



Pilotage des installations de climatisation à eau glacée avec variation de la température de la boucle d'eau glacée

**inset****IC66****UR** UNIVERSITÉ
DE LA RÉUNION

Rédacteurs :

C. LOMBARDOT – INSET & A. BRISSE – IC66

Rapport Final ind1 | Janvier 2026

Sommaire

1	RESUME - SYNTHESE DES RESULTATS DU PROJET PILOTCLIM	4
2	PRESENTATION DU PROJET PILOTCLIM	6
2.1	Contexte	6
2.2	Enjeux	7
2.3	Composition de l'équipe projet	9
2.4	Détails techniques du projet	10
3	DEVELOPPEMENT DU PROJET	12
3.1	Phase 0 - Présentation d'une installation de climatisation par eau glacée.....	12
3.2	Phase 1 - Etat des lieux	12
3.2.1	Recensement des installations de climatisation existantes – impact sur la consommation électrique globale de la Réunion	12
3.2.2	Transposition sur le territoire de la Guyane.....	16
3.3	Phase 2 - Etudes théoriques	17
3.3.1	Pourquoi les installations classiques sont dimensionnées pour un régime d'eau glacée 7/12°C ?	18
3.3.2	Limite haute de Détermination de la température maximale de boucle d'eau glacée	18
3.3.3	Présentation des résultats théoriques	20
3.3.4	Analyse des résultats obtenus.....	23
3.3.5	Etudes des gains de consommation énergétique envisageables	23
3.3.6	Conclusion des projections théoriques	29
3.4	Phase 3 – Essais et mesures sur les sites témoins de La Réunion.....	30
3.4.1	Bâtiment BEO de l'Université du Moufia	30
3.4.2	Bâtiment logistique de l'EPSMR Ouest.....	58
3.5	Phase 4 - Essais et mesures sur les sites témoins de La Guyane	77
3.5.1	Bâtiment A de l'Université de Cayenne.....	77
3.6	Phase 5 - Équipements, Instrumentations et Mesures sur le banc d'essai de l'Université de La Réunion – Laboratoire PIMENT	94
3.6.1	Présentation du banc d'essais.....	94
3.6.2	Essais programmés :.....	96
3.6.3	Résultats des essais	98
3.6.4	Conclusion essais et mesures sur le banc d'essai.....	102
3.7	Phase 6 - Outil de calcul et d'aide à la décision	103
3.8	Phase 7 – Conclusion générale	104
4	ANNEXES DU PROJET.....	106
4.1	ANNEXE 1 SAISON ETE REUNION – BEO Université.....	106
4.2	ANNEXE 2 SAISON INTERMEDIAIRE REUNION – BEO Université.....	112
4.3	ANNEXE 3 SAISON HIVER REUNION – BEO Université.....	119
4.4	ANNEXE 4 SAISON INTERMEDIAIRE REUNION – EPSMR.....	126

4.5	ANNEXE 5 SAISON HIVER REUNION – EPSMR.....	133
4.6	ANNEXE 6 SAISON SECHE GUYANE – Université de Cayenne.....	140
4.7	ANNEXE 7 SAISON HUMIDE GUYANE – Université de Cayenne	149

1 RESUME - SYNTHÈSE DES RESULTATS DU PROJET PILOTCLIM

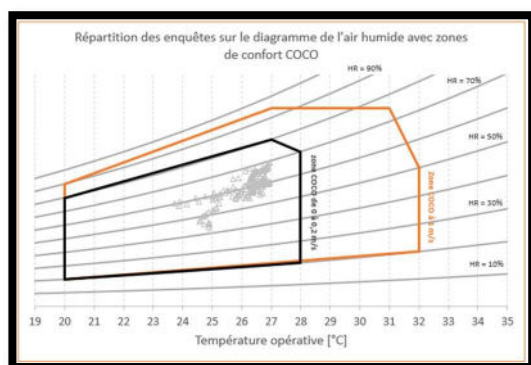
Notre projet PILOTCLIM (Pilotage des installations de climatisation à eau glacée par variation de la température de la boucle d'eau glacée) a pour objectif d'étudier la faisabilité de piloter les installations en faisant varier la température aller de la boucle d'eau glacée et de mesurer économies d'énergie liées à ce pilotage tout en s'assurant de maintenir le confort hygrothermique des occupants à l'intérieur des locaux.

Nous avons réalisé des mesures sur sites existants ultramarins pour évaluer les performances énergétiques des installations fonction de différents pilotages et pour s'assurer du maintien du confort intérieur.

Nous pouvons ainsi proposer des scénarii de conduite d'installation de climatisation centralisée à eau glacée, en fonction de la saisonnalité et des besoins des usagers, **en agissant sur les températures de consigne de la boucle d'eau glacée**, mais aussi sur la gestion des plages de fonctionnement et annoncer des gains associés.

Le projet PILOTCLIM nous permet de transmettre des préconisations en termes de conduite d'installation à plusieurs niveaux :

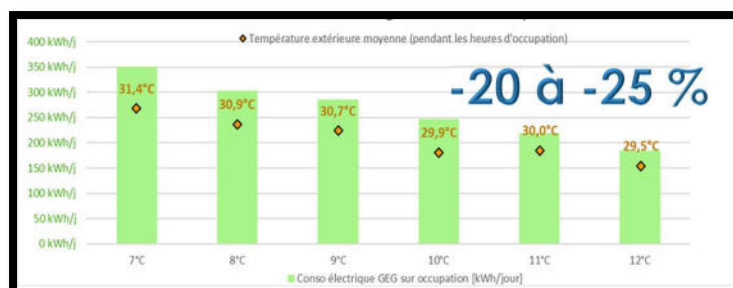
Pilotage de la température de boucle d'eau glacée :



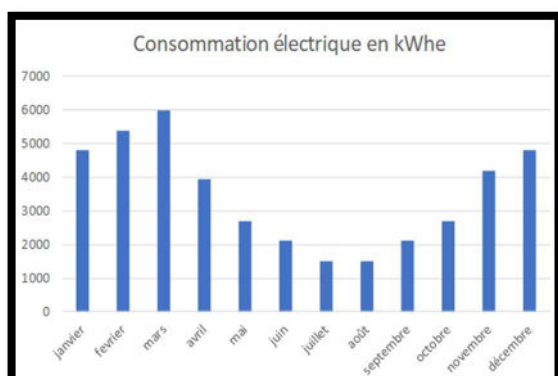
Nous sommes en mesure de confirmer la **possibilité technique d'augmenter la consigne de température aller de la boucle d'eau glacée : jusqu'à 12°C dans les Dom Tom** en toutes saisons sauf en saison humide en Guyane où cette consigne doit être limitée à 10°C.

Avec ces consignes de température, **les conditions de confort en zones tropicales sont maintenues à l'intérieur des locaux.**

Les **possibles gains d'énergie sur l'année, par degré d'augmentation de la boucle d'eau glacée, sont de l'ordre de 3 à 5% pour les territoires La Réunion, Mayotte, Guadeloupe et Martinique et de l'ordre de 2 à 3 % pour la Guyane** qui a des conditions extérieures plus contraignantes.



Pilotage de la plage de fonctionnement de la climatisation :



Les essais et mesures réalisés permettent de confirmer **qu'en hiver et en saison intermédiaire, notamment à La Réunion, il est possible de se passer de la climatisation** et rester en zone de confort à l'intérieur des locaux grâce à l'utilisation de brasseurs d'air. D'autre part, des **gains énergétiques importants sont possibles en coupant la climatisation les week-end et les nuits**, en fonction de la possibilité et de l'usage des locaux. Ces **pilotages** peuvent permettre **plus de 50% d'économie** sur le poste climatisation.

Outil de simulation des gains possibles :

Avec les résultats obtenus, nous avons développés un **outil de calcul**, simple d'utilisation, pour que chacun puisse **identifier les gains possibles** selon différents scénarii d'utilisation de son installation de **climatisation à eau glacée**.

Cet outil a pour intérêt d'inciter les usagers à modifier leur pilotage d'installation, en faisant appel à leur société d'entretien et de maintenance, dans le but de limiter les consommations énergétiques liées à la climatisation.

Dans quel territoire est situé le bâtiment ?

