



Projet SWACool « Potentiel de réduction de la demande de climatisation en climat tropical et optimisation du raccordement des bâtiments à un réseau de froid vertueux »

Tâche 1 : Etudes de cas à La Réunion :

Bureaux de la CAF – St Paul

Résultats de simulation thermique

Livrable 1.2b

septembre 2020

rédigé par 



Le projet SWACool est lauréat de l'Appel à Projets de Recherche ADEME « Vers des bâtiments responsables à l'horizon 2020 » - 3^{ème} édition.

CAF Saint Paul



Table des matières

1. Introduction	5
2. Présentation du bâtiment.....	6
3. Modélisation du bâtiment par simulation thermique dynamique	8
3.1. Données mises à disposition.....	8
3.2. Outils de simulations utilisés	8
3.3. Hypothèses de modélisation	9
1.2. Météorologie	14
1.3. Les mesures sur site	16
1.4. Période de simulation.....	16
4. Analyse des différences de résultat	17
4.1. Analyse de l'influence des données climatologiques	17
4.2. Analyse de la comparative mesure / simulation des puissances froid.....	19
4.1.1. Analyse du comportement général.....	19
4.1.2. Analyse de la concordance des données.....	23

4.3. Analyse de la comparative mesure / simulation des températures 25

4.4. Analyse de l'influence des choix des hypothèses (application hypothèses PREBAT). 32

4.5. Analyse du comportement des pics de puissance matinale de la simulation 34

Conclusion..... 36

1.Introduction

Cette section du projet SWACOOOL portée par GREENTECH vise à déterminer les limites des résultats prévisionnels d'une simulation thermique et dynamique face à ceux véritablement obtenus par des mesures sur site.

Les méthodes simplifiées de dimensionnement se basent uniquement sur l'estimation du besoin frigorifique sur la période la plus défavorisée (puissance maximale nécessaire). Cette période est définie à priori et peut s'avérer irréaliste ou non représentative. La STD permet d'estimer ces besoins de façon bien plus détaillée, sur un pas de temps généralement horaire pendant une année complète, pour des données météorologiques représentatives du site considéré et un paramétrage et des méthodes de calcul plus précis.

Les bâtiments étudiés ont donc été modélisés par simulation thermique dynamique de manière fiable, à l'aide de l'outil Sketchup et du moteur de calcul EnergyPlus.

Ces simulations sont davantage influencées par la quantité et qualité des données informatives disponibles.

Le bâtiment ici étudié est celui de la CAF de Saint Paul.

La première partie de ce rapport présente le bâtiment étudié et ses particularités, la deuxième partie détaille les hypothèses utilisées pour créer un modèle numérique le plus fiable possible, et la dernière partie présente les différentes analyses comparatives des résultats simulés et mesurés sur site.

Dimensionner un appareillage de climatisation, c'est déterminer la puissance en froid qui permettra de maintenir la température dans le bâtiment à une valeur souhaitée tout en tenant en compte de la déshumidification nécessaire.

2.Présentation du bâtiment

Nous avons étudié le bâtiment de la CAF de Saint Paul, dont voici les caractéristiques :

Le bâtiment	
Nom	CAF de St Paul
Localisation	Savannah, Saint PAul
Maître d'ouvrage	Caisse Allocations Familiales
Surface climatisée	1217 m ²
Nombre de niveaux	2, RDC et R+1

L'enveloppe	
Murs extérieurs	Béton + revêtement peinture
Toiture	Tôle non isolée
Menuiseries	Vitrage simple en aluminium type coulissant 2 vantaux. Vitrage à contrôle solaire sur toutes les menuiseries
Protections solaires	Casquettes sur la façade de l'entrée principale au RDC (Nord-Ouest). Aucune protection sur le RDC des autres façades. Protections solaires horizontales fixes au R+1 sur les façades Nord-Ouest et Sud-Ouest

Figure 1 : Tableaux de présentation générale du bâtiment étudié

Le site se situe dans l'Ouest de l'île, a une altitude de 260m, soit en zone PERENE n°1.

Il s'agit d'un bâtiment tertiaire comportant au rez-de-chaussée : un espace d'accueil du public, une partie pour les bureaux administratifs en open-space, des bureaux individuels et des locaux techniques. L'étage comporte des bureaux individuels, 1 salle de réunion, 1 local informatique et une salle de restauration.

Les horaires de fonctionnement de la partie accessible au public sont différents des horaires administratifs appliqués par les employés.



Figure 2 : Bâtiment de la CAF de St Paul (Vue extérieure de la façade Nord-Ouest en haut à gauche, Nord-Est en haut à droite, Sud-Ouest en bas à gauche, et vue intérieure de l'espace public en bas à droite)

Le bâtiment est entièrement climatisé grâce à un groupe froid à eau glacée qui alimente l'ensemble des ventilo-convecteurs présents sur site. Deux split systèmes ont été rajoutés dans l'espace public pour compléter la demande de froid. Une CTA assure le renouvellement d'air dans les locaux.

Notre interlocuteur sur place a été Monsieur Johny Liestal, responsable de la sécurité de la CAF.

3. Modélisation du bâtiment par simulation thermique dynamique

La simulation thermique dynamique permet de simuler le bâtiment dans son environnement, en tenant compte de la météo, des masques solaires, des apports solaires, mais aussi des apports internes et latents liés aux occupants et aux équipements (ventilation et apports d'humidité liés à l'évacuation des condensats de climatisation). Disposer d'un modèle dynamique fiable permet de comptabiliser les consommations de froid prévisionnel ainsi que le comportement thermique des locaux.

En comparant les résultats de sortie de la simulation aux mesures de puissance froid et des températures sur site, on pourra porter un jugement sur les limites de la simulation dynamique.

Cette partie est issue d'un travail Collaboratif avec ENERTECH. Le montage des modèles numériques et les relevés sur site ont été réalisés par LEU et GREENTECH. ENERTECH dans le cadre du projet PACTE TROPICLIM a apporté son assistance dans la conception de la partie système du modèle.

3.1. Données mises à disposition

Des plans en 2D nous ont été fournis, pour chaque niveau, indiquant les noms des salles. Cependant, ces plans n'étant pas à l'échelle, et n'indiquant pas toutes les données dont nous avons besoin, nous nous sommes rendus plusieurs fois sur site afin de compléter les données manquantes telles que les dimensions des menuiseries, l'épaisseur des murs, les équipements présents dans chaque pièce, etc.

3.2. Outils de simulations utilisés

Le bâtiment a été modélisé grâce à l'interface Sketchup, couplé à l'extension Euclid 2017, qui permet de modifier facilement les données d'entrée utilisées par le moteur de calcul EnergyPlus.

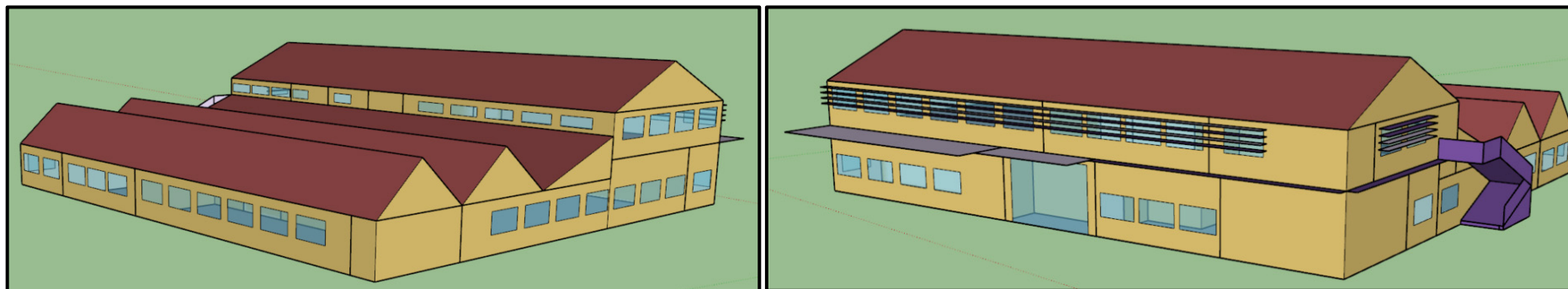


Figure 3 : Représentation numérique du bâtiment étudié sous Sketchup (façade Sud Est à gauche, façade Nord-Ouest à droite)

3.3. Hypothèses de modélisation

3.3.1. Zonage thermique

La première étape consiste à découper le bâtiment en zones supposées thermiquement homogènes. Un découpage détaillé permet de prendre en compte les spécificités de chaque pièce liée aux orientations ou aux sollicitations qui peuvent varier d'une zone à l'autre. Nous avons découpé le modèle en 22 zones thermiques : Les open-space sont regroupés en zones thermiques uniques. Le toit est découpé en plusieurs zones thermiques, ce qui a permis de simplifier le modèle géométrique.

Niveau	R+1	R+1	R+1	R+1	R+1	R+1	R+1	RDC	RDC	RDC	RDC
Zone	Ebureau1	Eescalier	Einformatique	Ebureau2	Esallereunions	Esallerestauration	Esanitaires	logistique	sanitaires	espacepublic	localtech
Surface (m²)	174	21	27	26	42	60	17	45	37	299	9
Niveau	RDC	RDC	RDC	RDC	RDC	RDC	RDC	toit	toit	toit	toit
Zone	bureaux5	bureaux6	administratif	bureaux3	bureaux2	bureaux1	entree	toit1	toit2	toit3	toit4
Surface (m²)	98	33	328	31	14	39	13	367	193	201	185

Figure 4 : Récapitulatif des zones thermiques créée

Les zones qui ne sont pas climatisées sont les zones toit, les locaux techniques, l'escalier et les sanitaires.

3.3.2. Composition des parois

Nom de la paroi	Menuiserie	Plancher extérieur	Mur extérieur	Mur intérieur	Toit	Plancher intérieur
Composition	Vitrage simple à contrôle solaire	Sol souple 0.005m	Béton 2m	BA13 0.013m	Tôle acier 0.0008m	Sol souple 0.005m
		Béton 0.2m		Isolation BA13 0.05	Circulation d'air	Béton 0.2m
				BA13 0.013m	Béton 0.2m	Circulation d'air
					Circulation d'air	Dalles 600*600 0.02m
					Dalles 600*600	

Figure 5 Description de la composition des parois sous EnergyPlus

Matériau	Epaisseur [m]	Densité [kg/m ³]	Chaleur spécifique [J/kg.K]	Conductivité thermique [W/m.K]	Résistance Thermique [m ² .K/W]
Tôle acier	0.0008	7850	480	53	0
Béton	0.2	2300	657	1.046	0.19
Sol souple	0.005	1200	1400	0.19	0.03
BA13	0.013	2800	896	0.25	0.05
Dalles 600*600	0.02	200	710	0.034	0.58
Isolation BA13	0.05	25	920	0.045	0.55

Figure 6 Descriptif technique des matériaux sous EnergyPlus

3.3.3. Ponts thermiques

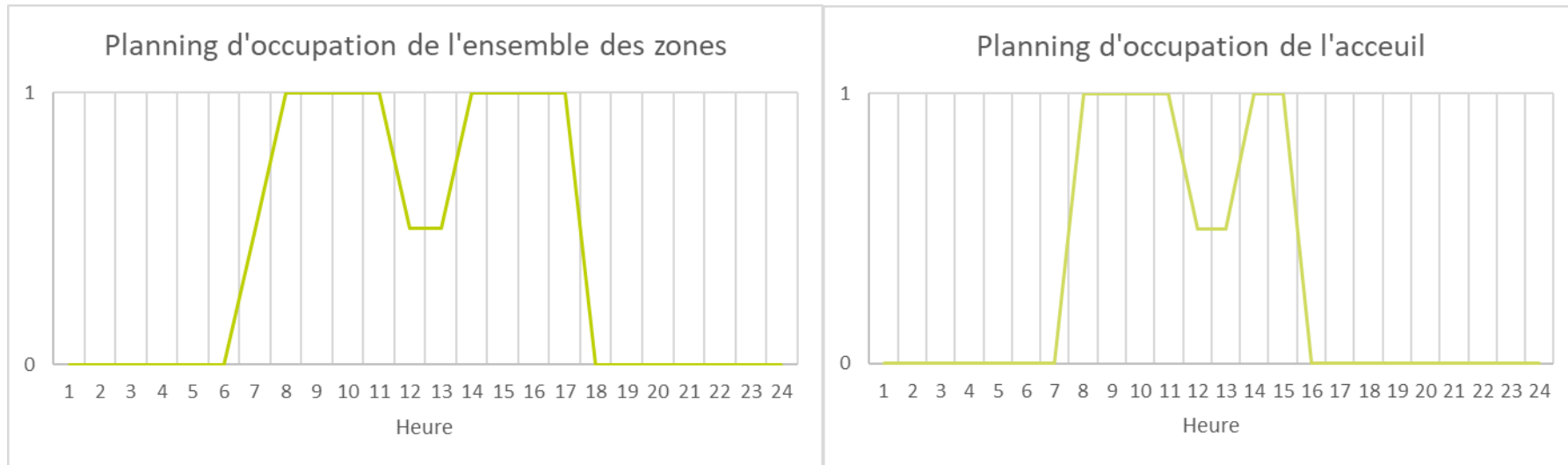
Les ponts thermiques ne sont pas pris en compte. La majorité des besoins proviennent des apports solaires et internes et non des échanges conducto-convectifs.

