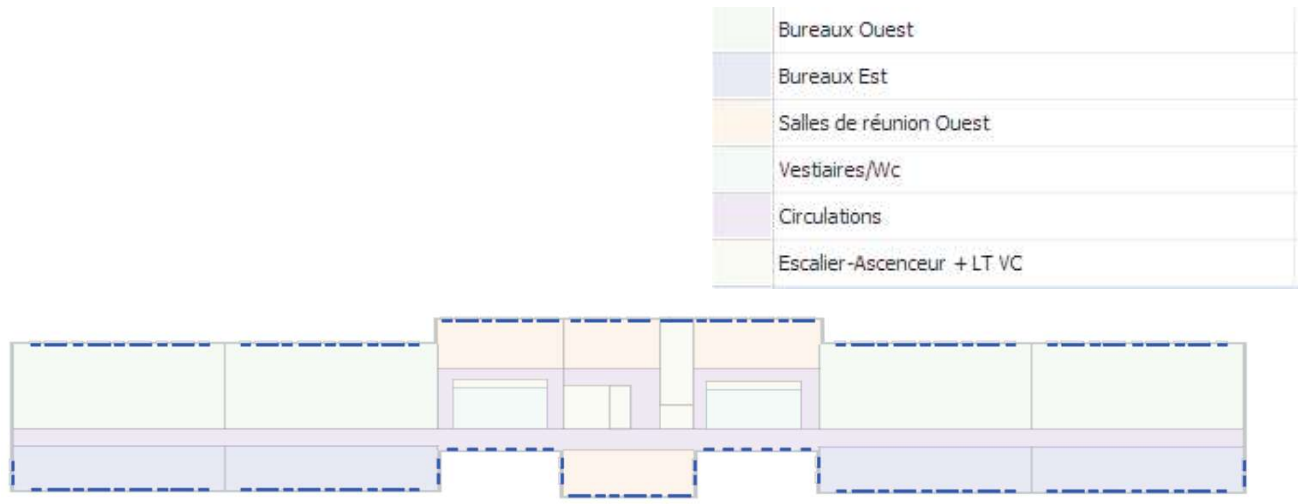


*Vue nord*

#### 4. Zonage Thermique – STD

Le zonage a été réalisé pour regrouper les zones avec des apports similaires (SDR, Bureaux, Circulation).

**Le zonage choisi pour le projet est représenté sur les extraits de plan ci-dessous :**




Plan RDC à R+3

### 3. Hypothèses de fonctionnement

Les hypothèses sont prises en compte en poste traitement en prenant en compte les coefficients correspondant au type d'équipement (PAC, RCU, pertes chauffages, conso latentes, ...). Nous regardons uniquement les besoins en chaud et en froid du bâtiment simulé.


## 4. Hypothèses enveloppe

Murs :

 MOB1 - (Laine de bois)

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R
Panneau OSB		1.000	7	0.13	0.08
Laine de bois 0.038		14.500	20	0.038	3.82
Laine de bois 0.038		4.000	6	0.038	1.05
Plâtre gypse		1.300	16	0.42	0.03

Composition de MOB1

 MEE2 - Sous bardage

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R
Laine de verre 0.036		18.000	2	0.036	5.00
Béton lourd		20.000	460	1.75	0.11
Placoplatre BA 13		1.30	11	0.325	0.04

Composition de MEE2


Avec les ponts thermiques (chacun de 0.03 K.W/m<sup>2</sup>) et les Rsi (0.13 m<sup>2</sup>.K/W) et Rse (0.04 m<sup>2</sup>.K/W), les **Up<sub>murs</sub> de ces deux parois sont égaux à 0.22 K.W/m<sup>2</sup>** (Résultats Pléiades vérifiés).

Exemple :

$$Up_{MOB1} = \frac{1}{0.08 + 3.82 + 1.05 + 0.03 + 0.17} + 0.03 = 0.22 \text{ K.W/m}^2$$

$$Up_{MEE2} = \frac{1}{5.00 + 0.11 + 0.04 + 0.17} + 0.03 = 0.22 \text{ K.W/m}^2$$

Toiture :

 PH1 Toiture terrasse + PUR



Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R
Polyuréthane lambda 0.023		20.000	7	0.023	8.70
Béton lourd		20.000	460	1.75	0.11

Composition de la toiture

Avec les Rsi (0.10 m<sup>2</sup>.K/W) et les Rse (0.04 m<sup>2</sup>.K/W), nous obtenons **Up<sub>toit</sub> = 0.11 K/W.m<sup>2</sup>** (Résultats Pléiades vérifiés).

Sol (terreplein) :

## PB1 Plancher bas sur LNC - flocage sous dalle

Composants	T	cm	kg/m <sup>2</sup>	λ	R
Flocage 0.039		16.000	4	0.039	4.10
Béton lourd		20.000	460	1.75	0.11

Composition du Plancher bas

En prenant les Rsi (0.17 m<sup>2</sup>.K/W) et Rse (0 m<sup>2</sup>.K/W car en contact avec le sol), nous obtenons Up<sub>sol</sub> = 0.15 K.W/m<sup>2</sup> (Résultats Pléiades vérifiés).