Fonctionnement actuel de la climatisation

A quelle période de l'année la climatisation fonctionne-t-elle ?

Uniquement en semaine ou également le week-end ?

Seulement le jour ou la nuit aussi ?

Quelle est la surface climatisée (en m²) ?

Calculs avancés - caractéristiques du groupe d'eau glacée

Connaissez-vous la température de départ du réseau d'eau glacée ?

Quelle est la température de départ du réseau d'eau glacée ?

Connaissez-vous la consommation électrique annuelle du groupe d'eau glacée ?

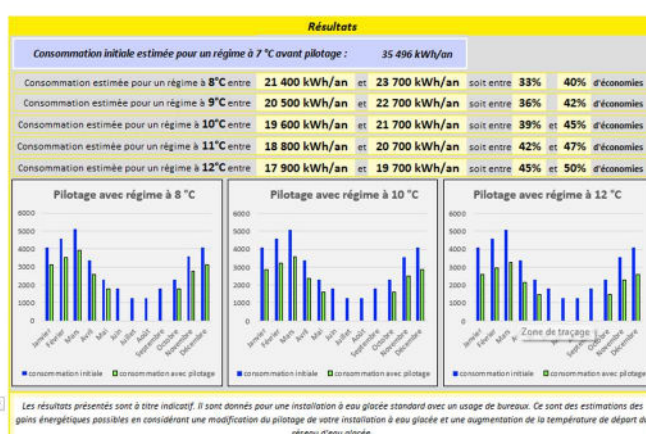
Sélection du pilotage envisagé

Envisagez-vous de modifier les périodes de fonctionnement de la climatisation ?

Fonctionnement annuel envisagé

Fonctionnement hebdomadaire envisagé

Fonctionnement journalier envisagé



2 PRESENTATION DU PROJET PILOTCLIM

La Loi transition énergétique pour une croissance verte ambitionne, pour les Outre-Mer, d'atteindre l'autonomie énergétique avec 100% d'énergies renouvelables à horizon 2030. Pour ce faire, au-delà d'une production d'ENR, des économies d'énergie sont indispensables, notamment dans les logements, plus gros poste de consommation électrique dans les territoires ultramarins (environ 50%) avant le tertiaire (environ 40%) et, nettement devant l'industrie (environ 10%).

C'est dans ce contexte que le programme OMBREE (programme inter Outre-Mer pour des bâtiments résilients et économes en énergie) s'est donné pour objectif de réduire les consommations d'énergie dans les bâtiments résidentiels et tertiaires par des actions de sensibilisation, d'information et de formation, en mettant tout en œuvre pour :

- Valoriser les ressources locales disponibles ;
- Outiller et sensibiliser les entreprises, les gestionnaires de bâtiments et les ménages ;
- Mobiliser des acteurs proches du terrain ;
- Proposer des passerelles de partage inter-outre-mer afin d'enrichir les expériences et les connaissances de chacun.

Notre projet PILOTCLIM (Pilotage des installations de climatisation à eau glacée par variation de la température de la boucle d'eau glacée) a pour objectif d'étudier la faisabilité de piloter les installations avec variation de la température de la boucle et mesurer les pistes d'économie d'énergie liées à ce pilotage de la climatisation des bâtiments du tertiaire existants voire neufs :

Thème du projet : Etude de la performance énergétique et proposition d'évolution de conduite/pilotage d'une installation de climatisation centralisée à eau glacée, en fonction de la saisonnalité et des besoins des usagers, **en agissant sur les températures de consigne de la boucle d'eau glacée.**

2.1 Contexte

Nous faisons le constat, qu'aujourd'hui, la majeure partie voire la totalité des installations centralisées à eau glacée des bâtiments tertiaires fonctionnent avec un régime de température de boucle d'eau glacée de 7/12° (7° aller et 12° retour).

Cette consigne de température de 7° est utilisée depuis de très nombreuses années par les fabricants, les bureaux d'études techniques ou les installateurs comme la température référence à obtenir et a pour conséquence le dimensionnement des groupes de production d'eau glacée et leur consommation électrique.

Alors pourquoi ne pas climatiser avec de l'eau glacée à 10° ou 12° ?

Il y a là un enjeu important pour limiter les consommations électriques de la climatisation utilisant ces systèmes à eau glacée.

D'autre part, nous constatons également que les installations d'eau glacée ne sont pas correctement pilotées et les réglages/adaptations ne sont pas faits au fil du temps. La résultante est une baisse de l'efficacité énergétique des installations d'année en année.

Aussi nous proposons d'étudier la performance de ces installations et le cas particulier des gains de consommation possible en remontant la température de consigne de la boucle d'eau glacée. Nous proposons également d'optimiser la conduite et le pilotage de ces installations plus largement en intégrant les temps de fonctionnement, les plages de réglages, la mise en place d'un contrat de suivi, la gestion des consignes, ...

Mais il y a aussi un enjeu de confort de l'utilisateur à vérifier car en remontant la température de boucle d'eau glacée, on limite la capacité de déshumidification de l'air intérieur rafraîchi. Il faut donc vérifier la possibilité de maintenir le confort tout en optimisant la consommation électrique liée à la climatisation.

Dans ce contexte, l'environnement extérieur joue un rôle important car les conditions température/hygrométrie ne sont pas les mêmes sur tous les territoires. Il est par conséquent intéressant d'étudier le phénomène sur plusieurs territoires avec des latitudes et conditions météo différentes.

Pour cela, nous proposons de mesurer les impacts à La Réunion et en Guyane. Au-delà des aspects techniques, travailler ensemble entre prestataires de différents territoires nous permettra de consolider un réseau inter-outr-mer mais aussi de partager et diffuser plus largement nos connaissances et les résultats. Pour cela, nous constituons une équipe de professionnels des secteurs de l'ingénierie du bâtiment et de l'énergie associé à l'Université de la Réunion. Puis nous instrumenterons des bâtiments de l'Université et de l'EPSMR à La Réunion et de l'Université de Guyane.

2.2 Enjeux

Le secteur tertiaire à La Réunion représente environ 35% de la consommation électrique de l'île (bâtiments existants). Cet ordre de grandeur est sensiblement le même en Guyane.

La climatisation dans les bâtiments tertiaires de la Réunion représente aux alentours de 50% de la consommation électrique annuelle. Plus de 80% des bâtiments tertiaire conséquents sont actuellement climatisés en eau glacée.

En Guyane le poste climatisation pèse entre 60 et 80% de la consommation électrique des bâtiments climatisés du fait d'un couple température hygrométrie (30°/80%) relativement constant toute l'année (climat équatorial chaud humide). Dans ce territoire les bâtiments atteignant une certaine taille sont climatisés en eau glacée.

D'après la littérature et nos premières approches, le gain de consommation électrique pourrait atteindre jusqu'à 5% de gain par l'élévation de chaque degré de la température de la boucle d'eau glacée.

Le projet a pour objectif de mesurer et apprécier les gains réels envisageables sur la consommation électrique annuelle d'un bâtiment tertiaire.

Potentiellement, A l'échelle de l'île de la Réunion, c'est un enjeu de réduction de 1 à 3% de la consommation globale.

A l'échelle de la Guyane, c'est un enjeu de 0,5 à 1.5% de la consommation globale.

Sources :

- (1) : *Etude de l'Observatoire de l'Energie de La Réunion (OER) de 2015, mise à jour en 2018*
- (2) : *PACTE - REX des consommations d'électricité des bâtiments tertiaires à La Réunion et en Guadeloupe. Mai 2020*
- (3) : *Fichiers clients bet et entreprises du secteur*
- (4) : *Expérience sur suivis installations clients*

2.3 Composition de l'équipe projet

INSET

La société INSET (Ingénierie Spécialisée en Équipements Techniques) est un bureau d'étude technique spécialisé en fluides, intervenant dans le secteur du bâtiment.

Seul ou en équipe pluridisciplinaire, INSET accompagne ses clients tels que les bailleurs sociaux, promoteurs, collectivités locales, État, établissements publics, groupes industriels, entreprises, etc. dans la réalisation de tous leurs projets de construction, neufs ou en rénovation.



IMAGEEN

Le bureau d'étude IMAGEEN (Ingénierie et Management en Génie Energétique et Energies Nouvelles) est spécialisé en Génie Énergétique et Environnemental.