3.3.4. Occupation

Les zones accueillant du public sont supposées occupées de 7h à 15h du lundi au jeudi et de 7h à 12h le vendredi. Toutes les autres zones, hormis la salle de restauration occupée de 11h à 13h, sont occupées de 6h30 à 17h du lundi au vendredi.

Le nombre de personnes pour chaque zone est déduit des informations collectées sur site.

Cette source d'information, en particulier en matière de planning est jugée fiable.



3.3.5. Apports internes sensibles

Ces apports sont de source solaire, conducto-convective, air neuf, et interne tels que les apports liés aux humains (métabolisme des occupants qui dégagent de la chaleur), et les apports électriques liés aux équipements.

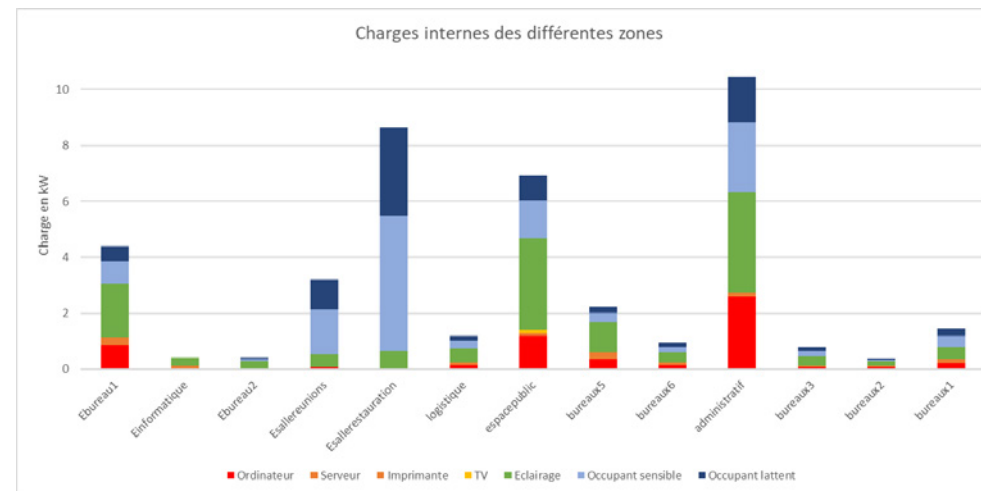
Le nombre d'équipements provient des informations collectées sur site, ainsi que des indications présentes sur les plans.

Ces apports sont modulés en fonction de l'occupation des locaux.

Les valeurs des apports internes sont issues de l'ouvrage « apports internes » édité par l'AICVF (L'Association des Ingénieurs et Techniciens en Climatique, Ventilation et Froid). Ces informations sont communément utilisées dans nos études.

Métabolisme	67	Wsensibles/pers.
Ordinateur	70	W/appareil
Imprimante	50	W/appareil
TV	40	W/appareil
Serveur	115	W/appareil
Autre élec. Y compris éclairage	11	W/m ²

Figure 7 Hypothèses prises pour les apports sensibles



1.1.1. Coefficient de foisonnement

L'ensemble des appareils ne fonctionne pas de manière systématique dès lors qu'il y a occupation. Pour prendre en considération cet aspect, des coefficients de foisonnement sont appliqués.

Coefficient de foisonnement	
Ordinateur	0,7
Imprimante	0,2
Télévision	0,2
Eclairage	1

1.1.2. Apports internes latents

Les sources d'apports latents sont la ventilation et le métabolisme des occupants.

Métabolisme	63	Wlatents/pers.
-------------	----	----------------

Figure 8 : Hypothèses prises pour les apports latents

La ventilation hygiénique étant gérée par la CTA, dont la production de froid n'est pas mesurée, celle-ci n'est pas modélisée.

1.1.3. Systèmes

Un groupe froid unique alimente les ventilo-convecteurs. En plus de ceux-ci, deux groupes split ont été rajoutés. Une CTA tout air-neuf est dédiée à la ventilation hygiénique, de débit de ventilation de 3600 m³/h. Deux split systèmes viennent compléter l'apport de froid dans l'espace public.

La climatisation fonctionne de 6h30 à 18h en jours ouvrés. Extinction en week-end et jours fériés (sauf le 1^{er} novembre).

Un dysfonctionnement de l'horloge du groupe froid est survenu à partir du 12 décembre 2018 jusqu'au 8 avril 2019 ce qui implique un fonctionnement en permanence à partir de cette date. Cette information a été incluse dans nos simulations.



Figure 9 Cassettes de climatisation de l'espace public

Les systèmes (ventilo-convecteur, boucle d'eau glacée, groupe froid, etc., hors split et CTA) ont été modélisés sous EnergyPlus, dans le but de modéliser les besoins latents (condensation sur la batterie froide). Les systèmes sont surdimensionnés d'un facteur 10 par rapport au dimensionnement automatique effectué par le logiciel pour éviter tout manque de puissance. Conformément aux mesures, la température nominale de l'eau glacée est fixée à 8°C et son écart nominal de température à 2°C.

1.1.4. Températures intérieures

Une température de consigne à 26°C est prise en compte dans la simulation. Les enregistrements n'ont pas permis de distinguer une valeur plus fiable.

1.1.5. Ventilation

Des grilles de ventilation naturelle permettent de faire circuler l'air sous la toiture, qui n'est pas isolée.

Les taux de renouvellement d'air sont de 18m³/h.

1.2. Météorologie

Le choix des données météorologiques de référence est un choix important. L'ensemble des résultats sont directement liés à ces données qui comprennent essentiellement :

- La température extérieure
- L'humidité extérieure
- Le rayonnement direct, diffus et globale
- La vitesse et l'orientation des vents.

Pour valider la sélection d'un fichier météorologique, principalement, le fichier doit avoir des caractéristiques le plus similaire possible à la localisation du projet.

Dans notre cas, les données les plus fiables viennent de deux sources :

- Données complètes de Saint-Paul pour l'année 2006 (situées à 3km de distance de la CAF et à 186m d'altitude)
- Données température, humidité et rayonnement globale du Port pour les années 2018 et 2019, correspondant à nos périodes de mesure (situées à 5km de distance à 9m d'altitude)

De ce fait, nous avons fait le choix d'analyser les résultats de simulation suivant ces deux fichiers sources. L'objectif est de voir l'importance du choix du fichier météorologique.

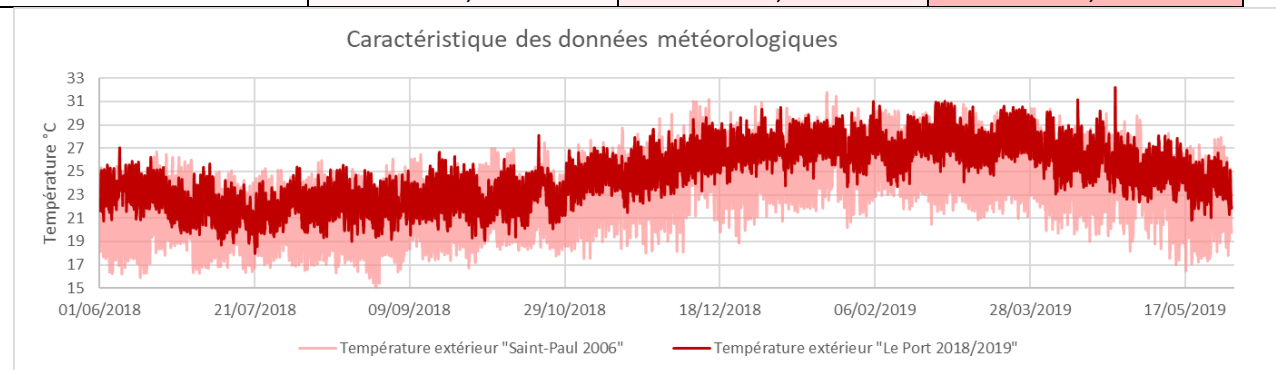
Ayant des données limitées, le fichier météorologique « le Port 2018/2019 » a été recomposé sous la base du fichier météorologique de Saint-Paul 2006 selon une méthode de conversion spécifique. Les données modifiées ont été celles mesurées par la station météorologique du Port de Juin 2018 à Mai 2019 avec :

- Le couple température/humidité
- Le rayonnement global



- Figure 10 : Localisation des fichiers météorologiques

	Caractéristique des données météorologiques		
	Température minimale	Température moyenne	Température maximale
Le Port calibre 2018/2019	18,0	24,6	32,2
Saint-Paul 2006	15,0	23,0	31,8



Le fichier météorologique de Saint-Paul 2006 présente des valeurs de température inférieures à celui du Port 2018/2019. Nous verrons l'impact de ces caractéristiques dans le résultat des simulations et quel fichier sera le mieux adapté.

1.3. Les mesures sur site

Les mesures in-situ réalisées par GREENTECH concernent la mesure :

- Des frigories du groupe froid qui alimentent les ventilo-convecteurs ;
- Des températures et humidité ambiantes réparties au RDC et R+1 ;
- Des consommations d'énergie globales du bâtiment

Les mesures ont été réalisées de mai 2018 à mars 2019.

1.4. Période de simulation

A partir des données de mesures disponibles, la période de simulation retenue s'étend sur une année (reconstituée en utilisant les données de Janvier à Mai pour 2019, et de Juin à décembre pour 2018).

En sortie données simulées nous avons :

- Les données de puissance de froid des systèmes ;
- Les données températures des zones où les capteurs de mesures ont été placés

Nous avons tenté de définir les consommations électriques séparément des consommations liées à la climatisation, cependant en raison du manque de connaissance sur certaines consommations électriques ces données n'ont pas pu être exploitées dans l'analyse.

4. Analyse des différences de résultat

On pourrait chercher à améliorer davantage la concordance entre mesures et modèles mais, les données liées à l'enveloppe semblent suffisamment fiables, d'autant que la tendance saisonnière est bien représentée, étant donné les incertitudes concernant la dynamique des systèmes et des apports internes, cela est illusoire. Les écarts pouvant être observés seront donc principalement liés aux hypothèses d'occupation, des charges internes et des caractéristiques des systèmes.

4.1. Analyse de l'influence des données climatologiques

Nous avons dans cette partie, fait le choix d'analyser les résultats de simulation suivant deux fichiers météorologiques sources ayant des caractéristiques différentes. CF partie 1.2. Météorologie. Ces fichiers sont issus des :

- Données complètes de Saint-Paul pour l'année 2006 (situées à 3km de distance de la CAF et à 186m d'altitude)
- Données température, humidité et rayonnement globale du Port pour les années 2018 et 2019, correspondant à nos périodes de mesure (situées à 5km de distance de la CAF et à 9m d'altitude)

Ainsi, nous pourrions voir l'importance du choix du fichier météorologique.

Pour caractériser cela, nous nous baserons sur l'indicateur des courbes des fréquences cumulées des puissances froides. Note : Pour une représentation plus visuelle, le temps total cumulé se limite aux valeurs mesurées supérieures à zéro.