**Cloisons** : les cloisons en place ont une R<sub>th</sub> de **0.24 m<sup>2</sup>.K/W** .

**Planchers intermédiaires** : les planchers intermédiaires ont une R<sub>th</sub> de **0.11 m<sup>2</sup>.K/W** .

**Murs de refend** : les murs de refend ont une R<sub>th</sub> de **0.11 m<sup>2</sup>.K/W** .

## 5. Scénarios

### 1. Occupation

Nous avons dimensionné la densité en occupation pour les bureaux et les salles de réunion en nous basant sur les **occupations règlementaires** des bureaux pour le dimensionnement des ventilations (**1p/10m<sup>2</sup> en bureaux et 1p/2m<sup>2</sup> pour les SDR**). La surface totale chauffée du bâtiment est de **6132.99 m<sup>2</sup>**, le pourcentage de bureaux sur tout le bâtiment est d'environ 64% (**22.7% de Circulation, et 17.3% de bureaux** en excluant les circulations et les sanitaires).

$$N_{occupants} = S_{chauffée} \times \%_{Bureaux} \times 0.1 = 392 \text{ occupants}$$

Ces **392 occupants** sont présents de **8h à 18h** et sont traduits par une densité d'occupation de **0.08 Occup ./m<sup>2</sup>** .Pour prendre en compte les personnes arrivants plus tard, partants plus tard ou partants entre midi et deux, nous avons décidé de diviser par deux le nombre d'occupants de 8h à 9h, de 12h à 14h et de 17h à 18h. Pour prendre en compte les personnes en télétravail, nous avons pris en compte 90% de la valeur initiale.

Pendant les vacances scolaires, l'effectif est réduit à 70% de la valeur initiale.

Pendant les vacances d'été et Noël, l'effectif est réduit à 50% de la valeur initiale.

-  Occupation Bureaux
-  Occupation SDR

Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Classique	0	0	0	0	0	0	0	0	45	90	90	90	45	45	90	90	90	45	0	0	0	0	0	0
WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Noël et été	0	0	0	0	0	0	0	0	25	50	50	50	25	25	50	50	50	25	0	0	0	0	0	0
Vacances scolaires	0	0	0	0	0	0	0	0	35	70	70	70	35	35	70	70	70	35	0	0	0	0	0	0

Pourcentages appliqués à l'occupation en fonction des jours



Calendrier appliqué pour les occupations

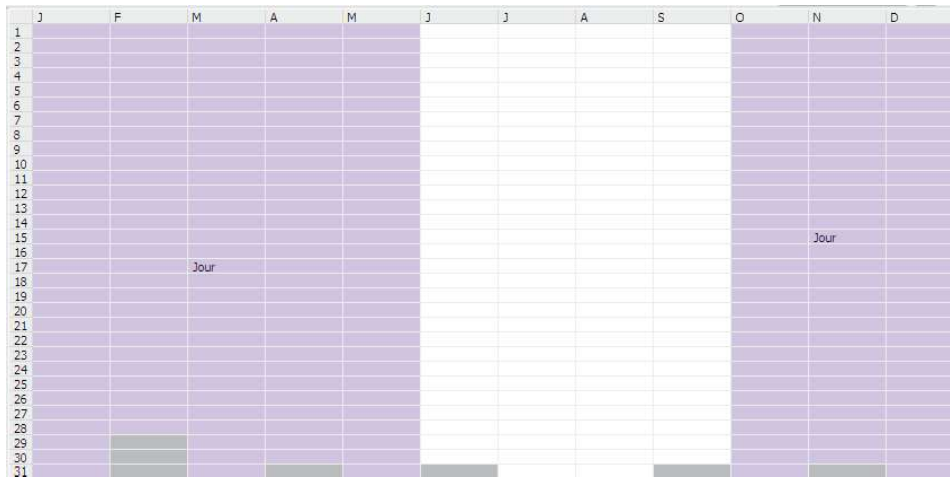
## 2. Température

**Chauffage :** La température de consigne est de 20°C, elle est de 17°C en semaine en dehors des plages d'occupations et finalement à 16°C pendant les week-ends. La mise en température se fait progressivement, de degré en degré à partir de 6h. La période de chauffe se fait du 1<sup>er</sup> janvier au 31 mai et reprend du 1<sup>er</sup> octobre jusqu'au 31 décembre.

### ! Chauffage 20°C

Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Semaine	17	17	17	17	17	17	18	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17	17	17	17	17	17
Week-end	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Consigne de chauffage en période de chauffe



Période de chauffe

**Refroidissement** : le refroidissement a un fonctionnement similaire au chauffage. La température de consigne est de 26°C, la température en dehors des plages d'occupation est de 32°C. Le refroidissement se fait le reste de l'année à savoir du 1<sup>er</sup> juin au 30 septembre.

### Climatisation 26°C

Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Semaine	32	32	32	32	32	32	28	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	32	32	32	32	32	32
Weekend	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32

Consigne de refroidissement en période de refroidissement

### 3. Puissance (apports internes bureautique)

Les apports internes ont été dimensionnés à partir d'une étude sur les apports internes réalisée sur un groupement de bâtiments<sup>1</sup>. D'après cette étude, la consommation moyenne en bureautique, serveur compris, est de 20 kWh/m<sup>2</sup>/an et est en moyenne de 13.7 kWh/m<sup>2</sup>/an sans serveur. Nous nous sommes basés sur 80% de la consommation en bureautique sans serveur pour nous rapprocher de la réalité, cette valeur a été traduite en apports internes, en W/m<sup>2</sup>, dans les bureaux et dans les salles de réunion.

Les apports internes ont ainsi été dimensionnés à partir de Pléiades et de son interface permettant de passer d'apports internes en consommation pour la bureautique, voici donc les paramètres appliqués pour obtenir nos 13.7 kWh/m<sup>2</sup>/an à 80%.

<sup>1</sup> Une étude des consommations en bureautique a été réalisée sur IVD, un groupement de plusieurs bâtiments, notamment des bureaux.

Apports bureautique	
Colonne1	Valeurs
Conso réel (bureautique + serveurs)	20
Conso dissipée (bureautique)	13.7
Coef Pléiades (après calendrier, 1W= ...kWh/m²?)	1.87
S chauffée	6133
% Bureaux_SU	77.3%
S_bureaux&SDR	4741
P_dis à renseigner	7.58
E dissipée Pléiades	14.18

#Remarque: La conso dissipée (bureautique) correspond à la consommation bureautique hors serveur, on considère que 80% de cette valeur la est dissipée en chaleur

Calcul des apports internes sur Excel

Unité Valeur de base  W/m² Total kWh/m²/an

Interface Pléiades pour les apports internes

A noter que l'énergie dissipée sur Pléiades prend en compte la surface où les apports internes sont pris en compte et non la surface utile chauffée du projet. En voici la preuve :

$$E_{réel} = E_{Pléiades} \times \%_{Bureaux} = 14.18 \times 0.773 = 10,96 \text{ kWh/m}^2$$

La valeur obtenue correspond bien aux 80% de la consommation en bureautique, serveurs exclus.

