

Action 1.1

Validation et finalisation de l'outil Tropiclim d'aide au dimensionnement des groupes d'eau glacée à La Réunion

Floriane MERMOUD, 20/02/2025

Un surdimensionnement chronique est observé sur les installations de climatisation à eau glacée à La Réunion, engendrant un fonctionnement à faible taux de charge (<10%) une grande partie de l'année, préjudiciable à la durabilité des équipements (à cause du cyclage) et aux performances (à cause du poids des auxiliaires à faible charge).

Un outil destiné à accompagner le dimensionnement des groupes d'eau glacée sous le climat de La Réunion a été développé par le bureau Enertech dans le cadre du projet Tropiclim, sur la base d'une multitude de simulations élémentaires assemblées pour réaliser un moteur de calcul permettant de déterminer la puissance froide maximale nécessaire. Cet outil a donné de bons résultats sur trois sites dont la demande de froid a été instrumentée sur une année complète¹. Mais avant d'inciter à son utilisation, nous avons trouvé préférable de le faire tester par 3 acteurs extérieurs sur 3 sites dont la puissance froide appelée a été mesurée sur un été, ce qui a permis de :

- recueillir le retour d'expérience de 3 utilisateurs n'ayant pas participé à l'élaboration de l'outil (impressions, ergonomie, éléments à ajouter/corriger, etc...)
- comparer les résultats de mesure aux valeurs données par l'outil

1. Méthodologie

La méthodologie retenue est la suivante :

a. Instrumentation de la demande de froid de 3 sites équipés de GEG sur un été (FMDE)

Objectif : déterminer la puissance froide maximale appelée par le bâtiment sur l'année (=grandeur dimensionnante du GEG)

- Mesure de température départ/retour par sondes de contact (pas de temps 10 min) depuis décembre 2023/janvier 2024 et jusqu'à début avril 2024
- Mesure ponctuelle du débit EG par débitmètre ultrasons non intrusif (NB : sites retenus équipés de pompes à débit fixe)

NB : On ne considèrera pas la puissance maximale « absolue » comme puissance dimensionnante car elle reflète plutôt le fonctionnement technique de l'installation (ex : relance matinale). On retiendra plutôt la 5^{ème} ou la 10^{ème} valeur sur la courbe monotone (en valeurs moyennes horaires) comme valeur représentative du besoin de froid réel du bâtiment.

¹ Tâche 1 : Comparaison des différentes méthodes de conception – Livrable 1.4 Projet Tropiclim, Enertech, 2020, 6p
https://cdn.s-pass.org/SPASSDATA/attachments/2020_07/30/5f7f4f4052fa4-d81835.pdf

Sites retenus

- Clinique des Tamarins au Port
- Pôle-Mère-Enfant Clinique Ste Clotilde
- CAF St Pierre (instrumenté sur une année complète dans le cadre du projet CLIMESTIM)

b. Paramétrage de l'outil par 3 BE qui n'ont pas participé au projet Tropiclim

Objectifs : déterminer la puissance froide maximale appelée par le bâtiment sur l'année (=grandeur dimensionnante du GEG) et obtenir le retour d'expérience de ces utilisateurs bêta

- ENEOR pour la clinique des Tamarins
- INSET pour le PME clinique Ste Clotilde
- LEU Réunion pour la CAF St Pierre

Accompagnement par le concepteur de l'outil (Loïc Frayssinet, anciennement Enertech)

c. Confrontation des résultats

Objectif : vérifier que l'outil renvoie une valeur dimensionnante cohérente avec la puissance froide maximale mesurée

d. Finalisation de l'outil

Objectif : réaliser les ajustements nécessaires (Loïc Frayssinet) et « toiletter » l'outil en tenant compte des retours des 3 BE qui l'ont utilisé et correction des erreurs de code identifiées

2. Résultats

a. Clinique des Tamarins (ENEOR)

La fiche de synthèse des mesures réalisées est présentée en page suivante. En conclusion, la puissance froide maximale « représentative » est de l'ordre de 260 kWf, soient 60 à 65 Wf/m² climatisé.