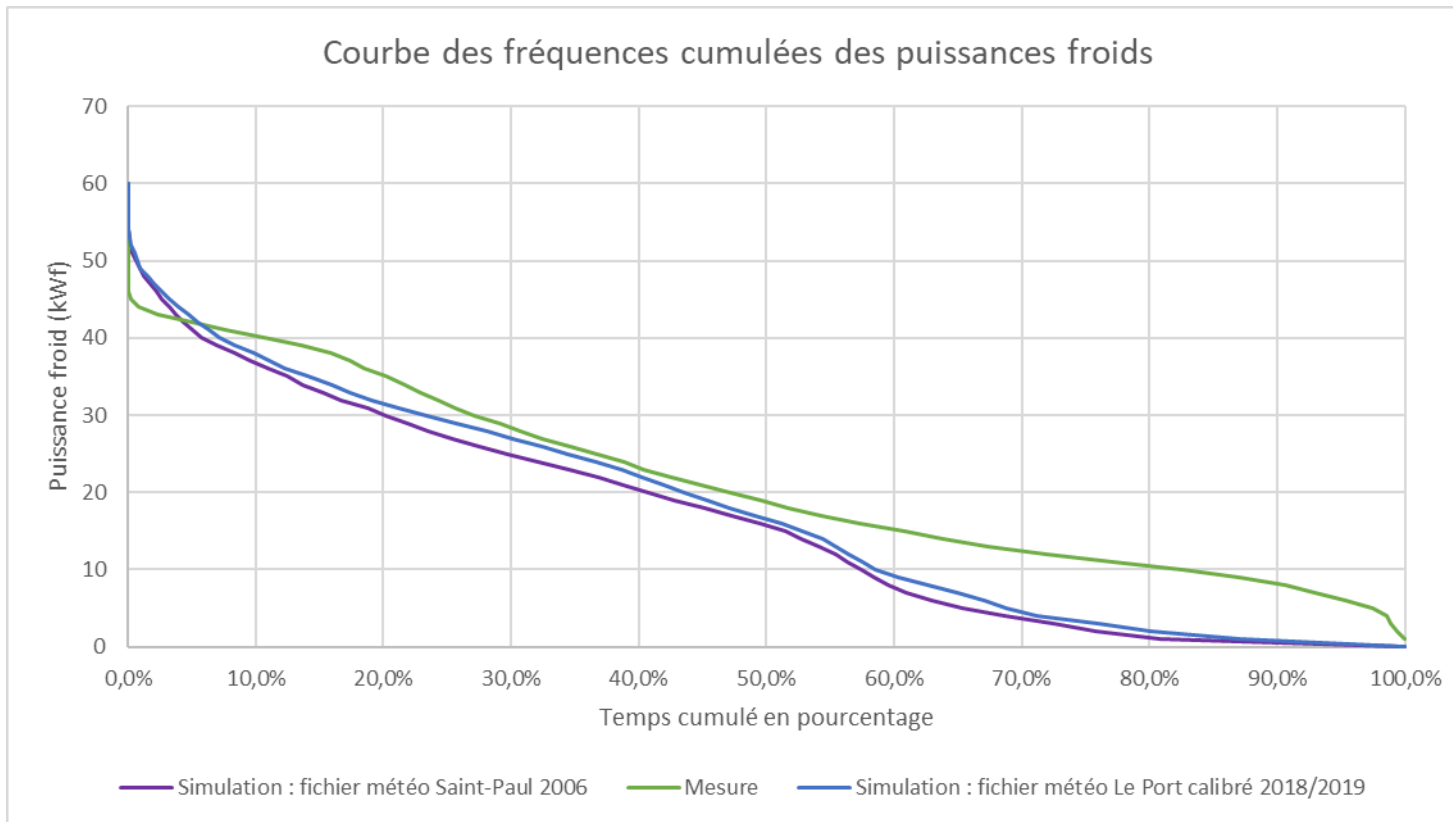


Figure 11 : Courbes des fréquences cumulées des puissances froids

Nous voyons ici clairement **l'avantage du fichier météo « le Port calibré 2018/2019 »** qui se rapproche nettement du comportement des valeurs des puissances en froid mesurées avec plus de 2 kW de différence en moyenne.

Ce résultat souligne **l'importance de la variation des résultats suivant la source des données météorologiques.**

On en déduit que **l'ancienneté des données et l'altitude** sont des paramètres impactant directement la fiabilité des résultats. Lorsque cela est possible, la modification d'un fichier météorologique avec des données plus récentes et fiables est de rigueur.

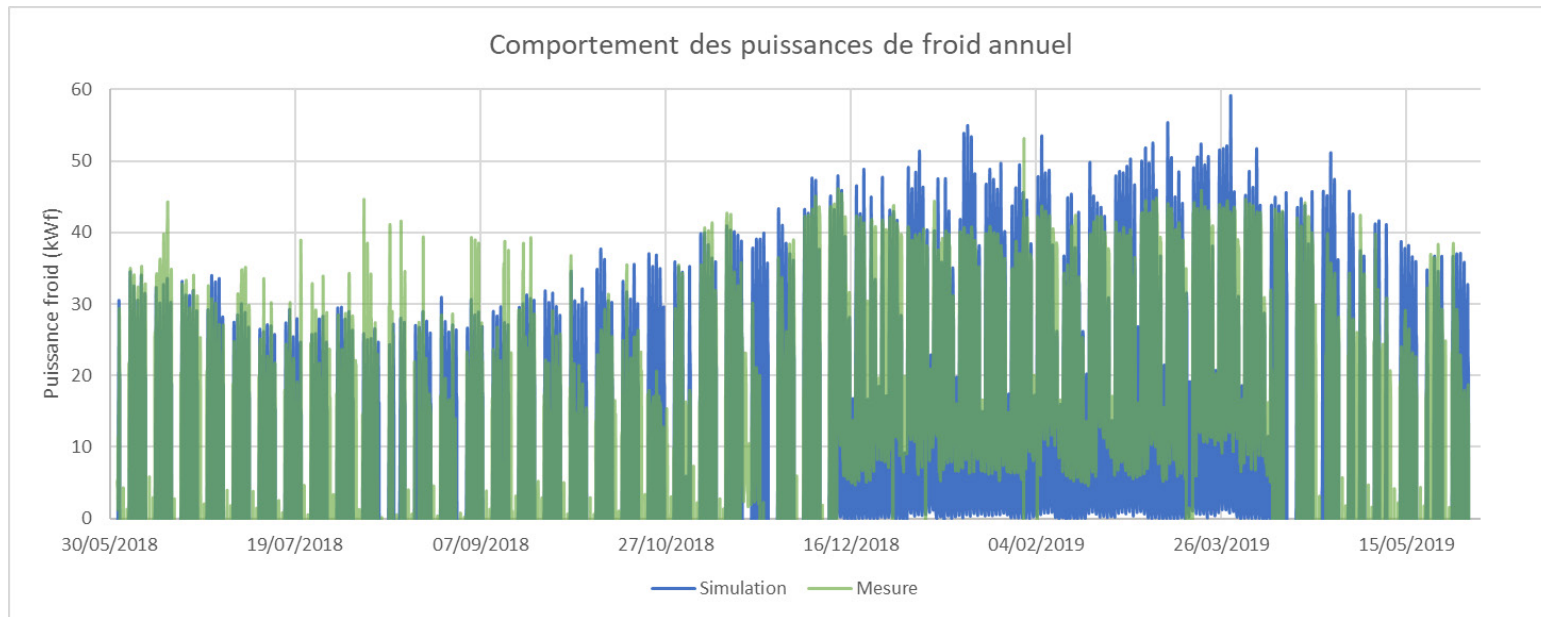
Pour la suite de l'analyse on se focalisera sur les résultats issus du fichier météorologique « Le Port calibré 2018/2019 ».

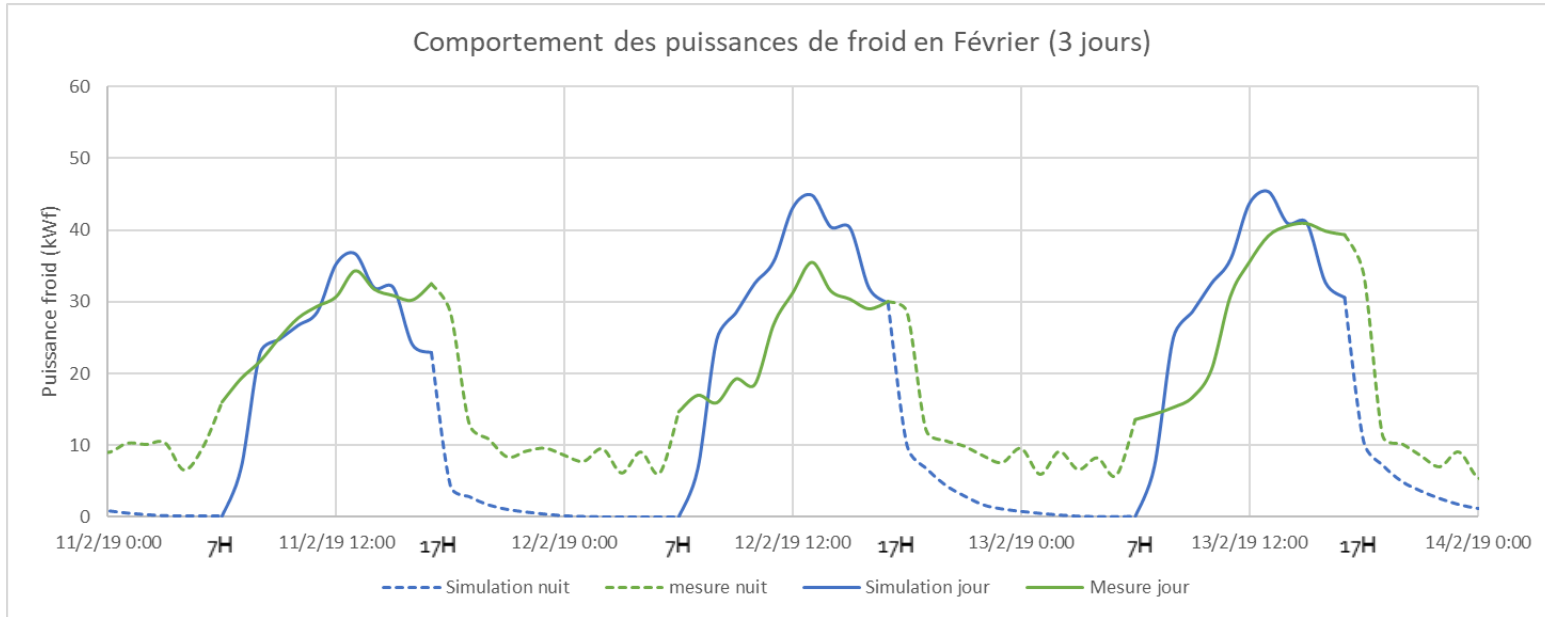
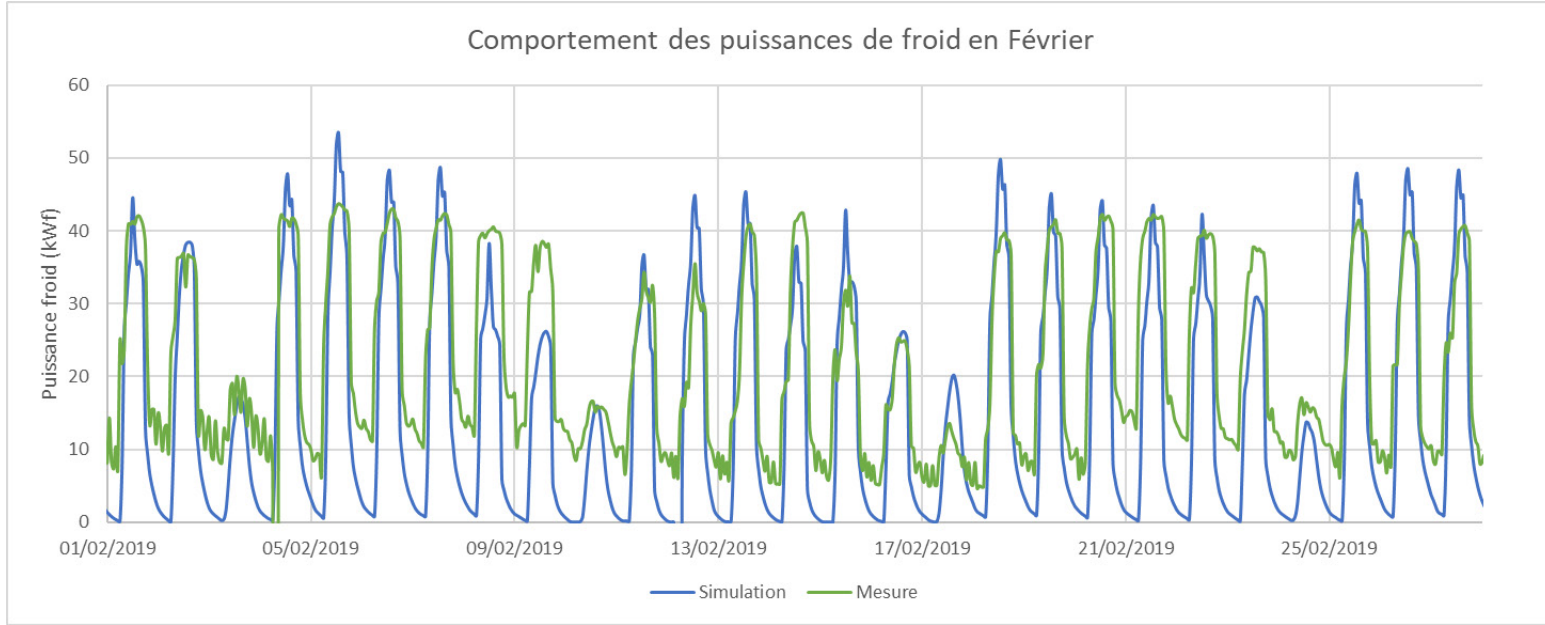
4.2. Analyse de la comparative mesure / simulation des puissances froid