Concernant le scénario des apports internes, ils sont identiques à la période d'occupation du bâtiment:

}}}} Apports internes bureaux et SDR

Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Classique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	100	100	100	50	50	100	100	100	50	0	0	0	0	0
WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Noël et été	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	50	50	50	25	25	50	50	50	25	0	0	0	0	0
Vacances scolaires	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	70	70	70	35	35	70	70	70	35	0	0	0	0	0

Apports internes en bureautique

#### 4. Ventilation

**Ventilation des Bureaux :** elle a été dimensionnée suivant les valeurs règlementaires à savoir :

- Densité d'occupation de 0.2 occupant / m² (1+1 personnes / 10 m²)
- Débit règlementaire : 25m³/h/occupant

A partir de ces valeurs-là, nous avons pu dimensionner la ventilation pour les bureaux :

$$Débit_{bureau} = Débit\ règlementaire \times \frac{Densité\ d'occupation}{Hauteur\ sous\ plafond} = 25 \times \frac{0.2}{3.2} = 1.56 \text{ vol/h}$$

La ventilation dans les bureaux se fait sur les périodes d'occupation, la régulation est seulement horaire.

Ventilation DF Bureaux

Jours																								<input type="checkbox"/> Afficher le nom	
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
○	Classique	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0
○	WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Semaines							
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine	Classique	Classique	Classique	Classique	Classique	WE	WE

Ventilation DF Bureaux


**Ventilation des salles de réunion :** le paramétrage est similaire aux bureaux, voici les valeurs prises :

- Densité d'occupation de 1 occupant / m<sup>2</sup> (1+1 personnes / 2 m<sup>2</sup>)
- Débit règlementaire : 30m<sup>3</sup>/h/occupant

Cependant, pour prendre en compte la régulation des salles de réunion faite par CO<sub>2</sub>, nous avons supposé que la ventilation fonctionnait réellement à 20% de ses capacités :

$$\text{Débit}_{SDR} = \text{Débit règlementaire} \times \frac{\text{Densité d'occupation}}{\text{Hauteur sous plafond}} \times 0.2 = 30 \times \frac{1}{3.2} \times 0.2 = 1.88 \text{ vol/h}$$

La ventilation dans les salles de réunion se font sur les périodes d'occupation, on suppose que la régulation se fait via sonde de CO<sub>2</sub> et prend en compte la présence de personnes ou non. Le calendrier des occupations est dans le point « 6.1 Occupation ».

 Ventilation DF SDR

Jours																								<input type="checkbox"/> Afficher le nom	
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
○	Classique	0	0	0	0	0	0	0	0	50	100	100	100	50	50	100	100	100	50	0	0	0	0	0	0
○	WE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
○	Noël et été	0	0	0	0	0	0	0	0	25	50	50	50	25	25	50	50	50	25	0	0	0	0	0	0
○	Vacances scolaires	0	0	0	0	0	0	0	0	35	70	70	70	35	35	70	70	70	35	0	0	0	0	0	0


  

Semaines							
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine classique	Classique	Classique	Classique	Classique	Classique	WE	WE
Noël et été	Noël et été	Noël et été	Noël et été	Noël et été	Noël et été	WE	WE
Vacances scolaires	Vacances scolaires	Vacances scolaires	Vacances scolaires	Vacances scolaires	Vacances scolaires	WE	WE

**Ventilation des circulations et sanitaires :** nous avons paramétré ce dernier en prenant en compte 10% du débit insufflé nominale des salles de réunion et des bureaux. Cette ventilation souffle uniquement en période d'inoccupation car en occupation, l'échangeur de la CTA (double flux) est dégradé pour prendre en compte la ventilation simple flux.

$$\text{Débit circulation} = 0.1 \times \frac{\text{Débit}_{SDR} \times \text{Volume}_{SDR} + \text{Débit}_{Bureaux \text{ max}} \times \text{Volume}_{Bureaux}}{\text{Surface}_{circulation} \times 3.2}$$

$$\text{Débit circulation} = 0.1 \times \frac{4.69 \times 2618 + 0.78 \times 12515}{1388.69 \times 3.2} = 0.99 \text{ vol/h}$$

 Ventilation SF (Circulation et WC)

Jours																										<input type="checkbox"/> Afficher le nom
S	Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
○	Classique	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	
○	WE	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		

Semaines							
Nom	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Semaine	Classique	Classique	Classique	Classique	Classique	WE	WE

## 5. Eclairage

Pour l'éclairage, nous nous sommes basés sur une puissance d'installation de 5W/m<sup>2</sup> foisonnée à 30%. Nous éclairons uniquement sur les périodes d'occupation. Ce qui nous donne un total de **9.1 kWh/m<sup>2</sup>/an** en consommation d'éclairage.