L'outil (paramétré par ENEOR) renvoie une puissance froide maximale de 250 kWf / 60 Wf/m² climatisé ce qui est légèrement inférieur (quoique proche) à la valeur mesurée.

Cas d'étude : Clinique des Tamarins

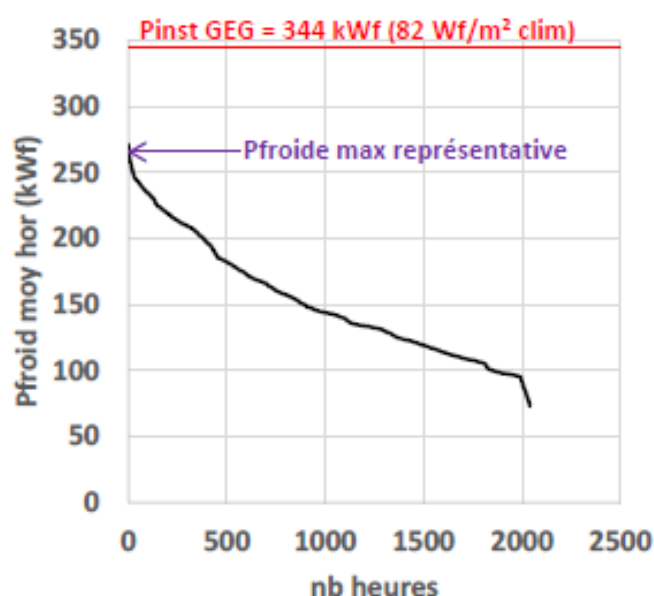


Type de bâtiment	Centre de rééducation
Localisation	Le Port
Surface Utile Brute	7400 m ²
Surface climatisée	4170 m ²
Caractéristiques architecturales	1 seul bâtiment compact composé de 2 ailes Brise-soleils fixes
Production de froid	2 GEG CIAT LDH 600V et LDH 753Z
Puissance froide	154 et 190 kWf
Type de pompe	Débit fixe 67 m ³ /h
Profil de clim	24h/24 7j/7
Année de mise en service	2007

Période de mesure	24/01-18/04/2024
Données mesurées	Pas de temps 10 min
Débit EG sur les 2 colonnes	Débitmètre US Fuji M-FLOW (mesure ponctuelle)
Temp. départ et retour EG	Sondes Hobo TMC6-HD (par contact)



Monotone de froid (moy hor)



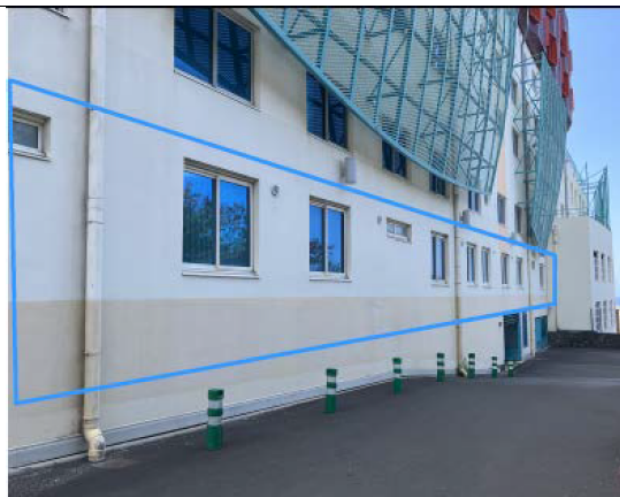
Puissance froide max mesurée : 271 kWf
 5^{ème} plus grande valeur : 262 kWf **Taux charge max**
 10^{ème} plus grande valeur : 257 kWf **~75%**

Puissance froide max mesurée « représentative » : 260 kWf
soient 60-65 Wf max/m² climatisé

b. Pôle Mère-Enfant (INSET)