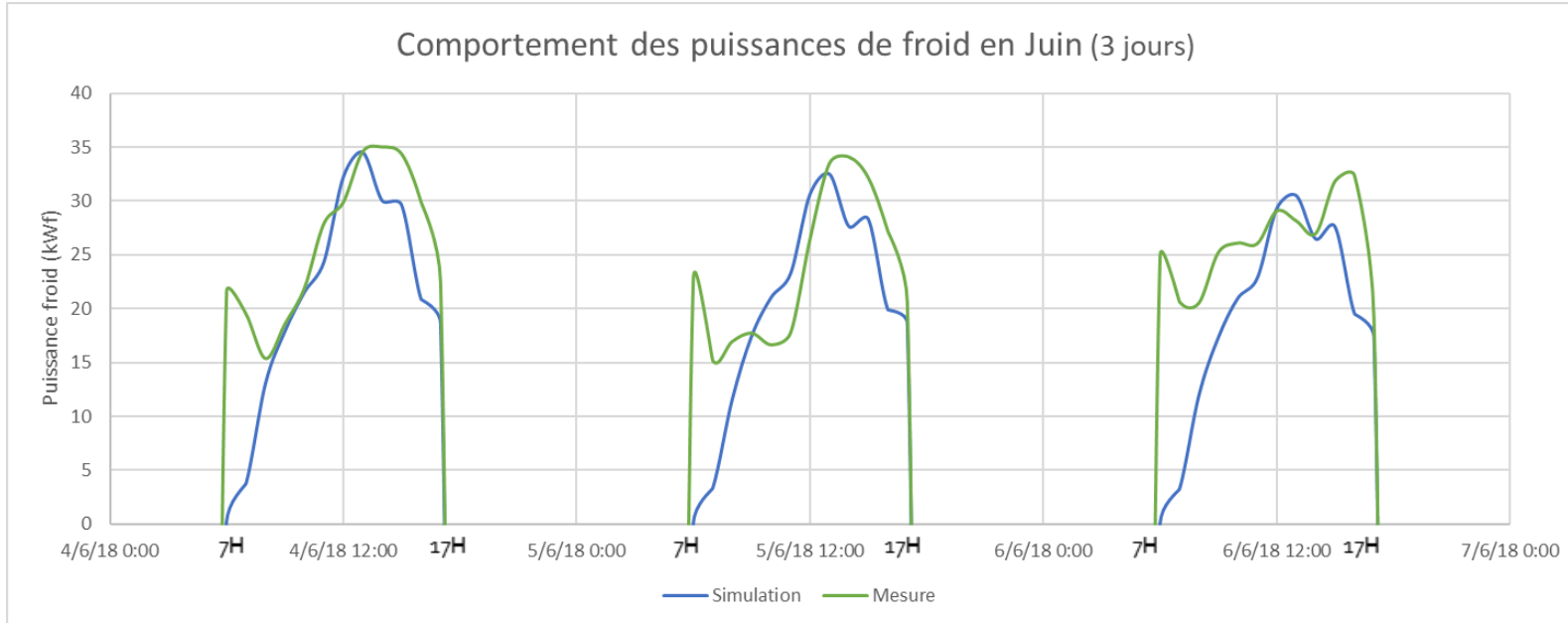
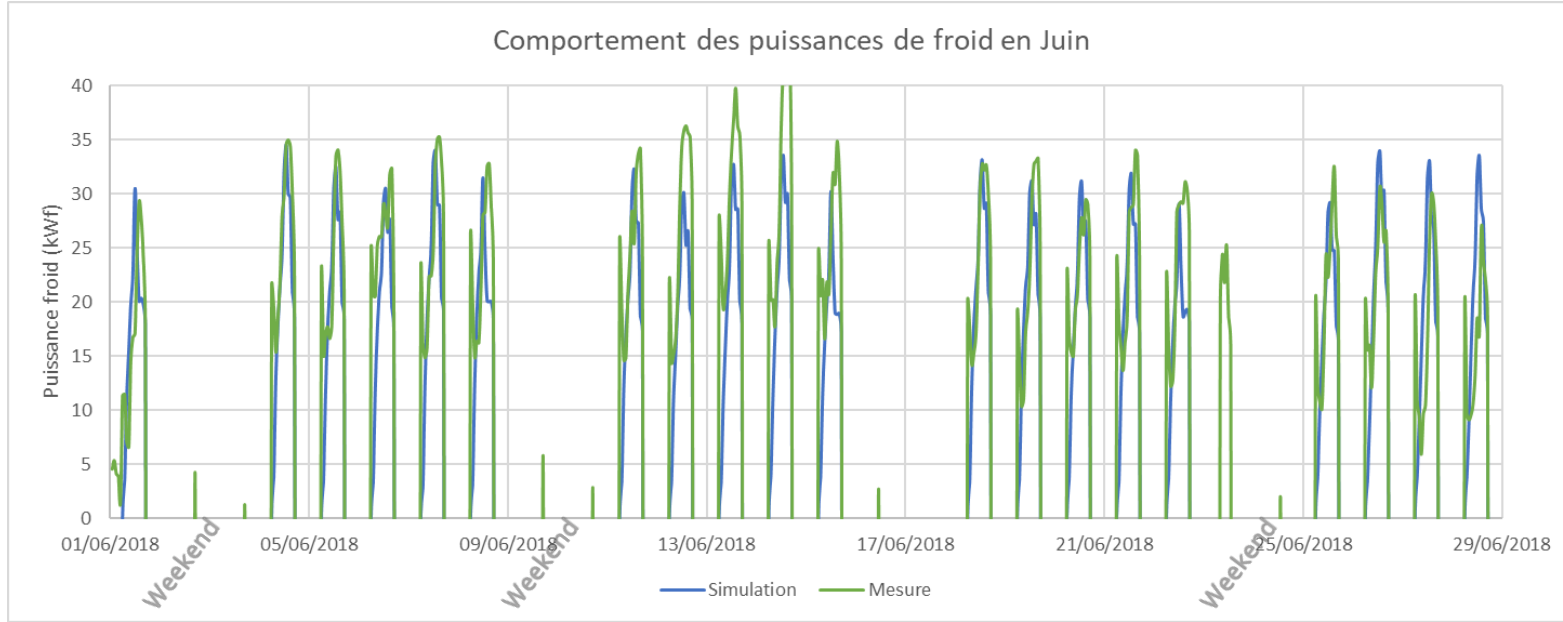
Cette partie regroupe l'ensemble des analyses comparatives entre le comportement d'un modèle simulé et le bâti réel. Les résultats sont issus des mesures obtenues par GREENTEH et de la simulation intégrant le fichier météorologique « le Port calibré 2018/2019 ».

4.1.1. Analyse du comportement général

Nous nous intéresserons ici au comportement des puissances de froid de l'ensemble des données simulées et mesurées à différentes périodes.







Pour une première approche d'analyse, on peut observer **qu'en hiver, les valeurs mesurées sont supérieures à celles simulées. En été, le phénomène inverse est observé** avec une courbe simulée constamment supérieure à celle mesurée.

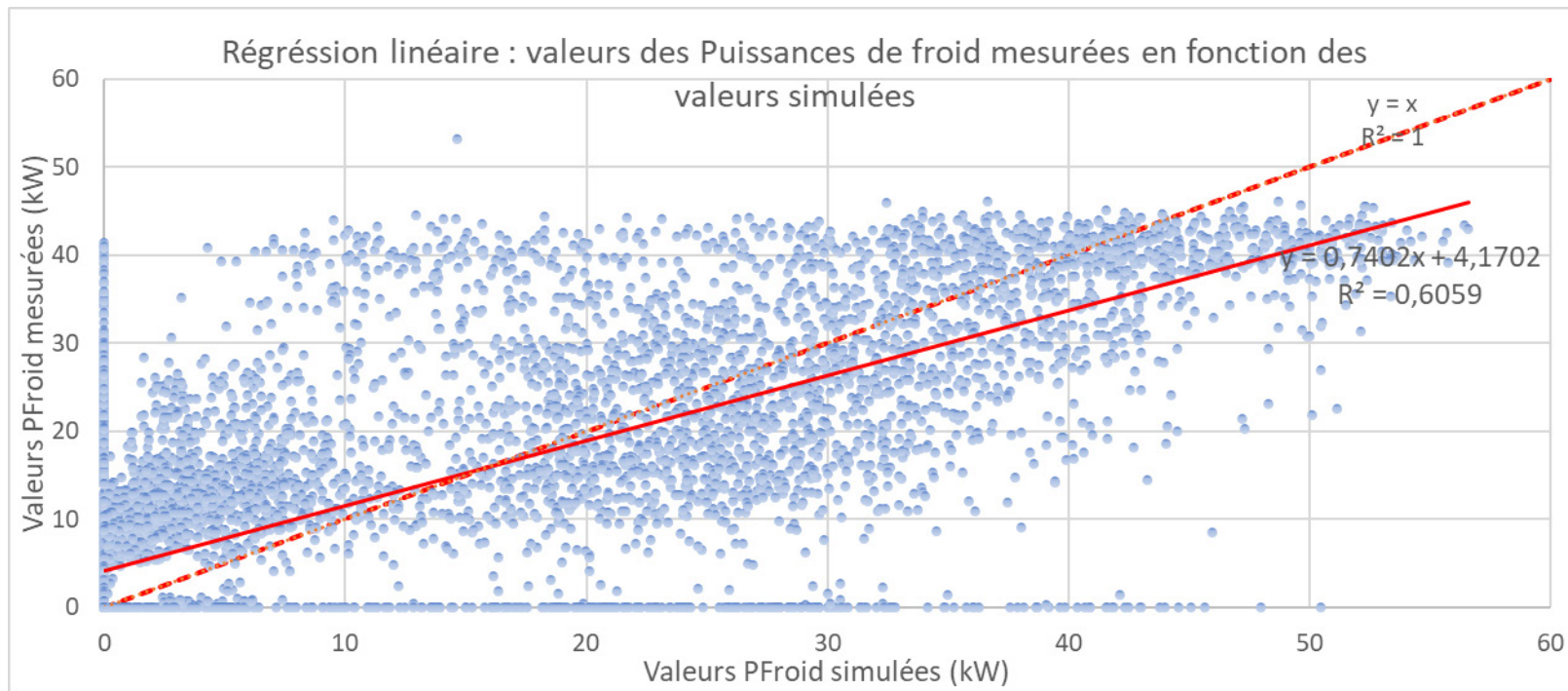
Notons que pour toute la période d'été, la climatisation était active de manière constante. Cela a été pris en considération dans la simulation (*cf. graphique Comportement des puissances de froid en Février (3 jours)*). On peut ainsi observer que les puissances en froid de la simulation, la nuit, sans occupation sont plus basses que celles mesurées avec environ 8kW de différence (courbes en pointillés). En l'absence de charge interne et de rayonnement solaire, ces demandes en froid sont directement liées à l'inertie du bâtiment. Cela signifie que **le caractère inertiel des matériaux du modèle est sous-estimé par rapport au comportement réel du bâti**.

Cela a pour effet de ne pas représenter au plus juste les besoins en froid importants à la mise en route du système.

En effet, en phase de mise en marche, le matin, on observe bien le pic important pour les valeurs mesurées. Le phénomène est d'autant plus marqué en hiver, lorsque la climatisation présente un fonctionnement normal (active uniquement pendant la période d'occupation) (*Cf: comportement des puissances de froid en Juin (3 jours)*). Les mesures passent de 0 à 20 kW de manière soudaine pour redescendre à 15kW en l'espace d'1 heure tandis que les valeurs simulées augmentent progressivement durant toute la matinée. **La simulation ici ne représente donc pas au plus juste le redémarrage du système de climatisation le matin.**

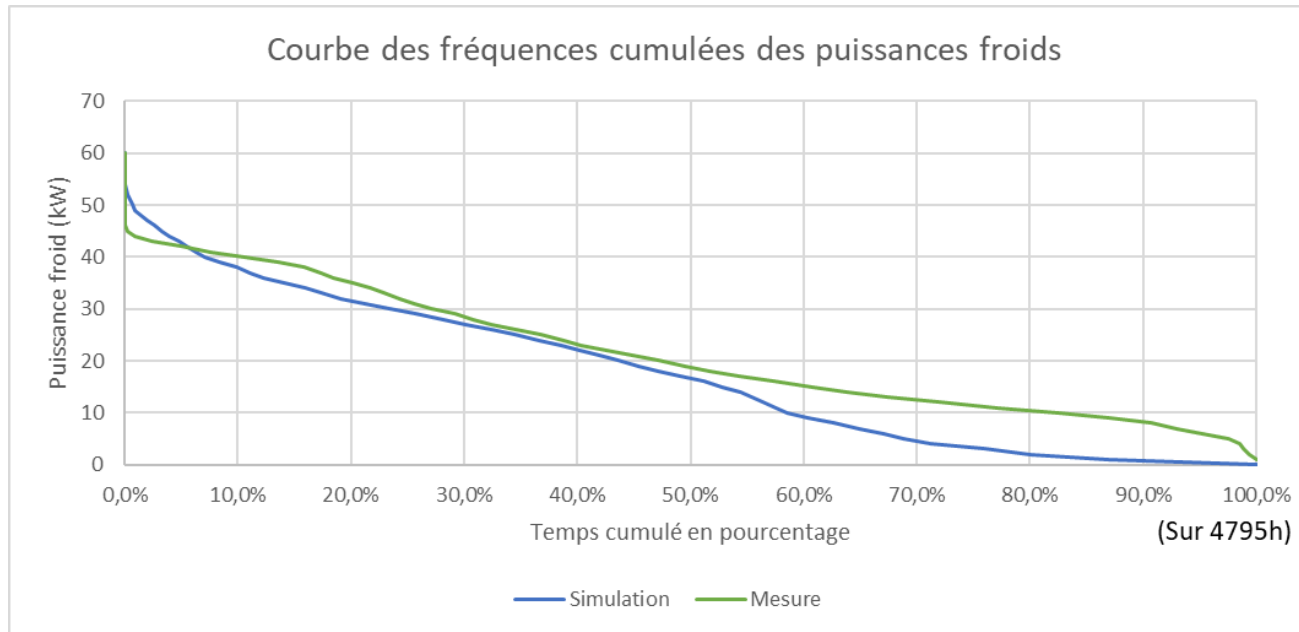
4.1.2. Analyse de la concordance des données

Analysons à présent la concordance des deux sources de valeur. Pour cela il est intéressant de tracer la régression linéaire.