IMAGEEN a participé à plusieurs opérations d'ensemble immobilier de logements, bureaux, ateliers industriels et commerciaux, d'enseignement (groupes scolaires, collèges, lycées, universitaire, médiathèque, amphithéâtre...) ainsi que des équipements sportifs, bâtiments hospitaliers, parkings...



IC66

Entreprise individuelle, composée d'Aurélien BRISSE, ingénieur conseil en Génie Climatique et Energétique, ancien collaborateur d'INSET.

Q3E

Entreprise individuelle, composée de David CRUGNALE, BET spécialisé en économies d'énergie et fluides en Guyane.



Université de La Réunion – Laboratoire PIMENT

L'intervenant principal est Olivier MARC, maître de conférences au laboratoire PIMENT et directeur de l'IUT de Saint-Pierre. L'Université mettra à disposition de l'équipe le banc d'essai et amènera ses connaissances de mise en place de protocoles de mesures et de suivi.



2.4 Détails techniques du projet

Une installation d'eau glacée d'un bâtiment tertiaire est constituée d'un groupe de production d'eau glacée, d'un réseau de distribution et des terminaux dans les locaux. Le groupe produit de l'eau glacée à une température communément de 7°C, que l'on paramètre au niveau de la régulation, grâce à un circuit frigorifique. Plus la température de la boucle **d'eau** est basse, plus les compresseurs ont besoin de fonctionner, et donc consommer de l'électricité.

L'idée du projet est d'étudier la possibilité d'augmenter la température de la boucle d'eau glacée et mesurer le gain de consommation d'énergie tout en s'assurant de la possibilité de maintenir une ambiance de confort pour les utilisateurs.

Pour cela, nous proposons de réaliser ce projet en plusieurs phases.

Phase théorique :

La phase d'approche théorique va avoir deux objectifs :

- établir la limite haute de température de la boucle d'eau glacée pour pouvoir assurer un niveau de confort du couple température/hygrométrie dans les locaux
- estimer les gains de consommations énergétiques envisageables selon le type d'installation tertiaire, le type d'usages (fonctionnement permanent, fonctionnement heures de bureaux, ...), le type de besoin (climatisation, rafraîchissement, besoins spécifiques de déshumidification, ...).

Phase d'instrumentation et mesure :

Nous avons sélectionné trois sites pilotes, deux à La Réunion et un en Guyane, que nous équiperons afin de pouvoir faire des mesures en situation réelle d'usage du bâtiment et voir vers quels objectifs nous pouvons tendre, aussi bien en termes de confort qu'en termes de gains énergétiques.

Les sites retenus sont les suivants :

- **BEO de l'Université de La Réunion au Moufia, commune de Saint Denis.**
- **EPSMR Ouest, bâtiment logistique, commune de Saint Paul.**
- **Bâtiment A de l'Université de Guyane, commune de Cayenne.**

Banc d'essai :

Afin de consolider les modèles obtenus avec les mesures réalisées sur site et pour affiner nos recherches, nous avons équipé un banc d'essai à l'Université de La Réunion.

Le banc d'essai doit permettre d'enrichir les données obtenues sur site, en mettant en place des conditions que nous n'aurions pas forcément obtenues lors des mesures sur site mais aussi de conforter les différents couples de conditions intérieures/extérieures et de valider les modèles établis à partir des mesures sur sites.

Outil de calcul :

Enfin, selon les résultats de nos études et des mesures en banc d'essai et sur sites réels, nous avons développé un outil de calcul permettant aux utilisateurs de simuler les gains potentiels en fonction de la conduite de leur installation de climatisation.

L'objectif est de les inciter à faire conduire/piloter leur installation tout au long de l'année en fonction des saisons et des besoins, par des techniciens, pour limiter les consommations énergétiques.

3 DEVELOPPEMENT DU PROJET

3.1 Phase 0 - Présentation d'une installation de climatisation par eau glacée

Une installation de climatisation eau glacée est constituée d'un groupe de production d'eau glacée. C'est un système de production de froid à détente indirecte. Cela signifie qu'il utilise un fluide intermédiaire pour transporter « le froid » vers les terminaux. Il n'y a pas de fluide frigorigène qui circule dans le bâtiment (le fluide frigorigène est limité à la production de froid) dans le cas d'un groupe de production d'eau glacée, le rôle d'intermédiaire est tenu par l'eau, qui est utilisée ici comme fluide frigoporteur.

Le groupe frigorifique va produire de l'eau glacée au niveau de l'évaporateur à une consigne de température de distribution qui est déterminé par le client souvent via l'entreprise de Climatisation (habituellement fixée à 7°C) et évacuer les calories dans l'air au niveau du condenseur via un fluide frigorigène. Cette eau glacée circule dans le bâtiment pour alimenter des terminaux (ventilo-convecteurs, centrales de traitement de l'air, échangeurs...). Ces terminaux traitent l'air du local et son commandé par des thermostats.

3.2 Phase 1 - Etat des lieux

L'état des lieux réalisé dans le cadre de ce projet a été phasé en trois étapes.

Dans un premier temps nous avons réalisé un état des lieux des installations existantes dans le parc de bâtiments tertiaires sur l'île de la Réunion afin d'estimer l'impact qu'a la climatisation centralisée à eau glacée sur la consommation électrique globale de l'île.

Dans un second temps, nous avons fait des recherches bibliographiques sur les techniques novatrices autour des installations d'eau glacée et avons contacté les fabricants de matériel pour lister ces dernières évolutions techniques.

Enfin nous avons échangé avec les principaux acteurs (sociétés d'installation et de maintenance) afin d'avoir leur point de vue complémentaire à la théorie.

3.2.1 Recensement des installations de climatisation existantes – impact sur la consommation électrique globale de la Réunion

Nous avons compilé différentes études réalisées à La Réunion pour :

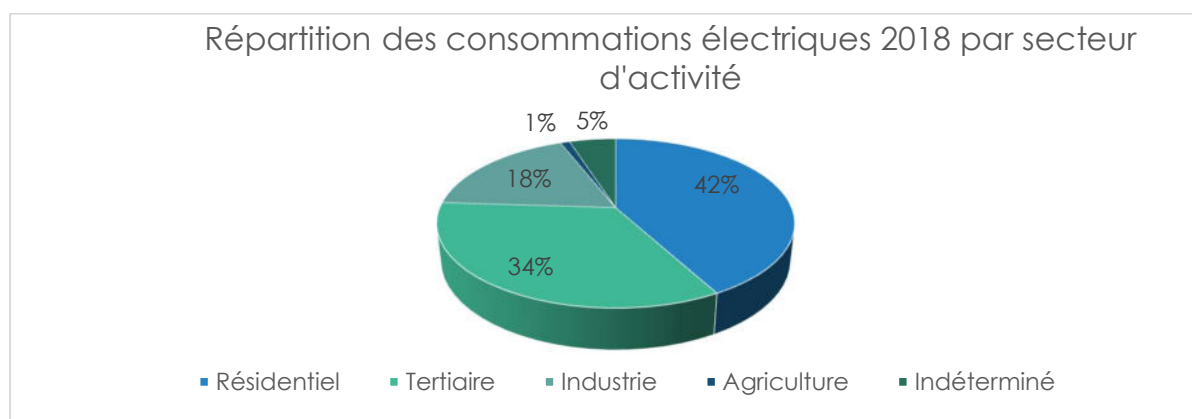
- Estimer la part de consommation électrique des bâtiments tertiaires.
- Estimer la part de consommation électrique liée à la climatisation dans le tertiaire.
- Dans cette consommation liée à la climatisation, la part liée aux installations à eau glacée.

3.2.1.1 Estimation de la part de consommation électrique de La Réunion

L'Observatoire Energie Réunion (OER) a réalisé en 2015 une étude portant sur la répartition des consommations électriques par secteur d'activité (industrie, résidentiel,

agriculture et tertiaire) et l'établissement de ratios électriques par secteur d'activité. Une mise à jour de l'étude a été réalisée à partir des données fournies par EDF pour l'année 2018 et présente la répartition des consommations électriques par secteur d'activité.

Les données globales du fichier de l'OER nous indiquent que la consommation électrique totale de l'île pour l'année 2024 est de : 2 797 GWh.