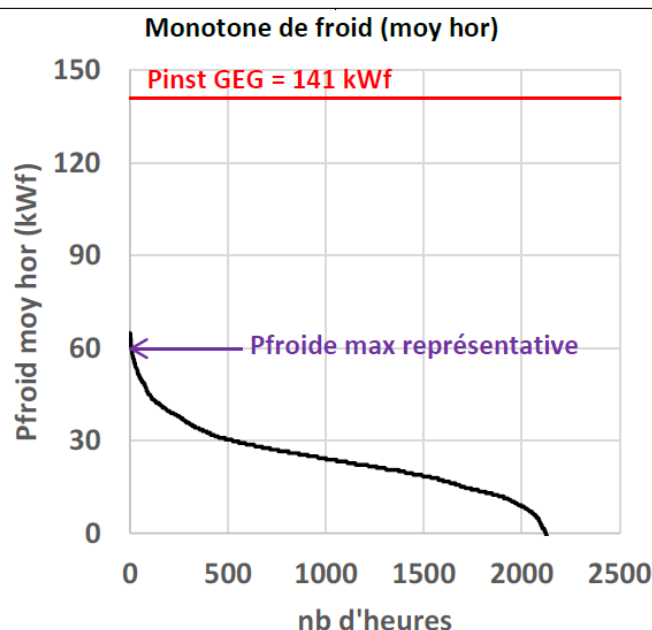
Ci-dessous la fiche de synthèse des mesures réalisées :

Cas d'étude : Pole Mère-Enfant Clinique Ste Clotilde



Type de bâtiment	Clinique-Maternité
Localisation	Ste Clotilde
Surface Utile Brute	595 m ²
Surface climatisée	595 m ²
Caractéristiques architecturales	RDC d'un bâtiment climatisé par ailleurs Au-dessus d'un parking ouvert
Production de froid	Pas de brise-soleils
Puissance froide	1 GEG CIAT LDH 540V (alimente 1 étage bâtiment G + 2 CTA) 141 kWf
Type de pompe	Débit fixe 28 m ³ /h
Profil de clim	24h/24 7j/7
Année de mise en service	2010

Période de mesure	22/12/2023-10/04/2024
Données mesurées	Pas de temps 10 min
Débit EG sur les 2 colonnes	Débitmètre US Fuji M-FLOW (mesure ponctuelle)
Temp. départ et retour EG	Thermocouples Type K Testo (par contact)



Puissance froide max mesurée : 65 kWf
 5^{ème} plus grande valeur : 61 kWf **Taux charge max**
 10^{ème} plus grande valeur : 59 kWf **40-45%**

Puissance froide max mesurée « représentative » : 60 kWf
mais alimente aussi 2 CTA supplémentaires → 32 kWf en considérant
seulement la part du débit dédiée au bâtiment
soient 50-55 Wf max/m² climatisé

A noter que le GEG instrumenté climatise le rez-de-chaussée du bâtiment Pôle Mère-Enfant de la clinique Ste Clotilde mais une 2^{ème} branche alimente deux CTA supplémentaires. Le débit a été mesuré sur les deux branches afin d'isoler la part de froid à attribuer au bâtiment qui a été paramétré dans l'outil (RDC du Pôle Mère-Enfant). Ainsi la puissance froide maximale retenue pour cette partie du bâtiment est de 32 kWf soient 50 à 55 Wf/m² climatisé.

NB : Le GEG en place est très surdimensionné puisque le taux de charge maximum est de l'ordre de 40%...

L'outil (paramétré par INSET) renvoie une puissance froide maximale de 40 kWf / 67 Wf/m² climatisé ce qui est légèrement supérieur à la valeur mesurée.

c. CAF St Pierre (LEU Réunion)

La fiche de synthèse des mesures réalisées est présentée en page suivante. En conclusion, la puissance froide maximale « représentative » est de l'ordre de 170 kWf, soient 60 à 65 Wf/m² climatisé.