On observe un coefficient de détermination R^2 de 0.6 relativement faible qui caractérise la une régression linéaire.

Tracer les fréquences cumulées des puissances (ci-dessous) est une analyse intéressante ; avec en abscisse le temps en pourcentage et en ordonnée les puissances de froid. Note : Pour une représentation plus visuelle, le temps total cumulé se limite aux valeurs mesurées supérieures à zéro (pour un total cumulé de 4795 heure).



Appel de la puissance en froid		Consommation totale annuel en froid	
Simulé	Mesuré	Simulé	Mesuré
57 kW	53 kW	90549 kWh	102943 kWh
Différence :	7,5%	Différence :	-12%

Par visuel, ces deux courbes sont cohérentes l'une de l'autre en partie centrale. En partie amont, dans les 10 premiers pourcentages de valeur, la simulation propose un besoin en froid plus important. Par la suite c'est l'inverse qui est observé.

Cela se traduit par des appels de puissance en froid maximales qui sont plus élevés pour la simulation de 7,5% tandis que les consommations totales annuelles se comportent de manière inverse avec -12%.

Ces résultats permettent d'affirmer qu'il faut être vigilant sur l'interprétation de la valeur dimensionnante des besoins en froid que propose la simulation.

4.3. Analyse de la comparative mesure / simulation des températures

De nombreux capteurs de mesure des températures ont été placés au sein des locaux de la CAF. Nous avons fait une sélection de ces capteurs qui représentent au mieux le découpage de notre modèle de simulation. Par la suite, la sélection s'est portée sur les capteurs qui présentent des résultats qui concordent face au comportement du modèle de simulation.

Deux zones de mesure résultent de ces choix :

- L'espace public
- L'administration

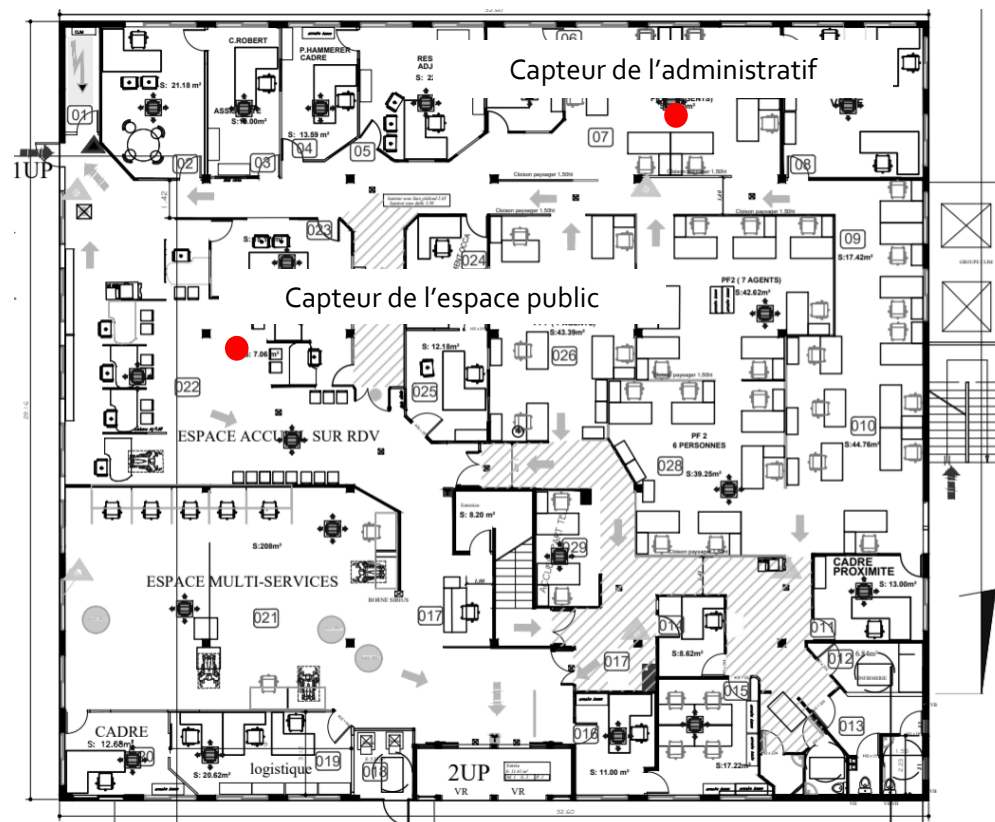
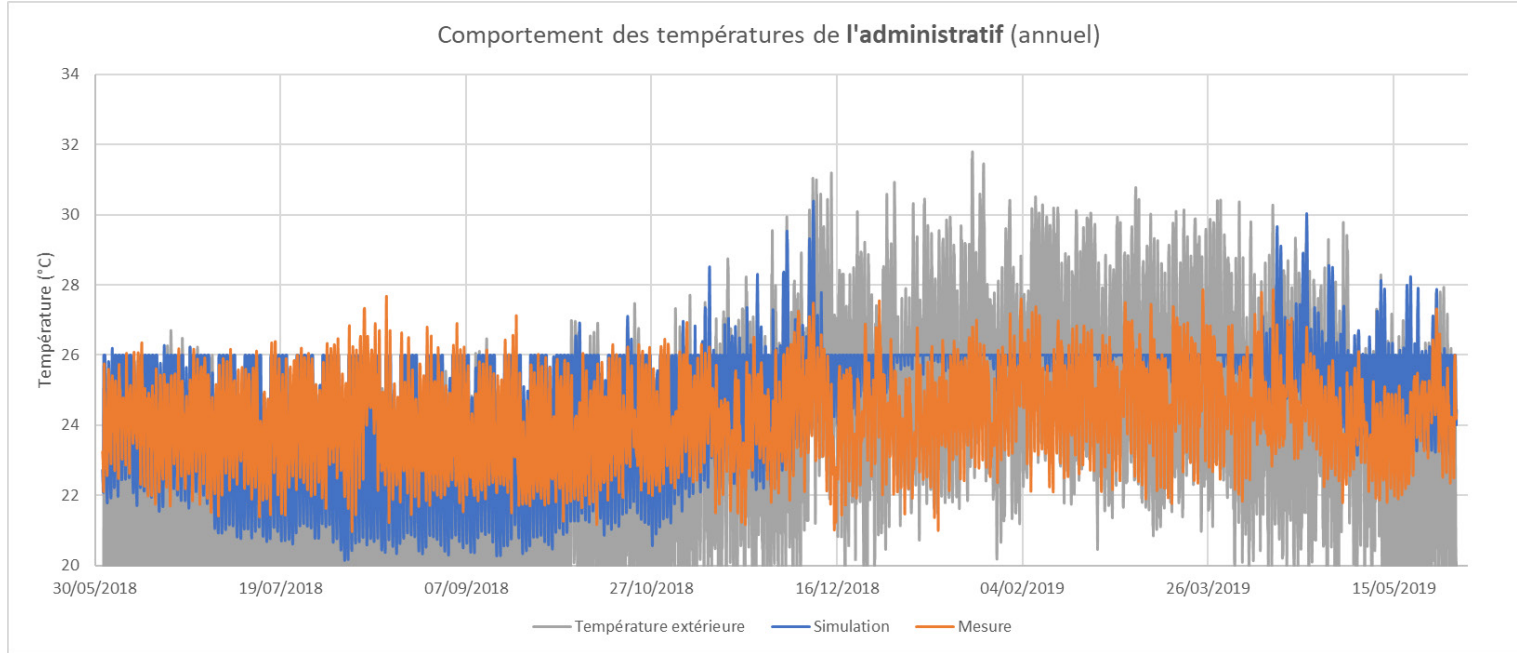
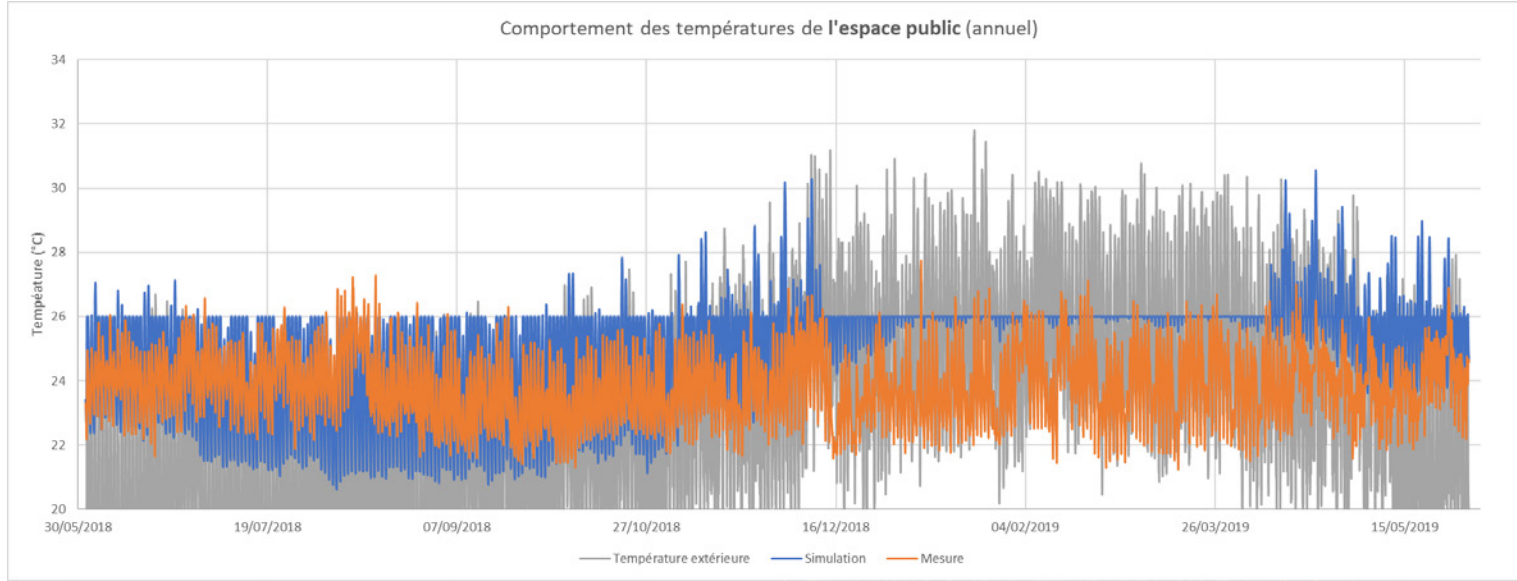
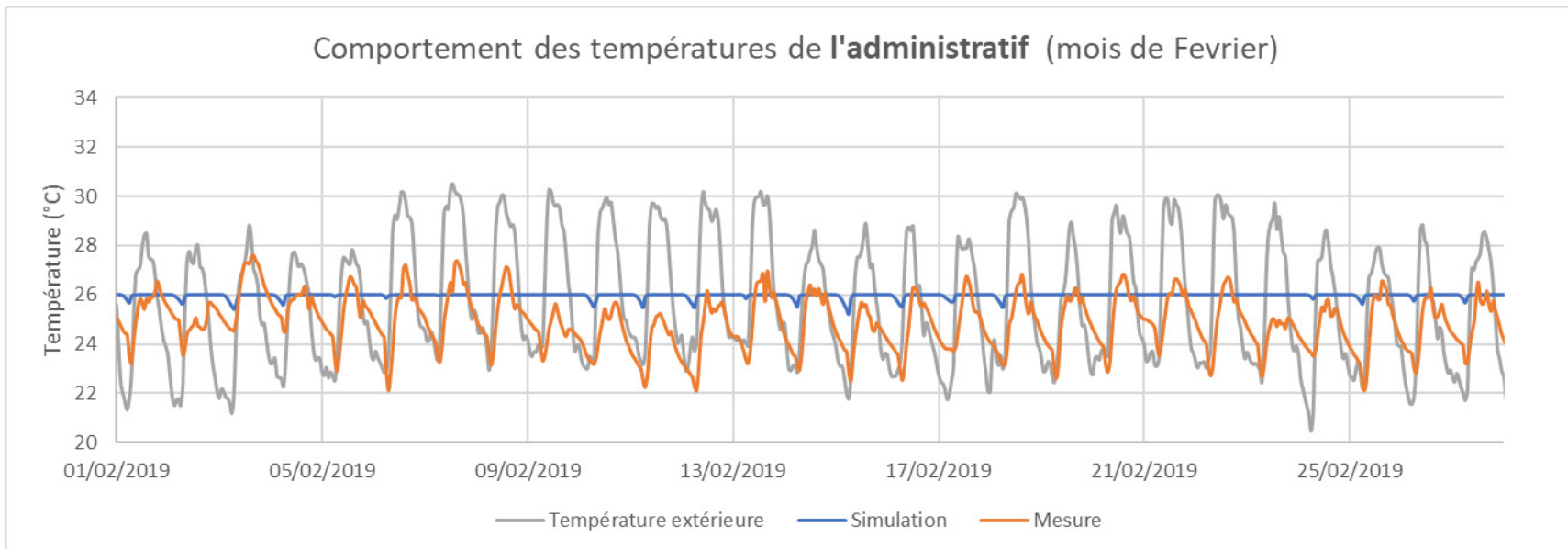
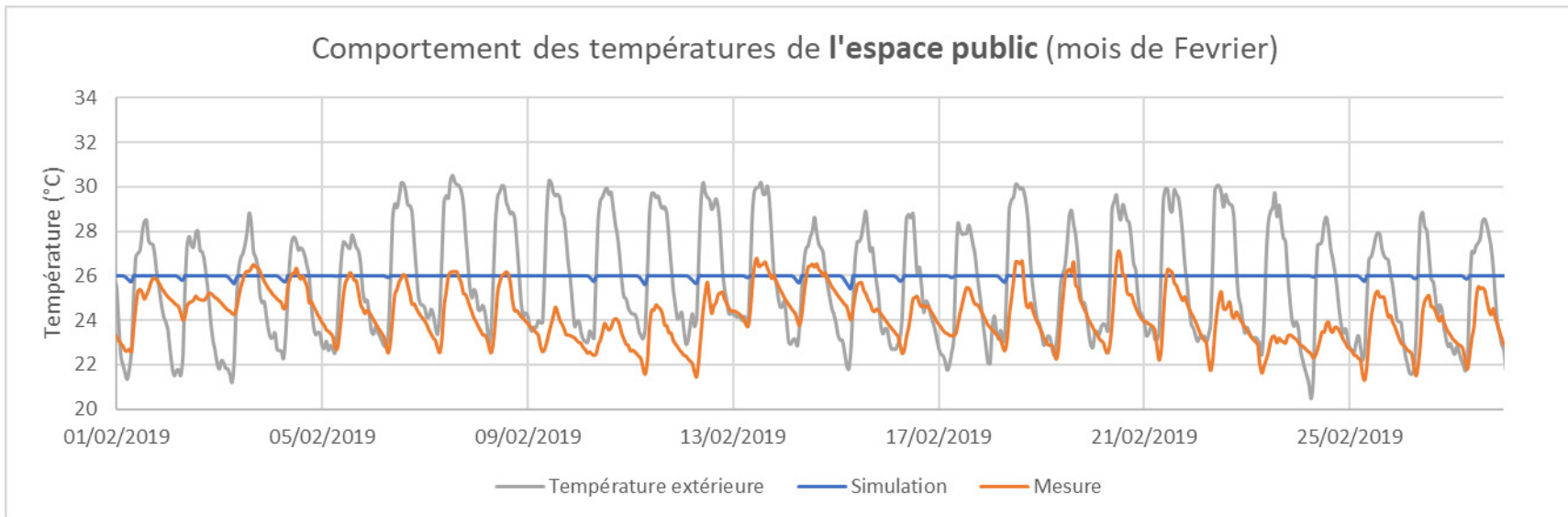
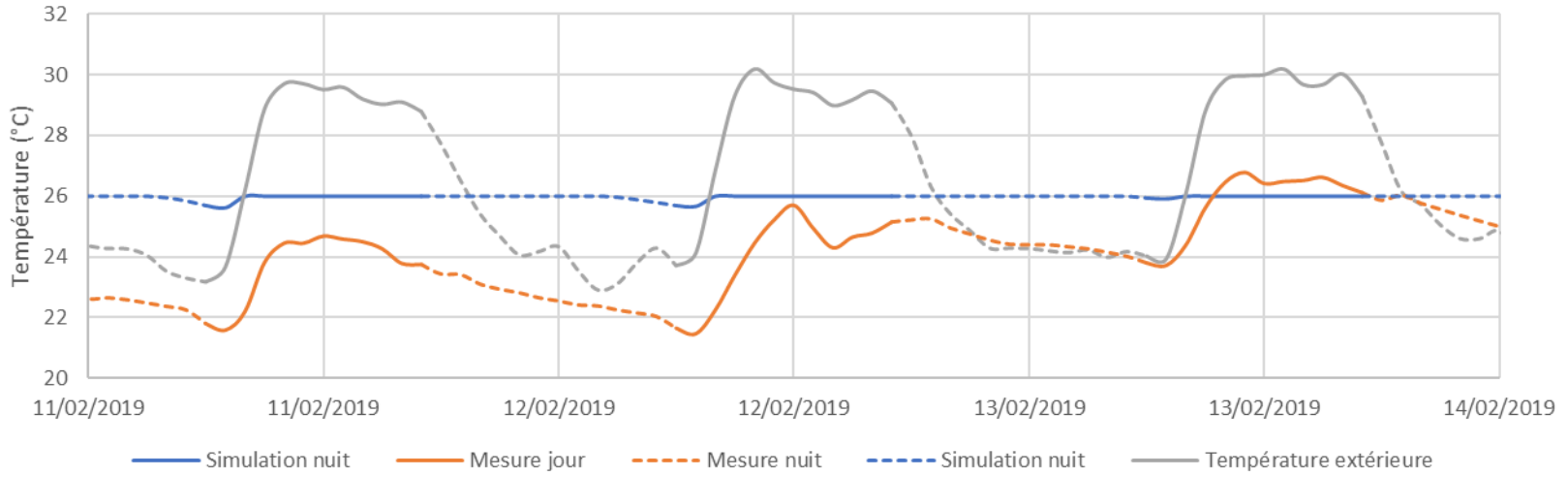