Source : Etude de l'Observatoire de l'Energie de La Réunion (OER) de 2015, mise à jour en 2018. SPL HR de 2018.

Conformément aux ordres de grandeur présentés les années précédentes, le secteur résidentiel consomme 42% de l'électricité. Vient ensuite le secteur tertiaire qui consomme 34% de l'électricité, puis l'industrie qui en consomme 18%. Le secteur de l'agriculture consomme quant à lui très peu d'électricité (1% des consommations totales).

Le Tertiaire à La Réunion représente donc 34% des consommations électriques de l'île soit environ 951 GWh annuels.

3.2.1.2 Estimation de la part de consommation électrique liée à la climatisation

Comment sont répartis ces 951 GWh ?

Il faut dissocier les usages de consommations électriques dans le tertiaire. Nous pouvons répartir ces consommations selon les usages suivants : climatisation, éclairage, informatique, autres.

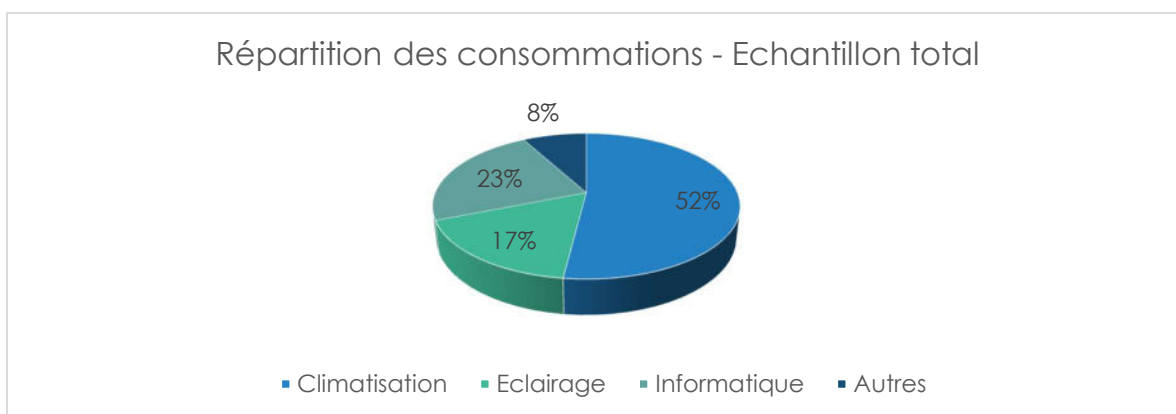
Au cours des dernières années, le territoire réunionnais a fait l'objet de diverses études visant à mieux connaître les consommations énergétiques propres à chaque secteur d'activité. L'une d'entre elles, *l'Etude sur la typologie des bâtiments tertiaires à La Réunion*, réalisée par ARTELIA et IPSOS pour EDF et l'ADEME en 2012, a notamment permis d'identifier le secteur des bureaux comme étant un enjeu important dans le bilan énergétique de l'île.

C'est dans ce contexte et dans le cadre de l'appel à projet national PACTE, « Améliorer la qualité de la construction dans les territoires ultramarins », porté par le ministère en charge du logement, que le groupement d'entreprises ARTELIA, DOM ENERGY et IPSOS a déposé un projet visant à réaliser des diagnostics instrumentés des

consommations d'énergie dans les bâtiments tertiaires de Guadeloupe et de La Réunion.

Le programme PACTE, portée par l'ADEME et EDF, a permis l'élaboration d'un rapport en mai 2020, portant sur les consommations d'électricité des bâtiments tertiaires à La Réunion et en Guadeloupe, en fonction des usages. L'étude porte sur 55 sites de La Réunion, ce qui permet d'avoir une bonne vision d'ensemble du secteur. Parmi ces 55 sites, 15 sont des « grands bureaux » et 40 sont dits « petits moyens bureaux » (3% de l'échantillon a une conso >60MWhé/an et 75% de l'échantillon a une conso comprise entre 7 et 19 MWhé/an).

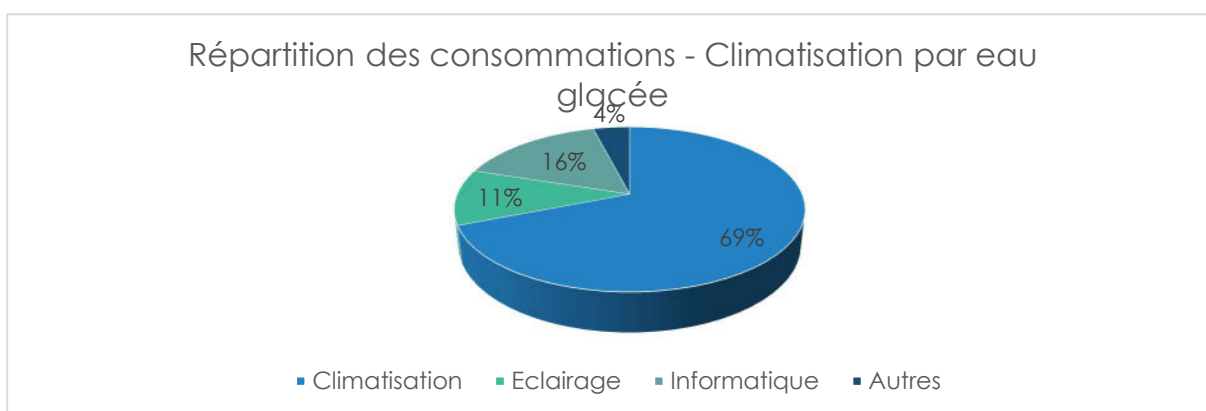
Nous avons extrait de l'étude les éléments intéressant notre projet, à savoir la consommation liée à la climatisation dans ces sites tertiaires.



Source : PACTE - REX des consommations d'électricité des bâtiments tertiaires à La Réunion et en Guadeloupe. Mai 2020

Sur l'ensemble des sites instrumentés les consommations électriques liées à la climatisation représentent 52% de la consommation totale.

Plus spécifiquement, la répartition des consommations d'un bâtiment climatisé par une installation centralisée à Eau Glacée est la suivante :



Source : PACTE - REX des consommations d'électricité des bâtiments tertiaires à La Réunion et en Guadeloupe. Mai 2020

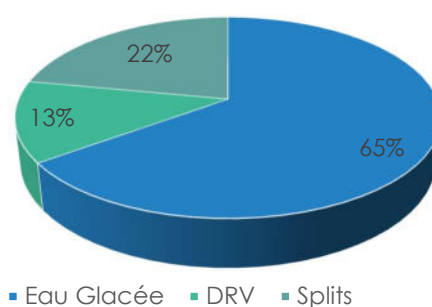
Les installations de type production d'eau glacée souffrent dans 90% des cas d'une régulation peu flexible (débit fixe), de surdimensionnement, ou d'une conduite/pilotage d'installation non maîtrisé qui rendent le poste climatisation très énergivore.

Les principales problématiques de ces installations sont les suivantes :

- Surdimensionnement de l'installation
- Pompe à débit fixe
- **Fonctionnement 24h/24 (pas de coupure hors occupation des bureaux)**
- **Absence de pilotage de l'installation**

Comme présenté ci-dessous, il s'avère qu'une grande partie des bâtiments tertiaires de taille significative (>300 m²) sont climatisés par un système centralisé à eau glacée :

Répartition de la typologie de climatisation dans le tertiaire à La Réunion (rapport à la consommation)



Source : Recensement auprès des entreprises de maintenance

3.2.1.3 Gains potentiels à l'échelle de La Réunion

50 à 65 % des installations tertiaires (en puissance installée) sont équipées de climatisation par eau glacée.

Dans les sites équipés d'eau glacée, 69% de la consommation électrique est liée à la climatisation.

On obtient une consommation annuelle de la climatisation eau glacée de 328 à 426 GWh pour La Réunion.