## 6. Hypothèses spécifiques confort d'été

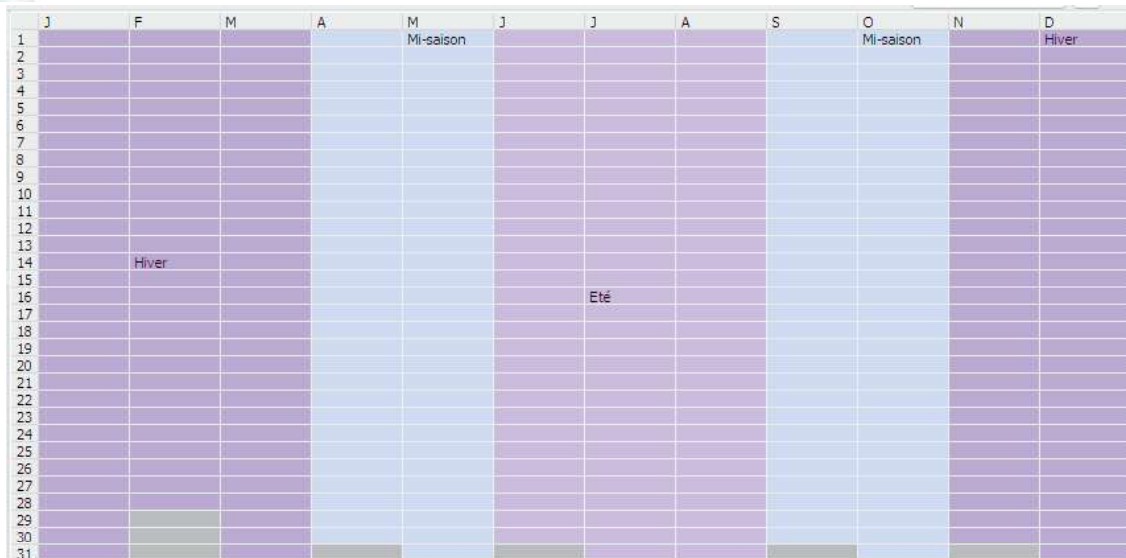
Sont décrite ici les hypothèses ayant un impact direct sur le confort estival.

### 1. Protection solaire

Nous avons considéré une gestion moyenne des BSO par façade. Les BSO sont mis en place toute la semaine de 6h à 20h. En été les BSO bloquent 60% du rayonnement solaire, en mi-saison ils bloquent 45% et finalement, en hiver, ils ne bloquent plus que 30%. En dehors de ces plages-là, les BSO ne bloquent plus aucun rayonnement solaire.

Nom	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Eté	0	0	0	0	0	0	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	0	0	0	0	
Mi-saison	0	0	0	0	0	0	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	0	0	0	0	
Hiver	0	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	0	0	0	0	

*Gestion des BSO en fonction des saisons*



Calendrier des saisons pour la gestion des BSO

## 2. Bypass échangeur

L'échangeur de la CTA est by-passé selon le calendrier, il est actif du 14 Mai (20<sup>e</sup> semaine) au 7 octobre (40<sup>e</sup> semaine).

By-pass échangeur      By-pass par dates

Première semaine: 20      Lundi 14 Mai

Dernière semaine: 40      Dimanche 7 Octobre

## 7. Résultats

Zones	Surface	Nb h. occ.	Besoins Ch.		Puiss. Chauff.		Besoins Clim.		Puiss. Clim. sensible	T* min	T* moy	T* max	T* max occ.
			kWh	kWh/m <sup>2</sup>	W	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	W					
<b>TOTAL</b>	6 343.0		171 635.8	28.0	326220	52 187.2	8.5	255512	-	-	-	-	
Bureaux Ouest	2 578.6	2600	41 028.3	15.9	106568	21 051.1	8.2	110938	18.0	22.0	27.7	27.2	
Bureaux Est	1 346.7	2600	40 986.7	30.4	83897	16 462.4	12.2	77669	17.0	21.9	28.8	28.4	
Salles de réunion Ouest	819.8	2600	27 783.3	33.9	49331	10 098.7	12.3	50600	17.0	21.8	28.7	28.1	
Vestiaires/Wc	271.0	0	11 795.2	43.5	18890	259.8	1.0	6398	17.0	21.1	27.6		
Circulations	1 116.9	0	50 042.3	44.8	91506	4 315.2	3.9	41410	17.0	21.4	28.1		
Escalier-Ascenseur + LT VC	210.0	0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0	17.6	21.3	27.2		

Voici les résultats obtenus avec les paramètres enregistrés dans Pléiades et indiqué dans les parties précédentes.

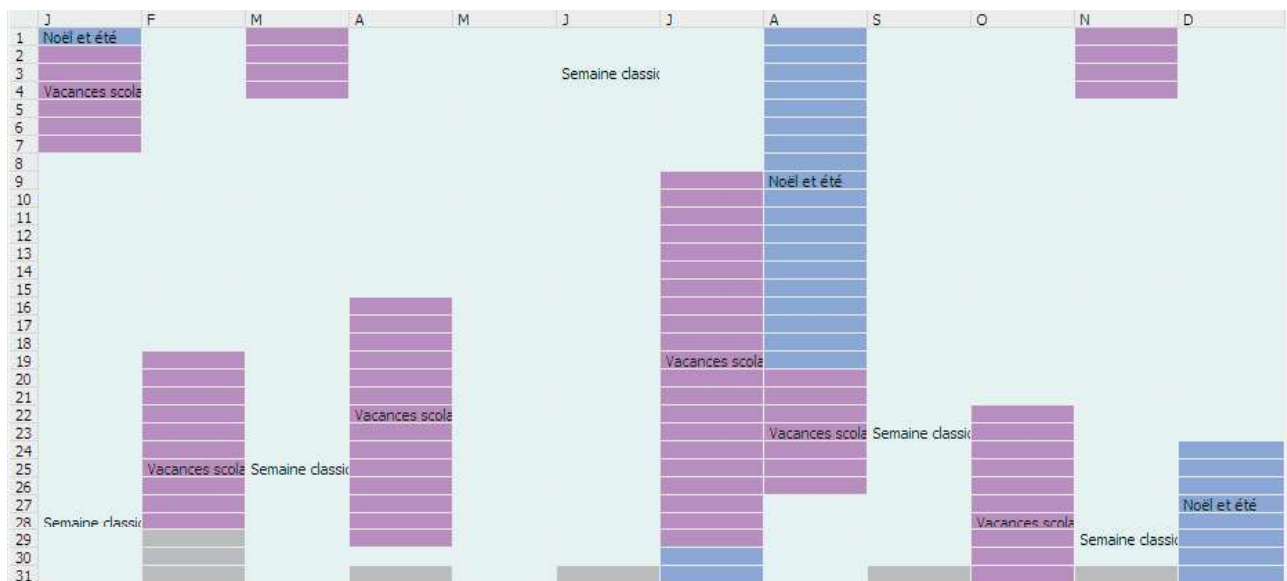
Remarque : la Surface totale indiquée est erronée, elle prend en compte les locaux non chauffés. Cependant les consommations indiquées sont justes (qu'elles soient surfaciques ou non).