Figure 12 : Localisation des capteurs température

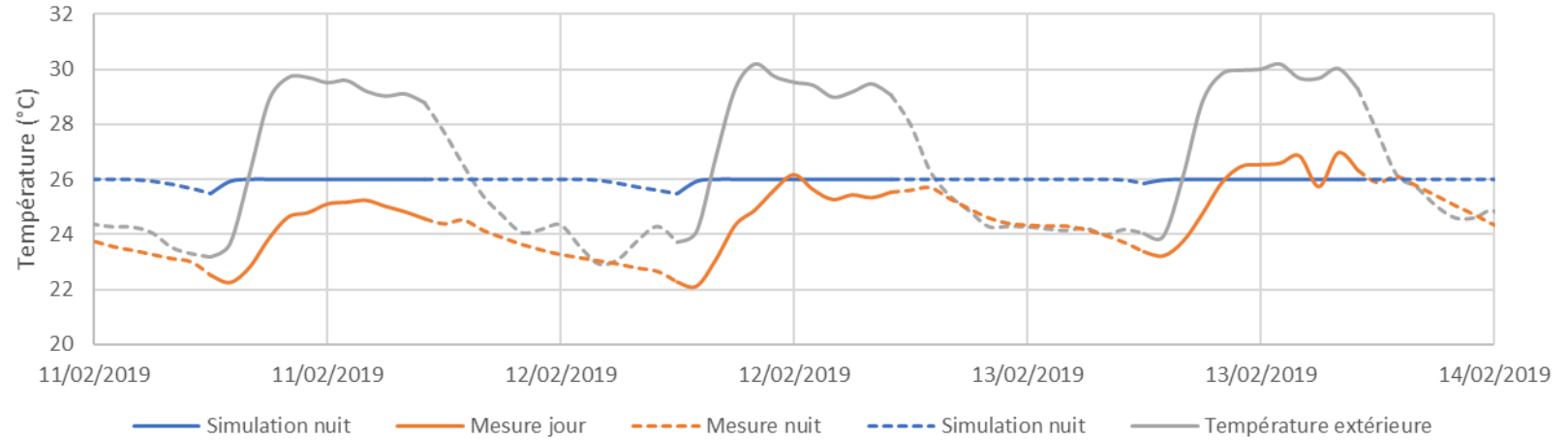




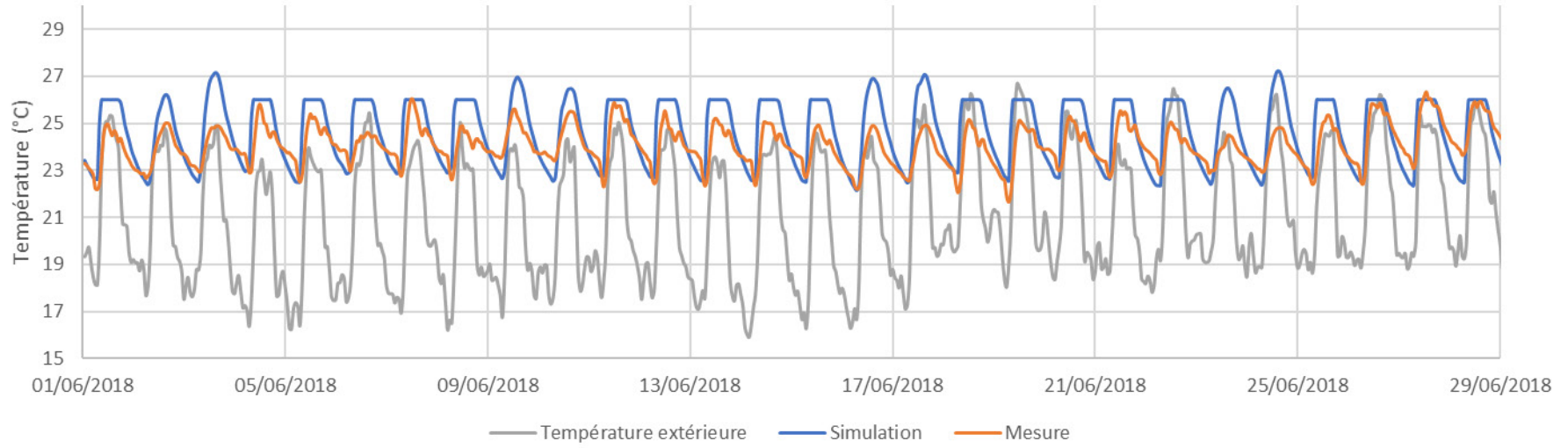
Comportement des températures de **l'espace public** (mois de Fevrier (3 jours))



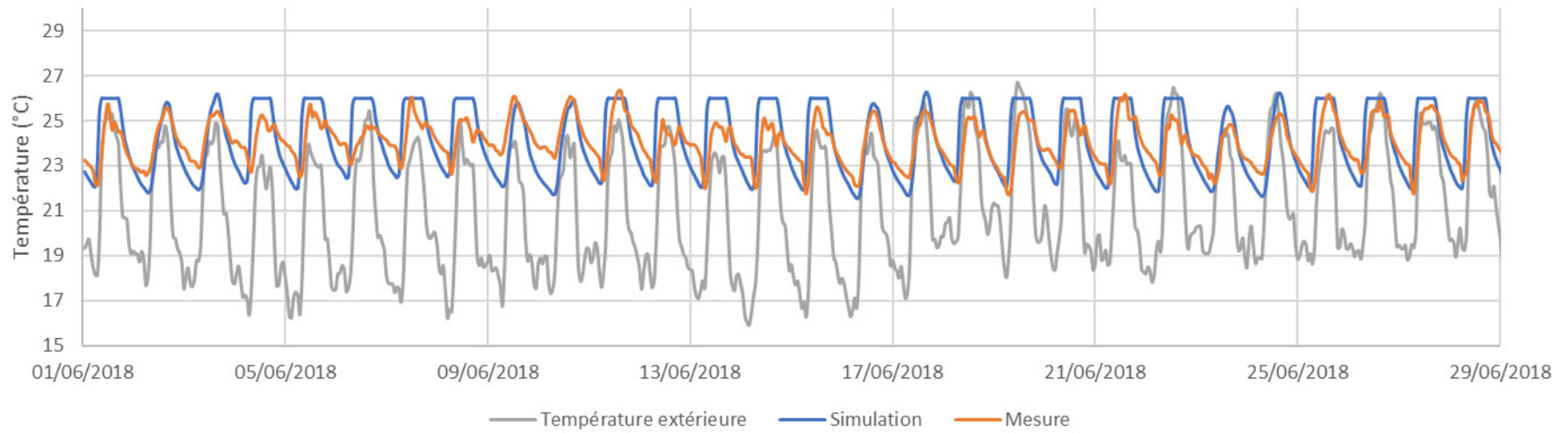
Comportement des températures de **l'administratif** (mois de Fevrier (3 jours))