Nous proposons d'intervenir sur le pilotage des installations d'eau glacée existantes en faisant varier au cours de l'année la consigne de température de départ de la boucle d'eau glacée entre 7 et 12°C. **Mais quelle part de consommation représente l'élévation de la température de boucle d'eau glacée ?**

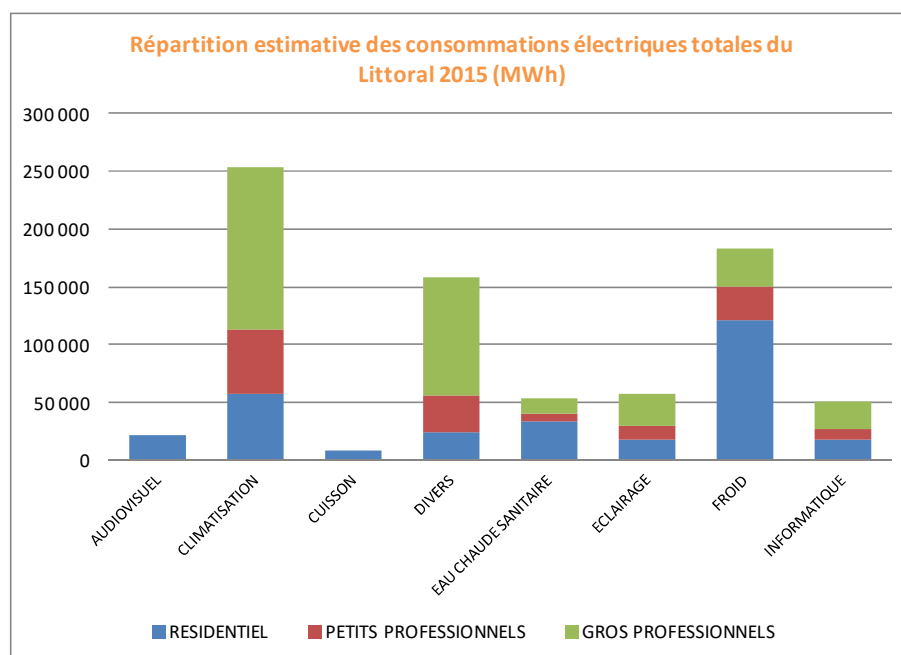
En fonction du pilotage réalisé, en fonction de l'usage des locaux et de la saisonnalité des territoires, nous estimons un gain potentiel entre 10 et 25% annuel.

Cela permet d'envisager un gain entre 32 et 100 GWh sur la consommation de l'île si l'ensemble des installations étaient améliorées soit entre 1,1 et 3,7% de la consommation électrique de La Réunion.

3.2.2 Transposition sur le territoire de la Guyane

La consommation électrique en 2024 est de 832 GWh dont 516 GWh (62%) au titre des professionnels. La part du tertiaire dans la consommation électrique totale est de 300 GWh (36%).

La part de la climatisation dans la consommation énergétique des bâtiments tertiaires pourrait être estimée à 50% en première approche. La climatisation reste le plus gros poste de consommation représentant 32% de la consommation électrique totale soit 266 GWh, constitué en grand partie par quelques gros professionnels.



Source : bilan énergétique régional 2015 (GEC)

En 2015, la climatisation dans le secteur tertiaire est estimée à 25% des consommations électriques du littoral soit 194 GWh (69% des consommations électriques du secteur tertiaire). L'ordre de grandeur de ce chiffre est corroboré à l'échelle micro par le retour d'expérience sur les diagnostics réalisés sur les bâtiments tertiaires.

Source : Actualisation MDE Guyane ADEME (nov. 2020, ALTER)

Il n'y a pas de données en Guyane, d'étude récente, sur la climatisation centralisée (dont l'eau glacée) ou même la performance réelle de la climatisation individuelle, cependant l'installation de climatisations individuelles est très dynamique. La part d'installations Eau glacée n'est pas supérieure à 25% pour les professionnels (tertiaire).

Cela permet **d'envisager un gain entre 5 et 12 GWh sur la consommation** si l'ensemble des installations étaient améliorées soit entre 0,6 et 1,5% de la consommation électrique de La Guyane.

3.3 Phase 2 - Etudes théoriques

Avant de démarrer les campagnes d'instrumentation sur les sites existants et sur le banc d'essai, nous proposons une approche théorique à deux niveaux :

- Etude de la faisabilité d'augmenter la consigne de température aller de la boucle d'eau glacée et en quelle proportion, tout en vérifiant le maintien d'une capacité de déshumidification.
- approche d'économie de consommation électrique avec un pilotage évolutif des installations d'eau glacée.

3.3.1 Pourquoi les installations classiques sont dimensionnées pour un régime d'eau glacée 7/12°C ?

Nous rappelons tout d'abord pour quelles raisons les installations d'eau glacée sont utilisées en produisant de l'eau glacée à 7°C avec un retour à 12°C.

Compromis optimal entre performance énergétique et confort

- À 7 °C, l'eau est assez froide pour déshumidifier l'air dans les terminaux, sans risquer de condensation excessive.
- Une eau plus froide augmenterait la puissance du groupe froid nécessaire et donc la consommation énergétique.
- Une eau plus chaude réduirait le risque de condensation mais diminuerait la puissance de refroidissement des terminaux.

Compatibilité avec les équipements standards

- Les ventilo-convecteurs, batteries froides de CTA, et groupes d'eau glacée sont dimensionnés pour fonctionner à un régime 7/12 °C.
- Cela facilite la standardisation, la maintenance et le remplacement d'équipements.

Efficacité du groupe froid

- Les groupes froids ont un meilleur rendement EER en produisant de l'eau à 7°C plutôt que plus froide. Le rendement augmente si on augmente la température aller de la boucle.
- Si l'eau glacée est trop froide, le compresseur travaille plus, donc l'EER diminue.

3.3.2 Limite haute de Détermination de la température maximale de boucle d'eau glacée

Nous voulons établir la limite haute de température de la boucle d'eau glacée pour pouvoir assurer un niveau de confort de l'utilisateur. Pour cela l'installation doit pouvoir maintenir un certain couple température/hygrométrie dans les locaux, c'est-à-dire pouvoir obtenir la température de consigne souhaitée par l'utilisateur mais conserver une capacité de déshumidification minimum. Pour cela nous travaillerons avec le diagramme de l'air humide que nous utiliserons pour différentes conditions : consignes intérieures, apports d'air neuf extérieur et conditions extérieures.

Nous décidons de faire les calculs pour les situations les plus défavorables pour les zones géographiques de La Réunion et de Guyane. Nous retenons les conditions extérieures suivantes, ces conditions sont issues des relevés météorologiques de Cayenne et représentent les couples température/hygrométrie avec le poids d'eau le plus élevé :

- 32°/70% pour La Réunion

- 33°/70% pour La Guyane

Nous retenons comme consignes intérieures des locaux : 25°/60% qui est représentatif de la température / hygrométrie moyenne de consigne d'usage.

Nous réalisons les calculs pour un bureau standard de 12m² occupé par 1 personne puis une salle de réunion de 25m² occupée par 8 personnes. Les conditions de la salle de réunion sont plus défavorables du fait des apports hydriques plus importants des occupants et du volume d'air neuf. La capacité de déshumidification devra alors être plus importante.

Notre approche :

Nous déterminons les caractéristiques d'entrée du local à étudier. Ensuite nous faisons la détermination des points d'air extérieur et d'air intérieur ainsi que les calculs des débits pour définir la droite de mélange et le point de soufflage sur le diagramme de l'air humide.

A partir de ces éléments nous pouvons déterminer la température maximum de la batterie froide pour avoir la capacité de condenser l'humidité de l'air.