## 8. Vérification des sorties logiciel

## 1. Occupation

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
1		0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	0	0	0
3		0	0	0	0	0	0
4		0	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	0
7		0	0	0	0	0	0
8		0	0	0	0	0	0
9		8992	12589	12589	12589	12589	0
10		17984	25178	25178	25178	25178	0
11		17984	25178	25178	25178	25178	0
12		17984	25178	25178	25178	25178	0
13		8992	12589	12589	12589	12589	0
14		8992	12589	12589	12589	12589	0
15		17984	25178	25178	25178	25178	0
16		17984	25178	25178	25178	25178	0
17		17984	25178	25178	25178	25178	0
18		8992	12589	12589	12589	12589	0
19		0	0	0	0	0	0
20		0	0	0	0	0	0
21		0	0	0	0	0	0
22		0	0	0	0	0	0
23		0	0	0	0	0	0
24		0	0	0	0	0	0

Sortie Pléiades : apports internes dû aux occupants



Rappel : calendrier occupation

Les valeurs du 1<sup>er</sup> jour correspondent aux Vacances Noël / été, avec un taux d'occupation à 50% de la valeur initiale (0.08 occupants/m<sup>2</sup>), les autres jours montrés correspondent à des vacances scolaires (70% de la valeur initiale).

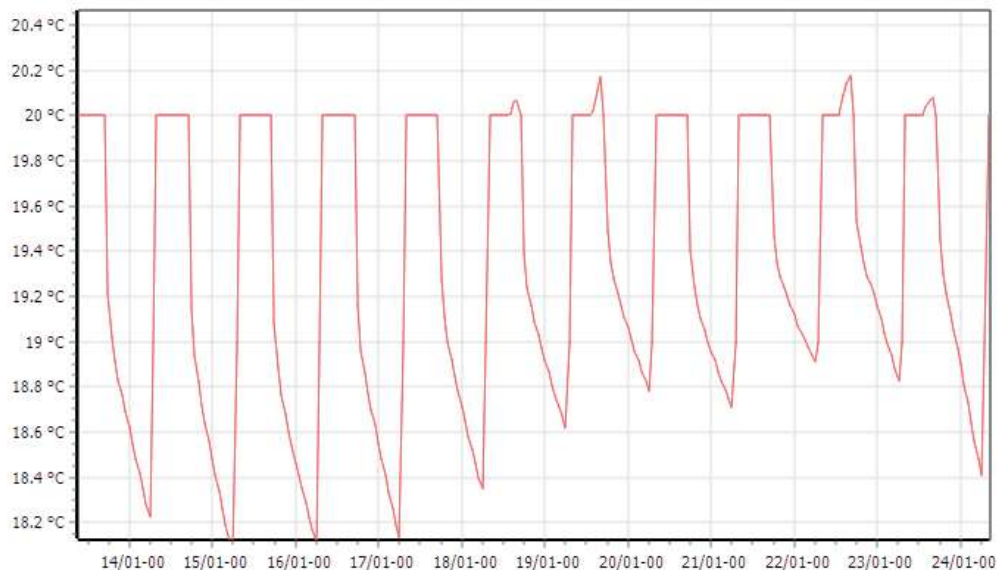
On remarque déjà que les plages horaires de 8h à 9h, de 12h à 14h et de 17h à 18h ont deux fois moins d'effectif, ce qui correspond bien à ce qui a été indiqué en partie 5.1 .

<sup>2</sup> On considère que chaque occupant dégage en moyenne 65W.

- Noël ou été
  - Plage de 8h à 9h : Apports internes de 8992 W =>  $\frac{8992}{6133 \times 65} = 0.02$  ,  $0.08 \times 0.25 = 0.02$   
Résultats en sorties cohérents avec les hypothèses.
  - Plage classique : Apports internes de 17984W (soit deux fois plus). Cela correspond donc à des apports internes de 0.04, ce qui correspond donc à 50% de l'effectif en temps normal. Sortie validée.
- Vacances scolaires
  - Plage de 8h à 9h : Apports internes de 12589 W =>  $\frac{12589}{6133 \times 65} = 0.03$  ,  $0.08 \times 0.35 = 0.03$   
Résultats en sorties cohérents avec les hypothèses.
  - Plage classique : même méthode de calcul que pour le 1<sup>er</sup> jour et résultats cohérents.
- Jours classiques
  - Plage de 8h à 9h : Apports internes de 17984 W => Densité d'occupation de 0.04 occupants/m<sup>2</sup>  
Résultats en sorties cohérents avec les hypothèses.
  - Plage classique : même méthode de calcul que pour le 1<sup>er</sup> jour et résultats cohérents.