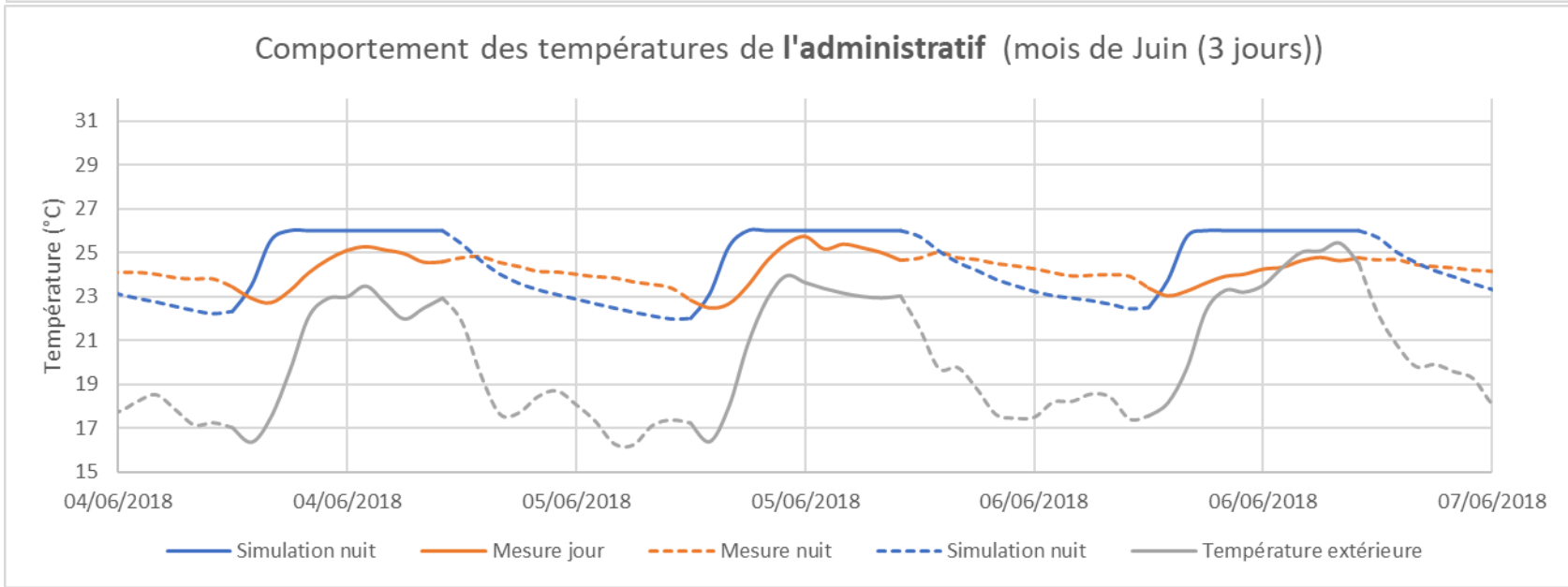
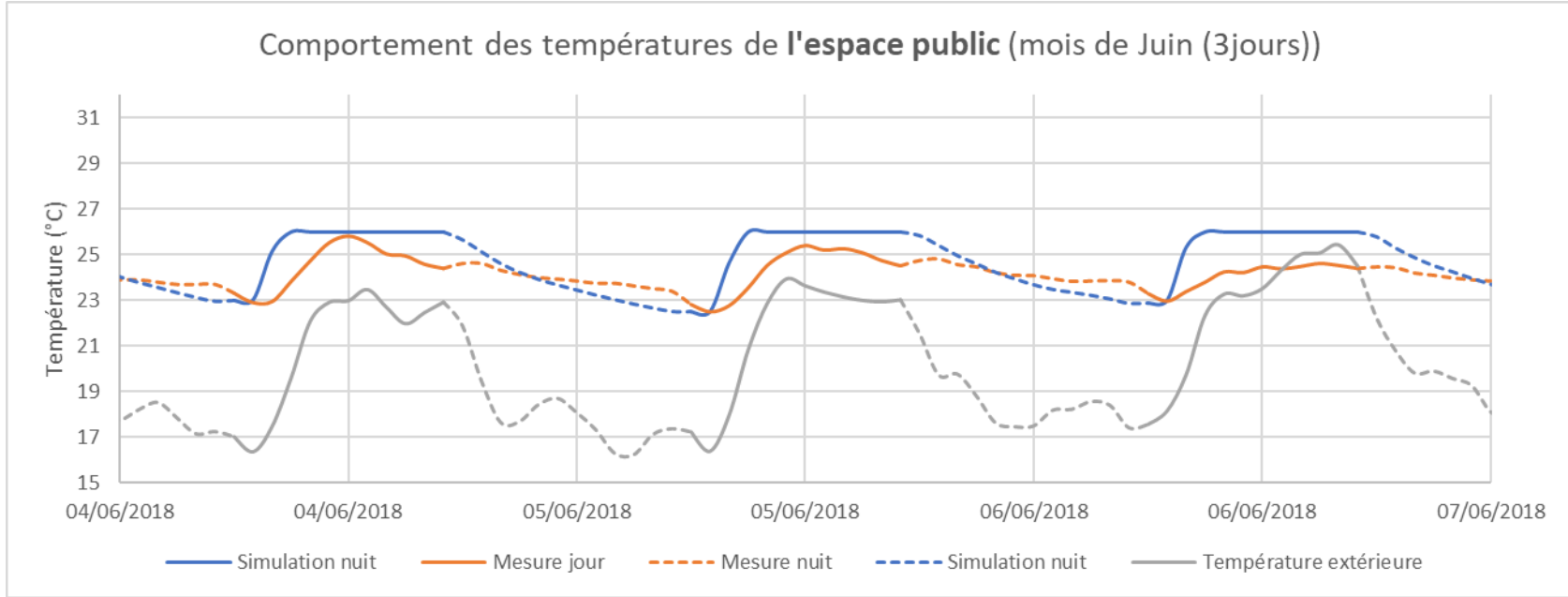


Comportement des températures de **l'espace public** (mois de Juin)



Comportement des températures de **l'administratif** (mois de Juin)





En hiver (mois de Juin), les températures mesurées sont toutes inférieures à celles simulées qui se fixent à 26°C, représentant la température de consigne. On peut dire que **les occupants en période d'hiver ont une demande de confort en température inférieure à la température de consigne simulée** (environ 1°C de différence). Cela expliquerait bien les besoins en froid supérieurs mesurés en période d'hiver dans la partie « Analyse de la comparative mesure / simulation des puissances en froid ».

On retrouve donc ici un facteur limite du paramétrage de la simulation. Le comportement des usagers ne correspond pas forcément aux hypothèses prévues.

En été (mois de février), les températures mesurées sont généralement supérieures à celles simulées. Il est à noter qu'aucun contrat de maintenance des équipements de climatisation n'est en cours, ce qui altère le bon fonctionnement des équipements. **Les températures demandées ont donc du mal à être atteintes au cours de la journée, et notamment pendant la période estivale,** tandis que les équipements ont l'air de fonctionner à pleine puissance.

Il est alors normal de relever des besoins en froid plus élevé pour la simulation pendant cette période.

La différence de l'ensemble des valeurs simulées/mesurées peut alors être justifiée par le comportement des utilisateurs en hiver et par la performance insuffisante du système de climatisation en été.

Hormis ce phénomène, si on regarde les graphiques du comportement des températures sur 3 jours, durant la nuit, les températures du bâtiment se comportent selon un profil similaire. Cela rassure sur le bon comportement des températures à l'intérieur du modèle de simulation.

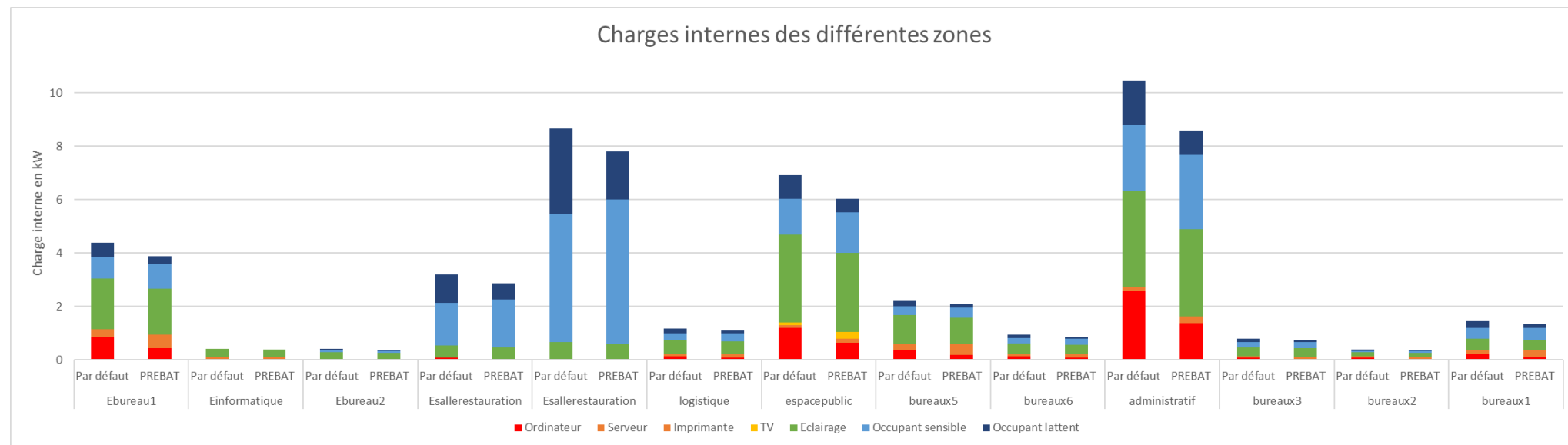
D'un point de vue général, l'ensemble de ces éléments démontre que le modèle de simulation prend en compte de manière suffisamment fiable les différents phénomènes impactant la demande de froid. L'ensemble des hypothèses et la méthode de conception du modèle peuvent alors être jugées cohérentes.

4.4. Analyse de l'influence des choix des hypothèses (application hypothèses PREBAT).

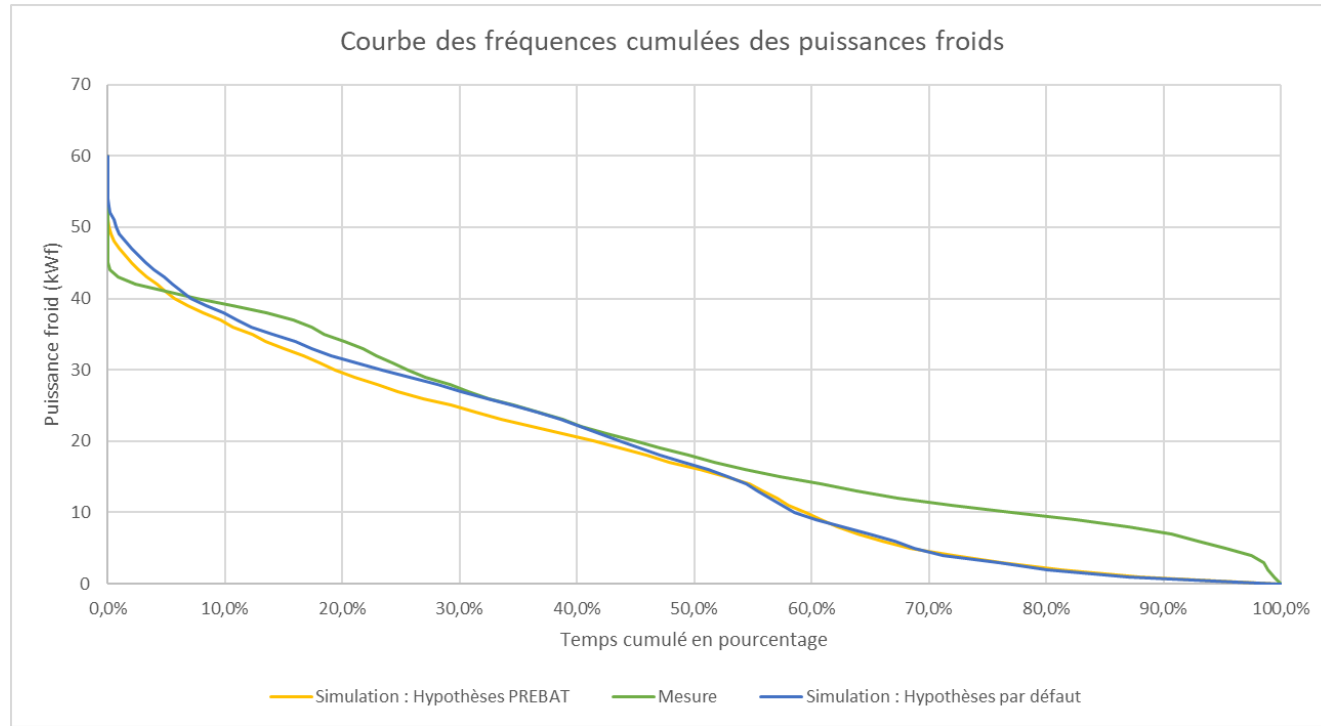
L'application ici vise à comparer nos résultats face au choix des hypothèses. Pour rappel, les résultats précédemment étudiés, résultent des hypothèses issues de l'ouvrage « apports internes » édité par l'AICVF (L'association des Ingénieurs et Techniciens en Climatique, Ventilation et Froid). Ces informations sont communément utilisées dans nos études.