3.3.3 Présentation des résultats théoriques

Simulation 1 : conditions Été Réunion Bureau – Détermination du régime d'eau glacée maximum

Données caractéristiques d'entrée	Local	Simul 1 - été réunion	
	Consigne intérieure	Bureau 12 m2	
	Nombre d'occupant	25°C/60%	
	Apport sensible par occupent (travail assis)	1 pers	
	Apport latent par occupent (travail assis)	70 W	
	Bilan thermique du local soit H	65 W	
	Régime eau glacée	1,2 kW	
	Sélection Ventilo convecteur	7/12°	
		1292	893W sensible
			400W latent
	Débit d'air vitesse moy ventilo convecteur	281	m3/h
	Air neuf sanitaire		
	Débit	25	m3/h
	Conditions extérieures	32°C/70%	
	Calcul du débit massique d'air sec du ventilo convecteur		
Débit massique d'air sec	0,0937	kg/s	
	Calcul des apports latents par l'air neuf		
Débit massique d'air neuf	0,00833	kg/s	
Charges hydriques M avec $M=Q_m \times (rE - rS)$ avec rE et rS à déterminer sur diagr	0,0770	ge/s	
	Calcul des apports latents par les occupants		
Charges hydriques $M=Puissance L / Lv$	0,000026	kge/s	
avec $Lv = 2500.10^3$ kJ/kg	0,026	ge/s	
	Apports latents totaux		
M total	0,103	ge/s	
	Détermination des points sur le diagramme de l'air humide		
	Placement point E (conditions extérieure air neuf)		
hE	86,29	kJ/kgas	
rE	21,14	g/kgas	
	Placement point I (consigne intérieure du local)		
hI	55,47	kJ/kgas	
rI	11,9	g/kgas	
	Détermination du point M (point de mélange Air repris et Air Neuf)		
$Q_{mas} \times hM = Q_{mAN} \times hE + Q_{mAR} \times hI$			
$Q_{mAR} = Q_{masVC} - Q_{masAN}$	0,08533	kg/s	
soit $hM = (Q_{mAN} \times hE + Q_{mAR} \times hI) / Q_{mas}$	58,21	kJ/kgas	
on en déduit sur le diagramme			
TM	25,63	°C	
HRM	62	%	
rM	12,8	g/kgas	
	Caractéristiques du point de Soufflage S		
$H = Q_{mas} \times (hS - hI)$			
d'où $hS = hI + H / Q_{mas}$	68,28	kJ/kgas	
$M = Q_{mas} \times (rS - rI)$			
d'où $rS = rI + (M / Q_{mas})$	13,00	g/kgas	
	Calcul température de la batterie froide pour condenser les apports latents		
$M = Q_{mas} \times (rM - rbatt)$			
$rbatt = rM - M / Q_{mas}$	11,70	g/kgas	
correspond à une température moyenne de batterie de	16,43	°C	
	soit un régime eau glacée de	13,93 18,93	

Aller/retour : 13,93/18,93°C

Simulation 2 : conditions Eté Réunion Salle de Réunion – Détermination du régime d'eau glacée max

Données caractéristiques d'entrée	Local	Simul 2 - été réunion	
		Salle de réunion 25 m2	
	Consigne intérieure	25°C/60%	
	Nombre d'occupant	8 pers	
	Apport sensible par occupent (travail assis)	70 W	
	Apport latent par occupent (travail assis)	65 W	
	Bilan thermique du local soit H	6,6 kW	
	Régime eau glacée	7/12°	
	Sélection Ventilo convecteur	3 x 2231	3 x 1450W sensible
			3 x 781W latent
	Débit d'air vitesse moy ventilo convecteur	1800 m3/h	
	Air neuf sanitaire		
	Débit	250 m3/h	
	Conditions extérieures	32°C/70%	
	Calcul du débit massique d'air sec du ventilo convecteur		
	Débit massique d'air sec	0,6000 kg/s	
	Calcul des apports latents par l'air neuf		
	Débit massique d'air neuf	0,08333 kg/s	
	Charges hydriques M avec $M=Q_m \times (rE - rS)$ avec rE et rS à déterminer sur diagr	0,770 ge/s	
	Calcul des apports latents par les occupants		
	Charges hydriques $M=Puissance L / Lv$	0,000208 kge/s	
	avec $Lv = 2500.10^3$ kJ/kg	0,208 ge/s	
	Apports latents totaux		
	M total	0,978 ge/s	
	Détermination des points sur le diagramme de l'air humide		
	Placement point E (conditions extérieure air neuf)		
	hE	86,29 kJ/kgas	
	rE	21,14 g/kgas	
	Placement point I (consigne intérieure du local)		
	hI	55,47 kJ/kgas	
	rI	11,9 g/kgas	
	Détermination du point M (point de mélange Air repris et Air Neuf)		
	$Q_{mas} \times hM = Q_{mAN} \times hE + Q_{mAR} \times hI$		
	$Q_{mAR} = Q_{masVC} - Q_{masAN}$	0,51667 kg/s	
	soit $hM = (Q_{mAN} \times hE + Q_{mAR} \times hI) / Q_{mas}$	59,75 kJ/kgas	
	on en déduit sur le diagramme		
	TM	25,87 °C	
	HRM	62 %	
	rM	13,03 g/kgas	
	Caractéristiques du point de Soufflage S		
	$H = Q_{mas} \times (hS - hI)$		
	d'où $hS = hI + H / Q_{mas}$	66,47 kJ/kgas	
	$M = Q_{mas} \times (rS - rI)$		
	d'où $rS = rI + (M / Q_{mas})$	13,53 g/kgas	
	Calcul température de la batterie froide pour condenser les apports latents		
	$M = Q_{mas} \times (rM - rbatt)$		
	$rbatt = rM - M / Q_{mas}$	11,40 g/kgas	
	correspond à une température moyenne de batterie de	16,03 °C	
	soit un régime eau glacée de	13,53 18,53	

Aller/retour : 13,53/18,53°C

Simulation 3 : conditions Saison humide Guyane Bureau – Détermination du régime d'eau glacée max

Simul 3 - saison seche guyane		
Local	Bureau 12 m2	
Consigne intérieure	25°C/60%	
Nombre d'occupant	1 pers	
Apport sensible par occupant (travail assis)	70 W	
Apport latent par occupant (travail assis)	65 W	
Bilan thermique du local soit H	1,2 kW	
Régime eau glacée	7/12°	
Sélection Ventilo convecteur	1292	893W sensible
		400W latent
Débit d'air vitesse moy ventilo convecteur	281	m3/h
Air neuf sanitaire		
	Débit	25 m3/h
	Conditions extérieures	33°C/70%
Calcul du débit massique d'air sec du ventilo convecteur		
Débit massique d'air sec	0,0937	kg/s
Calcul des apports latents par l'air neuf		
Débit massique d'air neuf	0,00833	kg/s
Charges hydriques M avec $M = Q_m \times (r_E - r_S)$ avec r_E et r_S à déterminer sur diagr	0,0875	ge/s
Calcul des apports latents par les occupants		
Charges hydriques $M = \text{Puissance L} / L_v$	0,000026	kge/s
	avec $L_v = 2500.10^3$ kJ/kg	0,026 ge/s
Apports latents totaux		
M total	0,114	ge/s
Détermination des points sur le diagramme de l'air humide		
Placement point E (conditions extérieure air neuf)		
	hE	90,58 kJ/kgas
	rE	22,4 g/kgas
Placement point I (consigne intérieure du local)		
	hI	55,47 kJ/kgas
	rI	11,9 g/kgas
Détermination du point M (point de mélange Air repris et Air Neuf)		
$Q_{mas} \times h_M = Q_{mAN} \times h_E + Q_{mAR} \times h_I$		
	$Q_{mAR} = Q_{masVC} - Q_{masAN}$	0,08533 kg/s
	soit $h_M = (Q_{mAN} \times h_E + Q_{mAR} \times h_I) / Q_{mas}$	58,59 kJ/kgas
on en déduit sur le diagramme		
	TM	25,66 °C
	HRM	62 %
	rM	12,76 g/kgas
Caractéristiques du point de Soufflage S		
$H = Q_{mas} \times (h_S - h_I)$		
	d'où $h_S = h_I + H / Q_{mas}$	68,28 kJ/kgas
$M = Q_{mas} \times (r_S - r_I)$		
	d'où $r_S = r_I + (M / Q_{mas})$	13,11 g/kgas
Calcul température de la batterie froide pour condenser les apports latents		
$M = Q_{mas} \times (r_M - r_{batt})$		
	$r_{batt} = r_M - M / Q_{mas}$	11,55 g/kgas
correspond à une température moyenne de batterie de		
		16,23 °C
soit un régime eau glacée de		
	13,73	18,73

Aller/retour : 13,73/18,73°C

3.3.4 Analyse des résultats obtenus

Cette première approche théorique est rassurante pour la suite de notre projet. Elle nous permet de consolider notre approche et d'envisager de réaliser des essais avec une boucle d'eau glacée pouvant évoluer avec une température de consigne jusqu'à 12 ou 13°C, température à laquelle nous pouvons envisager de traiter l'humidité de l'air.