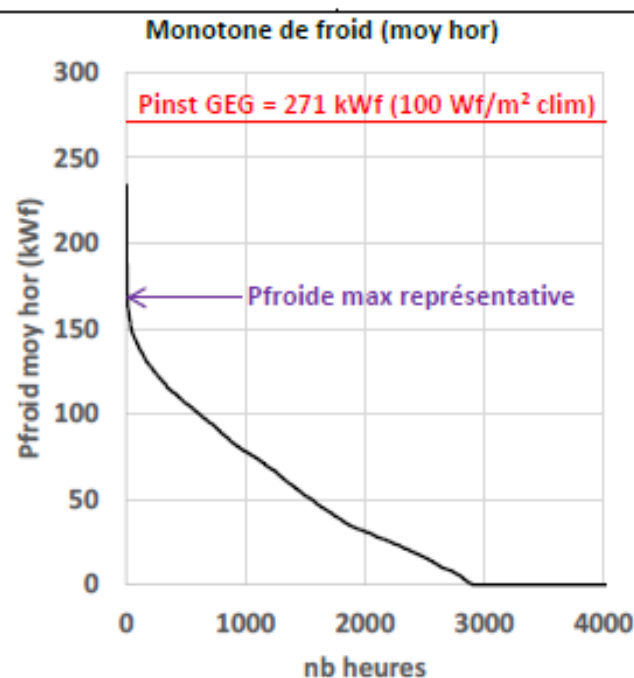
L'outil (paramétré par LEU Réunion) renvoie une puissance froide maximale de 184 kWf / 65 à 70 Wf/m² climatisé ce qui est légèrement supérieur à la valeur mesurée.

Cas d'étude : CAF St Pierre



Type de bâtiment	Bureaux + accueil public
Localisation	St Pierre
Surface Utile Brute	3758 m ²
Surface climatisée	2718 m ²
Caractéristiques architecturales	Bâtiment compact Brises soleil fixes Brasseurs d'air
Production de froid	1 GEG Carrier 30XBE
Puissance froide	271 kWf
Type pompe	Débit fixe 48 m ³ /h
Profil de clim	Coupure nuit et we
Année de mise en service	2022

Période de mesure 09/02/2023-08/01/2024
Données mesurées Pas de temps 10 min
Débit EG sur les 2 colonnes Débitmètres US Krohne
Optisonic et Fuji M-FLOW)
Temp. départ et retour EG Sondes Hobo TMC6-HD
(par contact)



Puissance froide max mesurée : 234 kWf
5^{ème} plus grande valeur : 188 kWf **Taux charge max**
10^{ème} plus grande valeur : 171 kWf **60-65%**

Puissance froide max mesurée « représentative » : 170 kWf
soient 60-65 Wf max/m² climatisé

d. Conclusion

Le tableau suivant récapitule les confrontations obtenues sur les 3 sites mesurés ainsi que sur les 3 sites étudiés dans le cadre du projet Tropiclim¹ (rapport en annexe 1 pour mémoire) :

	usage	Pf max mesurée (kWf)	Pf max outil* (kWf)	Ecart	Ecart
Clinique des Tamarins	hospitalier	260	250*	-10 kWf	-4%
Clinique Ste Clotilde	hospitalier	32	40*	+8 kWf	+25%
CAF St Pierre	bureaux	171	184*	+13 kWf	+8%
CAF St Paul	bureaux	47	49*	+2 kWf	+4%
Fac de lettres	enseignement	149	152*	+3 kWf	+2%
Entrepôt pharmaceutique	stockage médicaments	33	35*	+2 kWf	+6%

*hors pertes du réseau EG

Les valeurs renvoyées par l'outil sont dans l'ensemble proches des valeurs mesurées, avec un écart globalement en dessous de 10% (seule une valeur renvoyée par l'outil est en dessous de 4% à la valeur max mesurée) et de 15 kWf (ce qui est faible comparé aux écarts entre les différentes gammes de puissance).

Cependant il est à noter que **l'outil estime uniquement la demande de froid du bâtiment** et **ne prend pas en compte les pertes du réseau EG** (qui sont donc à rajouter à la valeur renvoyée par l'outil pour obtenir la puissance froide dimensionnante).