Nous confronterons nos résultats à ceux obtenus en utilisant les hypothèses de charges internes proposées par le référentiel PREBAT.

	Charges internes par défaut	Charges internes du référentiel PREBAT	
Métabolisme	67	75	Wsensibles/pers.
Ordinateur	70	37	W/appareil
Imprimante	50	82	W/appareil
TV	40	80	W/appareil
Serveur	115	115	W/appareil
Eclairage	11	10	W/m ²



Pour caractériser cela, nous nous baserons sur l'indicateur des courbes des fréquences cumulées des puissances froids.



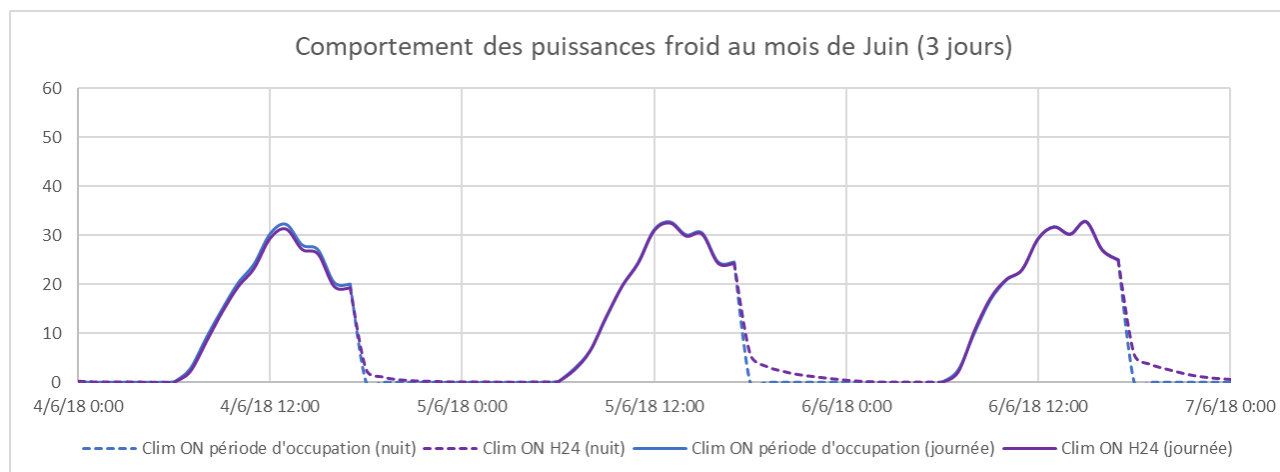
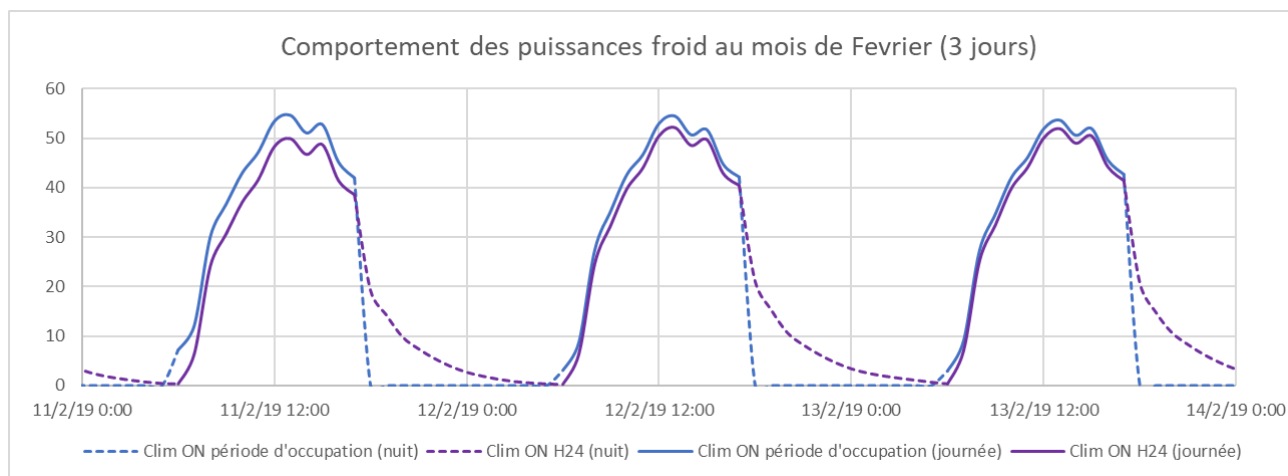
Le référentiel PREBAT est focalisé sur les conceptions énergétiquement performantes. L'ensemble des hypothèses proposées correspondent alors à des équipements performants et donc à des apports internes moins importants. Notre cas d'étude ne représente pas ce genre de caractéristiques. C'est ce qui est visuellement représenté sur le graphique ci-dessus. Ces résultats ne choquent alors pas mais témoignent de **l'impact immédiat des résultats lorsque l'on fait varier les hypothèses des charges internes** avec une variation d'environ 1 kWf dans notre cas.

Le choix des hypothèses doit impérativement prendre en compte le profil et les caractéristiques du cas d'étude.

4.5. Analyse du comportement des pics de puissance matinale de la simulation

L'objectif est ici d'interpréter le comportement des pics matinaux de la simulation lors d'un redémarrage soudain qui fait souvent office de valeur dimensionnante pour le système de climatisation.

Pour cela, nous allons comparer deux résultats de simulation ; l'une avec le système de climatisation active uniquement sur la période de présence (7H-17H) et l'autre active en permanence. Pour l'analyse, nous étudierons les valeurs des puissances en froid des simulations de manière brute à différentes périodes :



Appel de la puissance en froid maximale (kWf)		Consommation totale annuel en froid (kWh)	
Clim ON période d'occupation	Clim ON H24	Clim ON période d'occupation	Clim ON H24
60 kW	56 kW	77218 kWh	102177 kWh

Nous observons ici que l'activation de la climatisation de manière permanente (clim ON H24) permet d'éliminer les charges accumulées durant la nuit. Cela occasionne une diminution **de l'ensemble des puissances de froid journalier**. L'appel de puissance en froid maximal passe de 60 à 56 kWf. **Conserver la climatisation de manière permanente permet un foisonnement des appels de puissance en froid**. En revanche, la consommation totale d'énergie annuelle est plus importante : 77218kWf pour un fonctionnement standard contre 102177 kWh pour un fonctionnement H24. Dans certains cas, un équilibre peut alors être développé. Une des solutions serait de pré-climatiser le bâtiment avant l'arrivée des occupants et du pic des charges internes.

Conclusion

Dans notre cas, le modèle de simulation construit est issu d'un travail d'échanges, de visites et d'hypothèses pour assurer des résultats représentatifs de la réalité.

Notre étude ici visait à comparer les résultats obtenus en simulation face aux mesures réellement mesurées sur site.

Il en résulte une analyse de ce comparatif et des interprétations ont été faites sur la justesse des résultats de la STD et leurs limites.

Analyse de l'influence des données climatologiques

L'ensemble des résultats est directement lié au choix des données météorologiques de référence.

Nous avons donc comparé les résultats de deux simulations avec deux fichiers météorologiques différents. L'un est celui de Saint-Paul pour l'année 2006. A partir de ce fichier, les données du Port pour les années 2018 et 2019 ont été incluses pour obtenir un second fichier météorologique avec des données correspondant à nos périodes de mesure.

En se basant sur l'indicateur des courbes des fréquences cumulées, nous avons pu voir **l'importance de la variation des résultats suivant la source des données météorologiques** de l'ordre de 2 kW de différence. On en déduit que **l'ancienneté des données et l'altitude** sont des paramètres impactant directement la fiabilité des résultats. Lorsque cela est possible, la création d'un fichier météorologique avec des données plus récentes et fiables est de rigueur.

Analyse de la comparative mesure / simulation des puissances en froid

D'un point de vue général, malgré un coefficient R^2 de 0.6 faible, les résultats obtenus sont représentatifs du comportement réel global des demandes de froid mesurés sur place.

Par ailleurs, nous avons porté notre attention sur le comportement inertiel du modèle de nuit (hors occupation). Les puissances en froid de la simulation, la nuit, sont plus basses que celles mesurées avec environ 8kWf de différence : **le caractère inertiel des matériaux du modèle est sous-estimé par rapport au comportement réel du bâti.**

Cela a pour effet de ne pas représenter **le phénomène d'appoint important pour combattre les charges inertielles matinales**. Le pic matinal pour les valeurs mesurées passe de 0 à 20 kW en moins d'une heure, tandis que les valeurs simulées augmentent progressivement pendant toute la matinée.

Analyse de la comparative mesure / simulation des températures

En hiver, l'occupation témoigne d'une consigne de température inférieure à celle prévue en simulé : 24/25°C contre 26°C en simulé.

Cela expliquerait alors les besoins en froid supérieurs mesurés en période d'hiver dans la partie « Analyse de la comparative mesure / simulation des puissances en froid ». **On en conclut ici que le paramétrage de la consigne température en simulation n'est pas forcément représentatif des besoins réels des occupants.**

En été le phénomène inverse se produit, les températures demandées ont du mal à être atteintes au cours de la journée (supérieur à 25°C), tandis que les équipements ont l'air de fonctionner à pleine puissance. Il est alors normal de relever des besoins en froid plus élevé pour la simulation pendant cette période.

La différence de l'ensemble des valeurs est justifiée par le comportement des utilisateurs en hiver et par la performance insuffisante du système de climatisation en été.

D'un point de vue général, l'ensemble de ces éléments démontre que le modèle de simulation prend en compte de manière suffisamment fiable les différents phénomènes impactant la demande de froid. L'ensemble des hypothèses et la méthode de conception du modèle peuvent alors être jugés cohérents.

En revanche, il faut être vigilant sur l'interprétation de la valeur dimensionnante des besoins en froid que propose la simulation.

L'analyse de l'influence des choix des hypothèses

L'application visait à comparer nos résultats face au choix des hypothèses. Nous avons comparé deux résultats de simulation : l'une ayant pour source les hypothèses issues de l'ouvrage « apports internes » édité par l'AICVF ; l'autre ayant pour source les hypothèses de charge internes que propose le référentiel PREBAT.

L'impact immédiat des résultats lorsque l'on fait varier les hypothèses des charges internes a été observé avec une variation d'environ 1 kWf dans notre cas. Le référentiel PREBAT présentait des résultats moins justes.

Il en résulte que le choix des hypothèses doit impérativement prendre en compte le profil et les caractéristiques du cas d'étude.

Analyse du comportement des pics de puissance matinale de la simulation

Pour finir, l'analyse du comportement des pics de puissance matinale de la simulation a permis de comparer les besoins obtenus face à une climatisation fonctionnant uniquement pendant la période de présence et une climatisation fonctionnant de manière permanente.

L'appel de puissance en froid maximal passe de 60 à 56 kWf. **Conserver la climatisation la nuit, hors occupation, permet un foisonnement des appels de puissance en froid.** En revanche, la consommation totale d'énergie annuelle est plus importante. Dans certains cas, un équilibre peut être alors être développé.

Conclusion générale

L'étude était portée par une appréhension face aux marges d'erreurs possibles des résultats. En effet, nous avons ceux d'une simulation informatique purement fictive issue d'un assemblage d'hypothèses et de résultat de calculs compilés ; de l'autre côté des résultats de mesures avec toutes les incertitudes relatives aux appareillages utilisés.

Malgré cela, diverses concordances et discordances ont pu être identifiées, reconnues et interprétées.

La simulation thermique et dynamique dans les bâtiments à usage de bureau permet d'évaluer correctement le comportement et les besoins à venir.