Nous décidons, pour la tenue des essais, de réaliser des semaines de mesure à des températures de boucle d'eau glacée allant de 7°C à 12°C de façon à réellement rester dans la fourchette de faisabilité théorique.

3.3.5 Etudes des gains de consommation énergétique envisageables

Nous allons étudier quelles économies de consommation énergétique nous pourrions envisager en agissant sur le pilotage des installations d'eau glacée.

A ce titre, nous allons analyser deux sujets : le premier concerne immédiatement notre projet à savoir, faire évoluer à la hausse la température de la boucle d'eau glacée en fonction de la saisonnalité et de l'usage du bâtiment ; le second concerne la conduite plus générale des installations à savoir les périodes d'utilisation de celles-ci toujours en fonction de l'usage du bâtiment.

Pour cela, nous déterminons plusieurs profils d'utilisation de la climatisation pour évaluer les potentielles économies de consommations énergétiques.

3.3.5.1 Définition des Profils utilisateurs :

1^{er} niveau

- ⇒ Je climatise toute l'année (pour La Réunion ou La Guyane).
- ⇒ Je climatise en période chaude et intermédiaire, d'octobre à mai (pour La Réunion seulement).

2^{eme} niveau

- ⇒ Je climatise jours et nuits toute la semaine.
- ⇒ Je climatise les jours toute la semaine, je coupe la climatisation la nuit.
- ⇒ Je climatise jours et nuits en semaine, je coupe la climatisation le week-end.
- ⇒ Je climatise les jours toute la semaine, je coupe la climatisation la nuit et le week-end.

3.3.5.2 Détermination des Gains potentiels uniquement liés à la hausse de la température de la boucle d'eau glacée :

Nous avons échangé avec de nombreux fabricants de groupe de production d'eau glacée ainsi que leurs bureaux d'études internes de développement afin d'étudier les gains potentiels liés à la hausse de la boucle d'eau glacée. Nous avons plus particulièrement pu travailler avec la société AERMEC. Très intéressée par notre projet d'étude, elle nous a d'ailleurs fait don, dans le cadre du projet d'études, de matériel pour faire des essais.

S'agissant de l'estimation des gains de consommation envisageables en élevant la température de boucle, il n'est pas vraiment possible de l'établir avec certitude par des calculs. Par contre nous avons pu recouper des retours d'expérience et de situations de nos suivis clients ainsi que des retours d'expérience des fabricants et des installateurs.

Il en résulte que nous pouvons raisonnablement envisager obtenir des gains variant de 3 à 5% par degré d'élévation de la boucle d'eau glacée selon la technologie de la production d'eau glacée, son ancienneté et la conception du réseau de l'installation.

Dans les graphiques ci-dessous, nous proposons d'abord un profil utilisateur de départ, puis nous étudions divers pilotages des installations pour mesurer les gains énergétiques.

Pour estimer ces gains, nous retenons les hypothèses suivantes (elles sont issues de mesures réalisés sur des sites que nous avons en suivi d'exploitation) :

- 4% par degré d'élévation de la boucle d'eau glacée.

- 20% pour coupure de la climatisation la nuit.

- 15% pour coupure de la climatisation le week-end.

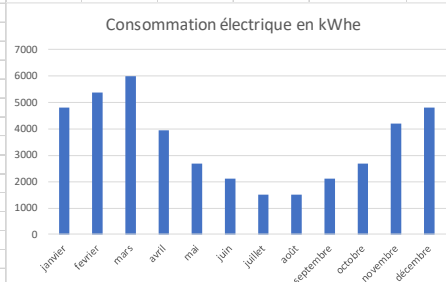
Effacement de la consommation lors de coupure de juin à septembre.

Le ratio de consommation pour le mois de mars est issu du projet CLIMATER.

Les répartitions de consommation mois par mois sont issues de mesures réalisés sur des sites que nous avons en suivi d'exploitation, cela donne un profil annuel.

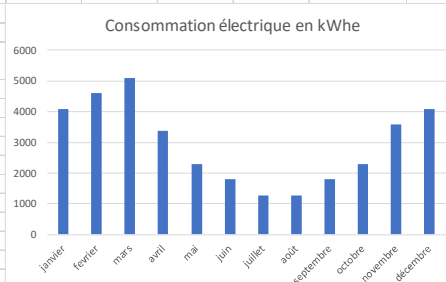
Proposition de profil initial 1, régime 7/12°C, climatisé en permanence

Bureaux	1000	m2 climatisés	Toute l'année	7jours 7nuits par semaine	Eau glacée aller	7 °C
ratio	6	kWhe/m2/mois100%				
	consommation					
	en kWhe					
janvier	4800					
février	5400					
mars	6000					
avril	3960					
mai	2700					
juin	2100					
juillet	1500					
août	1500					
septembre	2100					
octobre	2700					
novembre	4200					
décembre	4800					
total	41760					
ratio	41,76	kWhe/m2/an				



⇒ Pilotage : la boucle d'eau glacée est élevée à 10/15°C en journée et à 12/17°C la nuit et le week end.

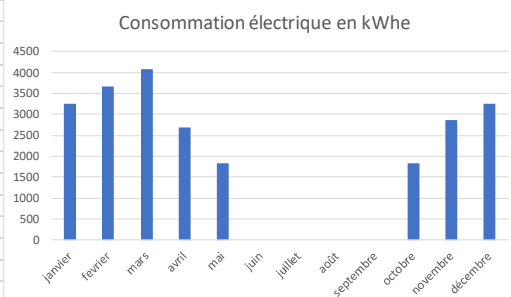
Proposition de pilotage 1			Toute l'année	7jours 7nuits par semaine	Eau glacée aller	10°C le jour et 12°C la nuit et le week-end
Bureaux	1000	m2 climatisés				
	consommation					
	initiale	consommation après pilotage				
	en kWhe	en kWhe				
janvier	4800	4090				
février	5400	4601				
mars	6000	5112				
avril	3960	3374				
mai	2700	2300				
juin	2100	1789				
juillet	1500	1278				
août	1500	1278				
septembre	2100	1789				
octobre	2700	2300				
novembre	4200	3578				
décembre	4800	4090				
total	41760	35580	soit	14,8 % de consommation gagnée	gain en kWh	6180
ratio	41,76	35,58	kWhe/m2/an			



Résultat de ce pilotage : nous pouvons envisager 9 à 15% de gain la journée et 15 à 25% de gain la nuit et le week end => pour un résultat moyen de **15% de gain**

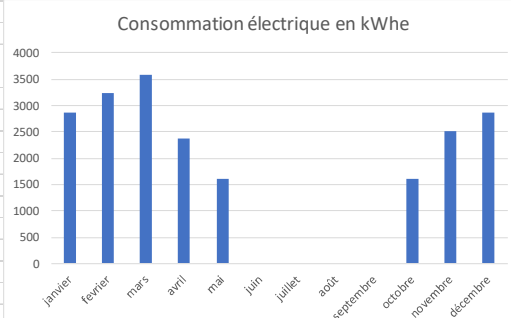
Proposition de profil initial 2, régime 7/12°C, climatisation coupée l'hiver, la nuit et les week end

Bureaux	1000	m2 climatisés	Eté	Sjours 0nuits par semaine	Eau glacée aller	7 °C
ratio	4,08	kWhe/m2/mois100%				
	consommation					
	en kWhe					
janvier	3264					
fevrier	3672					
mars	4080					
avril	2692,8					
mai	1836					
juin	0					
juillet	0					
août	0					
septembre	0					
octobre	1836					
novembre	2856					
décembre	3264					
total	23500,8					
ratio	23,50	kWhe/m2/an				



⇒ Pilotage : la boucle d'eau glacée est élevée à 10/15°C en journée.