Annexe 1 : Rapport Tropiclim « Tâche 1 : Comparaison des différentes méthodes de conception – Livrable 1.4 »

***Projet Tropiclim « Favoriser l'émergence
de la climatisation efficace à La Réunion »***

**Tâche 1 : Comparaison des différentes
méthodes de conception**

Livrable 1.4

09/01/2020

rédigé par  **ENERTECH**



Le projet Tropiclim est lauréat du 11^{ème} appel à projets du programme PACTE (Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Energétique) intitulé « Améliorer la qualité de la construction dans les territoires ultra-marins ». Il a été cofinancé par l'Ademe Réunion et EDF Réunion.

Sommaire

- 1 INTRODUCTION..... 3
- 2 COMPARAISON DES DIFFERENTES METHODES..... 3
 - 2.1 COMPARAISON DES RESULTATS 3
 - 2.2 COMPARAISONS GENERALES..... 5
- 3 CONCLUSION 5
- ANNEXE : DETAIL DE LA COMPARAISON DES DIFFERENTES METHODES..... 6

1 Introduction

Les trois sous-tâches précédentes ont permis d'aborder différentes méthodes de dimensionnement d'installations centralisées de climatisation :

- les méthodes « classiques » utilisées par les bureaux d'études et les installateurs (rendu 1.1) ;
- l'utilisation de logiciels de simulation thermique dynamique (rendu 1.2) ;
- la conception d'une méthode simplifiée basée sur des pré-calculs issus de simulations thermiques dynamiques (rendu 1.3).

L'objectif de la présente sous-tâche est de comparer ces différentes approches.

2 Comparaison des différentes méthodes

2.1 Comparaison des résultats

Confrontons dans un premier temps les différentes méthodes à la réalité. Pour cela, nous nous appuyerons sur les trois cas d'études utilisés dans les sous-tâches précédentes. Pour rappel, ces cas d'études ont été sélectionnés car une campagne de mesure portée par Green-Tech leur était associée. On dispose ainsi de la puissance frigorifique réellement appelée. Cette valeur a été comparée à celle calculée par différentes méthodes :

- la méthode « ASHRAE » qui est une méthode partiellement dynamique : on définit un jour type dimensionnant pour lequel les sollicitations extérieures ont un profil générique prédéfini, paramétré selon les statistiques de la météo de référence. Cette méthode présuppose donc que les jours dimensionnants sont les mêmes quelles que soient les zones et que ces jours sont déterminés uniquement à partir de la température extérieure. Elle nécessite aussi de définir a priori l'hygrométrie intérieure ;
- la méthode « STD » pour simulation thermique dynamique. Ici, les besoins sensibles et latents sont calculés au pas de temps horaire sur une année pour une météo de référence. Il n'y a donc pas de sélection a priori du jour dimensionnant, ni d'hygrométrie à définir ;
- la méthode « OUTIL » basée sur l'outil simplifié développé dans le cadre de ce projet et présenté dans le rendu précédent (1.3). Il n'y a pas non plus de sélection a priori du jour dimensionnant, ni de l'hygrométrie.

Il n'y a pas eu de comparaison effectuée avec une méthode statique, qui est une méthodologie moins précise. Les résultats obtenus par ces trois différentes méthodes, paramétrées de façon semblable, sont comparés au dimensionnement réel dans la figure 2.1. La valeur de la puissance mesurée est également indiquée. Des détails supplémentaires sont disponibles en annexe.