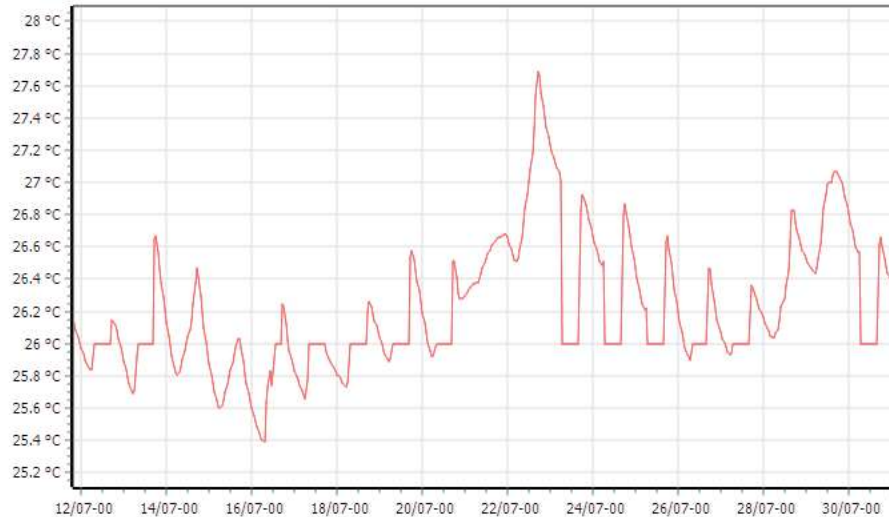
Les apports internes ont été pris en compte correctement dans Pléiades.

## 2. Température



*Sortie Pléiades : température opérative en °C dans les bureaux en période de chauffe*

La température de chauffe correspond bel et bien à la température de consigne renseignée. Les résultats en sortie pour le chauffage sont validés.



Sortie Pléiades : température opérative en °C dans les bureaux en période de refroidissement

La température de refroidissement correspond bel et bien à la température de consigne renseignée. Les résultats en sortie pour le refroidissement sont validés.

### 3. Puissance (apports internes en bureautique)

=SOMME(D7:D8743)/6133/1000					
C	D	E	F	G	H
	OEC V0				
	OEC- V0 Parois supprimée				
	TOTAL				
	OEC- V0 Parois supprimée/TOTAL				
	Puissance dissipée				
	W				
1	0.00				10.95
2	0.00				
3	0.00				
4	0.00				
5	0.00				

Sortie Pléiades : apports internes bureautique sur toute l'année

En ayant pris les résultats en sorties et en ayant fait la somme des puissances dissipées sur l'année, on arrive à 10.95 kWh/m<sup>2</sup> au lieu de 10.96. Ce qui correspond à un écart de moins de 0.1%. Les apports internes en bureautique ont bien été pris en compte comme nous le souhaitons.

### 4. Ventilation

			OEC EGR OEC- V0	OEC EGR OEC- V0	OEC EGR OEC- V0	OEC EGR OEC- V0	OEC EGR OEC- V0
			Bureaux Oue	Bureaux Est	Salles de réu	Vestiaires/Wi	Circulations
			OEC- V0/Bur	OEC- V0/Bur	OEC- V0/Sal	OEC- V0/Ves	OEC- V0/Circulations
			Ventilation ex	Ventilation ex	Ventilation ex	Ventilation ex	Ventilation externe
			m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h
1	1	1	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	2	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	3	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	4	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	5	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	6	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	7	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	8	0.00	0.00	0.00	858.48	3 538.34
1	1	9	12 872.31	6 722.79	1 232.99	0.00	0.00
1	1	10	12 872.31	6 722.79	2 465.97	0.00	0.00
1	1	11	12 872.31	6 722.79	2 465.97	0.00	0.00
1	1	12	12 872.31	6 722.79	2 465.97	0.00	0.00
1	1	13	12 872.31	6 722.79	1 232.99	0.00	0.00
1	1	14	12 872.31	6 722.79	1 232.99	0.00	0.00
1	1	15	12 872.31	6 722.79	2 465.97	0.00	0.00
1	1	16	12 872.31	6 722.79	2 465.97	0.00	0.00
1	1	17	12 872.31	6 722.79	2 465.97	0.00	0.00
1	1	18	12 872.31	6 722.79	1 232.99	0.00	0.00

Sortie Pléiades : tableau de résultats brut sorties par Pléiades

Type	Ventil SDR [m³/h]	Ventil SDR [vol/h]	% Valeur initiale
Noël et été 50%	1232.99	0.47	25%
Noël et été 100%	2465.97	0.94	50%
Vacances scolaires 50%	1726.18	0.66	35%
Vacances scolaires 100%	3452.36	1.32	70%
Classique 50%	2465.97	0.94	50%
Classique 100%	4931.95	1.88	100%

Résultats analysés pour les SDR à partir des sorties Pléiades

Les valeurs représentent exactement les valeurs renseignées en hypothèse, les sorties pour la ventilation des SDR sont donc validées.

Type	Ventil [m³/h]	Ventil [vol/h]
Circulation	4 396.82	0.99
Bureaux	19 595.10	1.56

Résultats analysés pour les circulations et les bureaux à partir des sorties Pléiades

Les valeurs représentent exactement les valeurs renseignées en hypothèse, les sorties pour la ventilation des circulations et des bureaux sont donc validées.

## 5. Eclairage

Zones	Surface	Nb h. occ.	Eclairage Elec.	Elec.
	m <sup>2</sup>	h.	kWh	kWh
<b>TOTAL</b>	<b>6 343.0</b>		<b>56 617.7</b>	-
Bureaux Ouest	2 578.6	2600	23 529.6	23 529.6
Bureaux Est	1 346.7	2600	12 288.7	12 288.7
Salles de réunion Ouest	819.8	2600	7 480.7	7 480.7
Vestiaires/Wc	271.0	0	2 472.7	2 472.7
Circulations	1 116.9	0	10 191.7	10 191.7
Escalier-Ascenseur + LT VC	210.0	0	654.1	654.1

*Sortie Pléiades : Besoins / Consommation en éclairage du projet*

En ignorant la dernière ligne (locaux non chauffés), on arrive à une consommation totale annuelle de 55963.6kWh, ce qui nous donne une consommation en éclairage de 9.1 kWh/m<sup>2</sup>. La consommation en éclairage a bien été pris en compte comme nous le souhaitons.