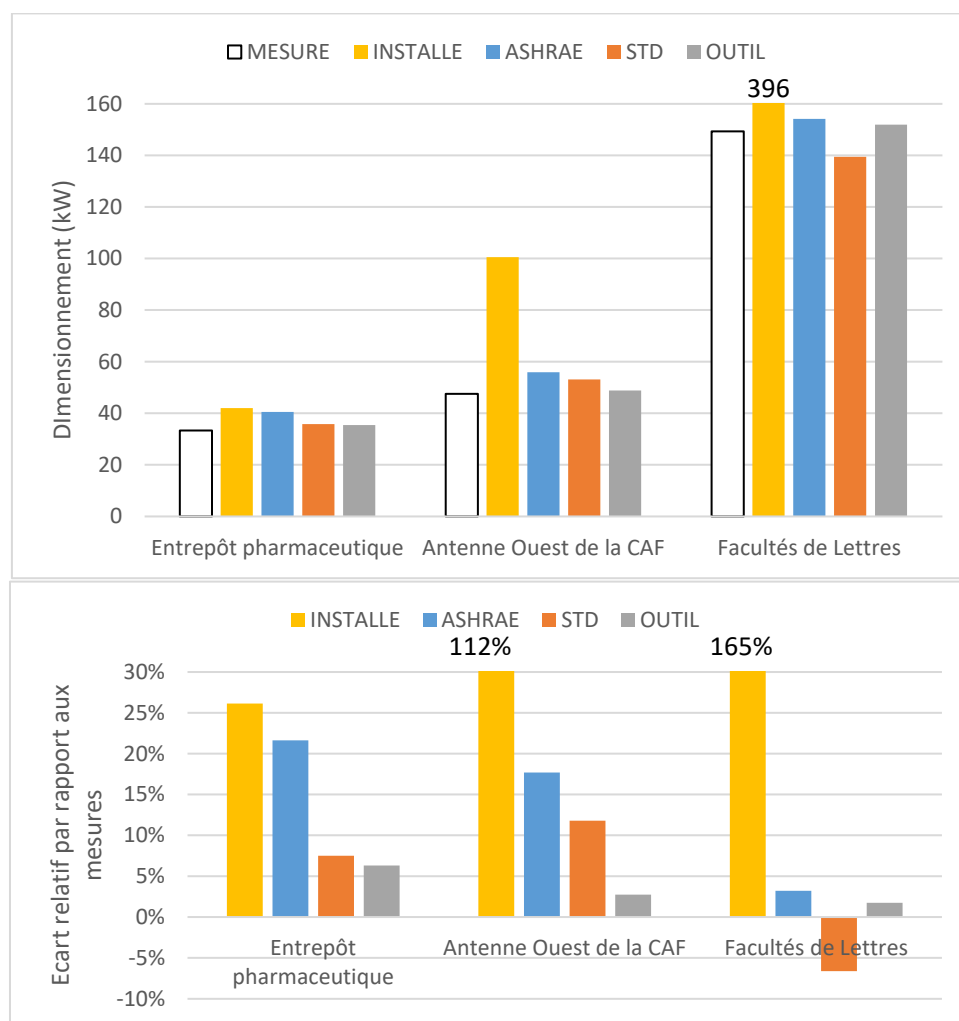


Figure 2.1 – Comparaison absolue et relative des puissances de froid réelles et estimées par les différentes méthodes.

Ces résultats sont à relativiser étant donné la taille de l'échantillon et du fait qu'ils dépendent de la paramétrisation des modèles (d'où l'importance de l'étude de sensibilité menée dans le rendu 1.2). Mais des tendances s'en détachent :

- il semble que la méthode ASHRAE soit celle qui surestime le plus le dimensionnement (jusqu'à 22 %). Cela est potentiellement dû à une moins bonne prise en compte du foisonnement et de la puissance latente ;
- la STD et l'outil simplifié semblent globalement équivalents (rappelons ici que le cas d'étude de la CAF s'avère pourtant être à la limite du domaine de validité pour l'outil simplifié, voir rendu 1.3).

Par ailleurs, l'installation réelle est systématiquement surdimensionnée, à minima de 25 %, et jusqu'à 165 %. D'après ces résultats, il semble que cette surestimation provienne plus de la paramétrisation (sélection de la période dimensionnante et définition des paramètres) que des outils eux-mêmes. L'avantage de la STD et de l'outil simplifié étant leur absence de préjugé sur la période dimensionnante et sur l'hygrométrie à définir.

En pratique, les systèmes disponibles étant dimensionnés par palier, la comparaison en absolu s'avère plus appropriée. On cherche alors à s'assurer que les valeurs estimées soient identiques à la dizaine près, ce qui semble le cas pour les différents cas d'études (hors valeur installée). Ainsi, il apparaît que, pour les trois méthodes comparées, les calculs conduiraient peu ou prou à la sélection du même matériel.

2.2 Comparaisons générales

Au-delà des résultats, les outils peuvent trouver leur pertinence en termes de prise en main et de type de résultats produits. La pertinence des différents outils est donnée de façon synthétique dans le tableau ci-dessous (figure 2.2) de façon qualitative, en se basant sur l'expérience acquise au cours de ce projet et sur les retours des acteurs réunionnais (rendu 1.1). L'ordre de présentation des méthodes est un classement selon la précision croissante des résultats. Le code couleur va du vert lorsque que l'utilisation de la méthode est favorable au critère en question, au rouge lorsqu'elle est défavorable, en passant par le blanc lorsqu'elle est neutre. L'intensité des couleurs représente l'intensité du caractère favorable ou défavorable.

Méthode	Précision des résultats	Modélisation du foisonnement	Modélisation du latent	Temps de paramétrisation	Nombre de sorties disponibles	Temps de calcul	Adaptabilité à tous cas
Statique							
Quasi-dynamique (ASHRAE)							
Outil simplifié							
STD							

Figure 2.2 – Comparaison qualitative des différentes méthodes de dimensionnement

Le paramètre sur le temps de calcul est à relativiser car il est très largement inférieur au temps de paramétrisation quelque-soit les méthodes utilisées. L'« adaptabilité à tous cas » correspond à la présence, ou non, d'hypothèses implicites sur la constitution du bâtiment.

On voit ici que l'outil simplifié développé dans le projet Tropiclim offre une variante de dimensionnement de la climatisation très intéressante, dans la mesure où il réalise un calcul dont la précision s'approche de la STD (prise en compte du foisonnement et du froid latent) tout en proposant un temps de paramétrisation (utilisation) très avantageux. Sa faiblesse résidant dans son domaine plus restreint de validité, bien qu'il puisse être évolutif et pourrait être amélioré dans le futur en fonction des zones d'ombres détectées par les potentiels utilisateurs.

3 Conclusion

La STD s'avère être l'outil le plus puissant et le plus abouti pour modéliser le comportement énergétique d'un bâtiment, mais l'étendue de ses possibilités fait que son utilisation est complexe. Les méthodes simplifiées permettent de réduire cette complexité, mais généralement au détriment de la précision. L'outil développé dans le cadre de ce projet a pour vocation d'allier la précision de la STD à la réduction de la complexité (et donc du temps de paramétrage). Les premiers résultats de validation confirment que l'objectif est atteint.

Nous avons mis en évidence que, au-delà des méthodes en elles-mêmes, l'enjeu réside dans leur paramétrisation. Un effort a été mené dans le présent projet pour identifier les paramètres les plus influents permettant de cibler les points cruciaux conduisant à fiabiliser les résultats (tâche 1.2). L'ensemble de ces paramètres les plus influents, et uniquement eux, sont à entrer par l'utilisateur dans l'outil développé en tâche 1.3, ce qui lui confère sa simplicité d'utilisation et sa précision.

Annexe : Détail de la comparaison des différentes méthodes

Les résultats obtenus suivant les différentes méthodes ainsi que les conditions climatiques dimensionnantes sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

On observe notamment que la sélection de la période dimensionnante en fonction de la température extérieure retenue dans la méthode ASHRAE ne s'avère pas forcément représentative. La seconde méthode ASHRAE présente pour l'entrepôt pharmaceutique correspond à l'estimation réalisée par un bureau d'étude dans le cadre d'un pré-diagnostic. Celle-ci est cohérente avec celle réalisée dans le cadre de la validation.