## 9. Conclusion

Les hypothèses formulées se rapprochant le plus possible de la réalité ont bien été pris en compte par Pléiades et nous ont donné des résultats qui après analyse présentent peu, voir aucune différence.

La VO de la maquette OEC est donc validée et permettra de simuler des variantes cohérentes qui permettront d'analyser les influences des différentes variantes sur les besoins en chaud et en froid.

### Annexe 3 : Etude des besoins en chaud et en froid d'OEC

Variantes OEC		OEC V0	OEC V1 - SF Uniquement	OEC V2.1 - CH 19°C	OEC V2.2 - CH 21°C	OEC V2.3 - CH 22°C	
Caractéristiques propres au bâtiment	SdP [m²]	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	
	Pourcentage SDR sur bureaux	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	
	Pourcentage circulation sur total	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	
	Surface vitrée	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	
	Indice d'ouverture	18%	18%	18%	18%	18%	
	Q4 [m3/h/m2]	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
	Compacité	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
	Up sol (terre-plein)	0	0.15	0.15	0.15	0.15	
	Up toit	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	
	Up murs	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	
	Uw	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
	Consigne occupé [°C]	20	20	19	21	21	
	Consigne inoccupé [°C]	16	16	15	17	17	
	Consigne occupé [°C]	26	26	26	26	26	
	Consigne inoccupé [°C]	32	32	32	32	32	
Chauffage	Type	DF	SF	DF	DF	DF	
	Régulation	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	
	Q3max/moy/m²	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
	Dimensionnement densité SDR [occ./m²]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
	Dimensionnement densité Bureaux [occ./m²]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
	Débit SDR [m3/h/pers]	30	30	30	30	30	
	Débit Bureaux [m3/h/pers]	25	25	25	25	25	
	Efficacité échangeur	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	SFPv DF	0.7	Plus de DF	0.7	0.7	0.7	
	SFPv SF	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
	SFPv moyen	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	
	Occupation bureaux [personne/m²]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
	Occupation SDR [personne/m²]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
	Apports internes bureautique [W/m²]	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	
	Utilisation - apports internes	ECS à 40°C [L/personne]	5	5	5	5	5
Temps d'occupation [h]		10	10	10	10	10	
Pourcentage occupation		90%	90%	90%	90%	90%	
Réduction personnel vacances scolaires		80%	80%	80%	80%	80%	
Réduction personnel Noël et été		50%	50%	50%	50%	50%	
Chauffage du bâtiment		28	42.1	24.4	31.8	35.8	
Refroidissement du bâtiment		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	
%différence CH V0		-	50%	-13%	14%	28%	
%différence FR V0		-	0%	0%	0%	0%	
Besoins par poste							

Variantes OEC		OEC V0	OEC V1 - SF Uniquement	OEC V2.1 - CH 19°C	OEC V2.1 - CH 21°C	OEC V2.3 - CH 22°C	OEC V3.1 - Apports int. -30%	OEC V3.2 - Apports int. -20%	OEC V3.3 - Apports int. +20%	OEC V3.4 - Apports int. +30%
Sf <sub>int</sub> [m²]		6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99
Pourcentage SDR sur bureaux		17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%
Pourcentage circulation sur total		22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%
Surface vitrée		1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16
Indice d'ouverture		18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%
Q <sub>0</sub> [m³/h/m²]		2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3
Compacité		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
Up so (terre-plein)		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Up toit		0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Up murs		0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Uw		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Consigne occupé [°C]		20	19	21	21	20	20	20	20	20
Consigne inoccupé [°C]		16	15	17	17	16	16	16	16	16
Consigne occupé [°C]		26	26	26	26	26	26	26	26	26
Consigne inoccupé [°C]		32	32	32	32	32	32	32	32	32
Type		SF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
CO2		CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2
Q <sub>max</sub> [m³/m²]		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Dimensionnement densité SDR [occ./m²]		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Dimensionnement densité Bureaux [occ./m²]		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Débit SDR [m³/h/pers]		30	30	30	30	30	30	30	30	30
Débit Bureaux [m³/h/pers]		25	25	25	25	25	25	25	25	25
Efficacité échangeur		0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
SFPV DF		0.7	Plus de DF	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
SFPV SF		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SFPV moyen		0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Occupation bureaux [personne/m²]		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Occupation SDR [personne/m²]		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Apports internes bureau/taque [W/m²]		7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58
ECS à 40°C [l/personne]		5	5	5	5	5	5	5	5	5
Temps d'occupation [h]		10	10	10	10	10	10	10	10	10
Pourcentage occupation		90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Réduction personnel vacances scolaires		80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Réduction personnel Noël et été		50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Chauffage du bâtiment		28	42.1	24.4	31.8	35.8	30.6	25.7	26.3	25.5
Refroidissement du bâtiment		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	7.3	7.7	9.3	9.8
%différence CH V0		-	48%	-13%	14%	28%	6%	-6%	-6%	-9%
%différence FR V0		-	0%	0%	0%	-14%	0%	-4%	9%	15%