	Dimensionnement						Total		/réel	Sensible		Latent						
							kW	W/m²		kW	W/m²	kW	W/m²					
Entrepôt pharmaceutique	Réal	Mesuré - 5ème max						33.3	59.3	-	-	-	-	-				
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		6.4%	22/02	17:00	29.9	-	-											
		Mesuré - max						35.2	62.6	6%	-	-	-	-				
	fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min													
	3%	19/03	16:00	30.5	-	-												
	ASHRAE	Installé						42	74.7	26%	-	-	-	-				
		Météo Avirons PERENE Z1						40.5	72.1	22%	25.9	46.1	14.6	25.9				
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		0.40%	03/01	(13:00)	31.6	25.0	23.9											
	+15% (facteur surdim)						46.6	82.9	40%	29.8	53.0	16.8	29.8					
	STD (EnergyPlus)	Météo Avirons PERENE Z1						35.8	63.7	8%	22.1	39.3	13.7	24.4				
		5ème max																
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		0.80%	25/03	15:00	30.8	-	-											
	ASHRAE	max						36.1	64.2	8%	23.0	40.9	13.1	23.3				
fréquence Jour		Tsèche_max		Thum	Tseche_min													
0.67%		01/01	16:00	30.9	-	-												
Estim Pré-diag ; logiciel MC4-HVAC						40	71.2	20%	-	-	-	-						
fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min														
-	-	16:00	32.0	28.2	-													
Outil simplifié	Météo Avirons PERENE Z1						35.4	63.0	6%	-	-	-	-					
	fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min													
	1.14%	02/01	15:00	30.4	-	-												
Antenne Ouest de la CAF	Réal	Mesuré - 5ème max						47.5	39.0	-	-	-	-	-				
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		0.46%	13/12	13:00	31.0	-	-											
		Mesuré - max						48.2	39.6	1%	-	-	-	-				
	fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min													
	3.31%	12/12	14:00	29.7	-	-												
	ASHRAE	Installé						100.5	82.6	112%	-	-	-	-				
		Météo Avirons PERENE Z1						55.9	45.9	18%	46.5	38.2	9.9	8.1				
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		0.40%	03/01	(13:00)	31.6	25	23.9											
	+15% (facteur surdim)						64.3	52.8	35%	53.5	43.9	11.4	9.4					
	STD (EnergyPlus)	Météo Avirons PERENE Z1						53.1	43.6	12%	43.4	35.7	9.7	8.0				
		5ème max																
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		0.48%	28/01	13:00	31.1	-	-											
	Outil simplifié	max						53.9	44.3	13%	44.2	36.3	9.7	8.0				
fréquence Jour		Tsèche_max		Thum	Tseche_min													
0.16%		03/04	13:00	31.4	-	-												
Météo Avirons PERENE Z1						48.8	40.1	3%	-	-	-	-						
fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min														
5.00%	01/01	18:00	28.6	-	-													
Facultés de Lettres	Réal	Mesuré - 5ème max						149.3	85.0	-	-	-	-	-				
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		0.70%	26/02	18:00	30.3	-	-											
		Mesuré - max						184.4	105.0	24%	-	-	-	-				
	fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min													
	0.26%	26/02	14:00	30.7	-	-												
	ASHRAE	Installé						396.0	225.5	165%	-	-	-	-				
		Météo Gillot PERENE Z2 Agglo. St-Denis						154.1	87.8	3%	69.8	39.7	84.3	48.0				
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		0.40%	21/01	(14:00)	31.1	25.3	25.1											
	+15% (facteur surdim)						177.2	100.9	19%	80.3	45.7	96.9	55.2					
	STD (EnergyPlus)	Météo Gillot PERENE Z2 Agglo. St-Denis						139.4	79.4	-7%	65.6	37.4	73.8	42.0				
		5ème max																
		fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min												
		1.97%	16/03	18:00	30.0	-	-											
	Outil simplifié	max						151.1	86.0	1%	70.8	40.3	80.3	45.7				
fréquence Jour		Tsèche_max		Thum	Tseche_min													
0.35%		16/03	17:00	31.2	-	-												
Météo Gillot PERENE Z2 Agglo. St-Denis						151.9	86.5	2%	-	-	-	-						
fréquence Jour	Tsèche_max		Thum	Tseche_min														
1.51%	16/03	13:00	23.6	-	-													