Variantes OEC		OEC V0	OEC V0 sans masque ni pth thermique	OEC V4.1 - Compacité 0.33 >0.38	OEC V4.2 - Compacité 0.33 >0.49	OEC V5.1 - Uw 1.4	OEC V5.2 - Uw 1.5	OEC V5.3 - Uw 1.6
SDR [m²]		632.99	632.99	632.99	632.99	632.99	632.99	632.99
Pourcentage SDR sur bureaux		17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%
Pourcentage circulation sur total		22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%
Surface vitrée		1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16
Indice d'ouverture		18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%
Qd [m³/h/m²]		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Compacité		0.33	0.33	0.49	0.33	0.33	0.33	0.33
Up sol (terre-plein)		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Up toit		0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Up murs		0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Uw		1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Consigne occupé [°C]		20	20	20	20	20	20	20
Consigne inoccupé [°C]		16	16	16	16	16	16	16
Consigne occupé [°C]		26	26	26	26	26	26	26
Consigne inoccupé [°C]		32	32	32	32	32	32	32
Type		DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
Régulation		CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2
Gmax/moy/m²		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Dimensionnement densité SDR [occ./m²]		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Dimensionnement densité Bureaux [occ./m²]		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Densité SDR [m³/h/pers]		30	30	30	30	30	30	30
Densité Bureaux [m³/h/pers]		25	25	25	25	25	25	25
Efficacité échangeur		0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
SFPV DF		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
SFPV SF		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
SFPV moyen		0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Occupation bureaux [personne/m²]		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Occupation SDR [personne/m²]		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Apports internes bureaux [W/m²]		7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58
ECS à 40°C [l/personne]		5	5	5	5	5	5	5
Temps d'occupation [h]		10	10	10	10	10	10	10
Pourcentage occupation		90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
Réduction personnel vacances scolaires		80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Réduction personnel loel et été		50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Chauffage du bâtiment		28	18.5	19.5	20.6	28.9	29.9	30.8
Retraitement du bâtiment		8.5	13.7	13.5	13.1	8.4	8.3	8.2
%différence CH VO		-	5%	11%	3%	7%	10%	10%
%différence FR VO		-	-1%	-4%	-1%	-2%	-4%	-4%

Variantes OEC									
OEC V0	OEC V6.1 - O4 0.8	OEC V6.2 - O4 1.5	OEC V6.3 - O4 1.8	OEC V7.1 - Ventil -20%	OEC V7.2 - Ventil -20%	OEC V7.3 - Ventil +30%			
SDP [m²]	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99			
Pourcentage SDR sur bureaux	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%			
Pourcentage circulation sur total	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%			
Surface vitrée	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16			
Indice d'ouverture	18%	18%	18%	18%	18%	18%			
Q4 [m³/h/m²]	0.8	1.5	1.8	1.3	1.3	1.3			
Compacité	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33			
Up sol (terre-plein)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15			
Up toit	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11			
Up murs	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22			
Uw	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3			
Consigne occupé [°C]	20	20	20	20	20	20			
Consigne inoccupé [°C]	16	16	16	16	16	16			
Consigne occupé [°C]	26	26	26	26	26	26			
Consigne inoccupé [°C]	32	32	32	32	32	32			
Type	DF	DF	DF	DF	DF	DF			
Régulation	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2			
Q3max/moy/m²	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00			
Dimensionnement densité SDR [occ./m²]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5			
Dimensionnement densité Bureaux [occ./m²]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1			
Débit SDR [m³/h/pers]	30	30	30	24	36	36			
Débit Bureaux [m³/h/pers]	25	25	25	20	30	30			
Efficacité échangeur	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68			
SFPv DF	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7			
SFPv SF	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25			
SFPv moyen	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66			
Occupation bureaux [personne/m²]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08			
Occupation SDR [personne/m²]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08			
Apports internes bureau/taque [W/m²]	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58			
ECS à 40°C [L/personne]	5	5	5	5	5	5			
Temps d'occupation [h]	10	10	10	10	10	10			
Pourcentage occupation	90%	90%	90%	90%	90%	90%			
Réduction personnel vacances scolaires	80%	80%	80%	80%	80%	80%			
Réduction personnel Noël et été	50%	50%	50%	50%	50%	50%			
Chauffage du bâtiment	28	26.5	28.6	25.4	25	32.5			
Refroidissement du bâtiment	8.5	8.7	8.4	8.3	9	8			
%différence CH V0	-	-5%	2%	5%	-11%	16%			
%différence FR V0	-	2%	-1%	-2%	6%	-5%			

Variantes OEC										
OEC V0	OEC V0 - sans masoque	OEC V8.1 - Vitrages -20%	OEC V8.2 - Vitrages +10%	OEC V8.3 - Vitrages +20%	OEC V9.1 - Up -20%	OEC V9.2 - UP +20%	OEC V10.1 - Froid 24°C	OEC V10.2 - Froid 25°C	OEC V10.3 - Froid 28°C	
Site [m²]	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	6132.99	
Pourcentage SDR sur bureaux	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	17.30%	
Pourcentage circulation sur total	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	22.70%	
Surface vitrée	1101.16	880.93	1211.38	1321.93	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	1101.16	
Indice d'ouverture	18%	14%	20%	23%	18%	18%	18%	18%	18%	
Qd [m³/h/m²]	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
Compartité	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	
Up sol (terre-plein)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	
Up toit	0.11	0.11	0.11	0.11	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	
Up murs	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	
Uw	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
Consigne occupé [°C]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Consigne inoccupé [°C]	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
Consigne occupé [°C]	26	26	26	26	26	26	24	24	28	
Consigne inoccupé [°C]	32	32	32	32	32	32	30	30	34	
Type	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF	
Régulation	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	CO2	
Qmax/moy/m²	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
Dimensionnement densité SDR [occ./m²]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Dimensionnement densité Bureaux [occ./m²]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Débit SDR [m³/h/pers]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Débit Bureaux [m³/h/pers]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Efficacité échangeur	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
SFPV DF	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	
SFPV SF	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
SFPV moyen	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	
Occupation bureaux [personne/m²]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
Occupation SDR [personne/m²]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
Apports internes bureau/buque [W/m²]	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	7.58	
ECS à 40°C [L/personne]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Temps d'occupation [h]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Pourcentage occupation	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	
Réduction personnel vacanciers scolaires	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	
Réduction personnel Noël et été	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	
Chauffage du bâtiment	24.9	24.3	25.2	27	28	28	28	28	28	
Refroidissement du bâtiment	8.5	10.1	13.5	14.6	8.5	8.5	10.8	10.8	4.5	
%différence CH V0	-	-2%	1%	2%	-4%	4%	0%	0%	0%	
%différence FR V0	-	-13%	9%	18%	0%	0%	27%	27%	-47%	