Proposition de pilotage 1			Eté	Sjours 0nuits par semaine	Eau glacée aller 10°C le jour
Bureaux	1000	m2 climatisés			
	consommation				
	initiale	consommation après pilotage			
	en kWhe	en kWhe			
janvier	3264	2872			
fevrier	3672	3231			
mars	4080	3590			
avril	2692,8	2370			
mai	1836	1616			
juin	0	0			
juillet	0	0			
août	0	0			
septembre	0	0			
octobre	1836	1616			
novembre	2856	2513			
décembre	3264	2872			
total	23500,8	20681	soit	12 % de consommation gagnée	gain en kWh 2820
ratio	23,50	20,68	kWhe/m2/an		



Résultat de ce pilotage : nous pouvons envisager 9 à 15% de gain la journée => pour un résultat moyen de **12% de gain**

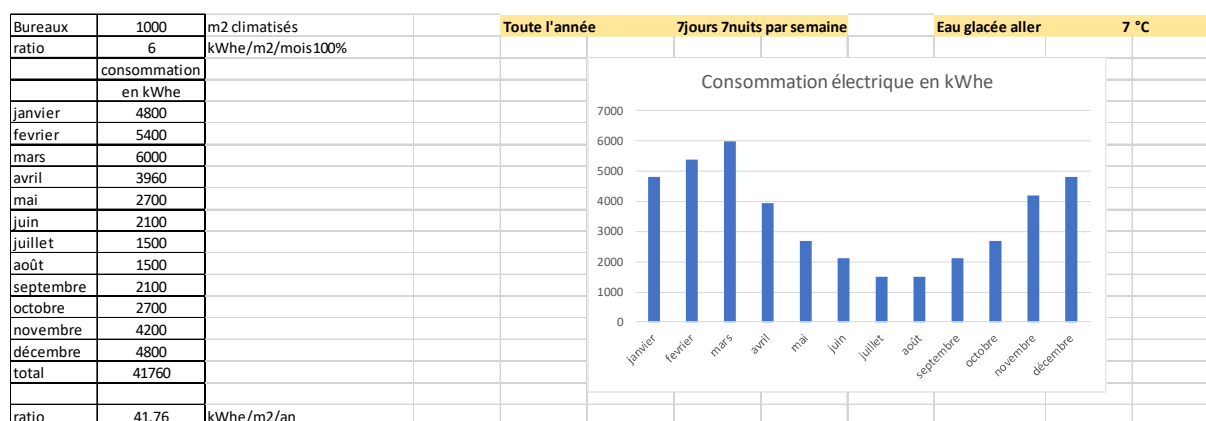
3.3.5.3 Détermination des Gains potentiels liés à la hausse de la température de la boucle d'eau glacée et à la gestion des plages de fonctionnement de l'installation d'eau glacée :

Nous voulons faire une approche combinée d'un bon usage de l'installation en ajustant les temps de fonctionnement de la production aux besoins réels de l'utilisateur et d'un pilotage au niveau de la température de la boucle d'eau glacée.

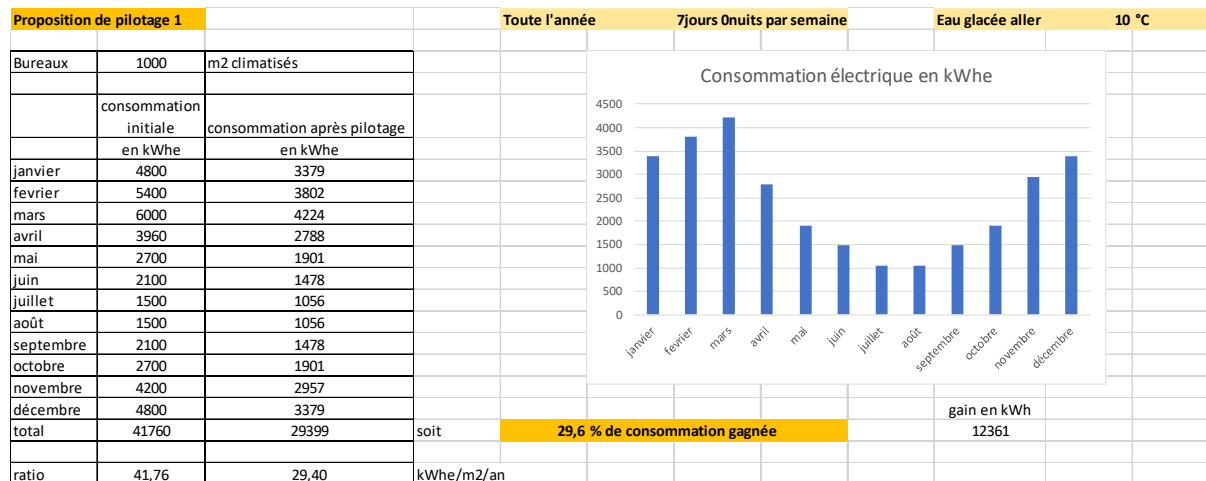
Cette proposition fait suite aux nombreux audits d'installations que nous avons pu réaliser pour des clients. De très nombreuses fois, nous avons constaté que la production d'eau glacée et la climatisation reste en fonctionnement permanent, souvent sans que l'utilisateur ne le sache. C'est pourquoi il nous semble important de sensibiliser, en complément de notre projet initial, sur ce point.

Dans les graphiques ci-dessous, nous proposons d'abord un profil utilisateur de départ, puis nous étudions divers pilotages des installations pour mesurer les gains énergétiques.

Proposition de profil initial 1, régime 7/12°C, climatisé en permanence



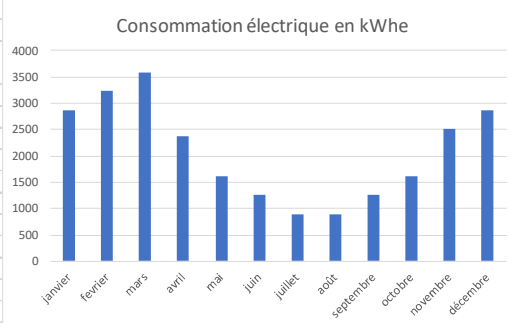
⇒ Pilotage 1 : la boucle d'eau glacée est élevée à 10/15°C en journée et la climatisation est coupée la nuit. Climatisation toute l'année.



Résultat de ce pilotage : nous pouvons envisager 9 à 15% de gain la journée et 10 à 20% de gain la nuit => pour un résultat moyen de **30% de gain**

⇒ Pilotage 2 : la boucle d'eau glacée est élevée à 10/15°C en journée et la climatisation est coupée la nuit et le week-end. Climatisation toute l'année.

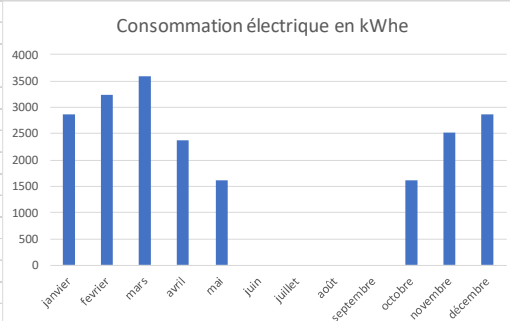
Proposition de pilotage 2			Toute l'année	5 jours 0 nuits par semaine	Eau glacée aller	10 °C
Bureaux	1000	m2 climatisés				
	consommation initiale	consommation après pilotage				
	en kWh	en kWh				
janvier	4800	2872				
février	5400	3231				
mars	6000	3590				
avril	3960	2370				
mai	2700	1616				
juin	2100	1257				
juillet	1500	898				
août	1500	898				
septembre	2100	1257				
octobre	2700	1616				
novembre	4200	2513				
décembre	4800	2872				
total	41760	24989	soit	40,16 % de consommation gagnée		gain en kWh 16771
ratio	41,76	24,99	kWhe/m2/an			



Résultat de ce pilotage : nous pouvons envisager 9 à 15% de gain la journée et 25 à 40% de gain la nuit et le week end => pour un résultat moyen de **40% de gain**

⇒ Pilotage 3 : la boucle d'eau glacée est élevée à 10/15°C en journée et la climatisation est coupée la nuit et le week end. Climatisation d'octobre à mai uniquement, le système de climatisation est arrêté en hiver.

Proposition de pilotage 3			d'octobre à mai	5 jours 0 nuits par semaine	Eau glacée aller	10 °C
Bureaux	1000	m2 climatisés				
	consommation initiale	consommation après pilotage				
	en kWh	en kWh				
janvier	4800	2872				
février	5400	3231				
mars	6000	3590				
avril	3960	2370				
mai	2700	1616				
juin	2100	0				
juillet	1500	0				
août	1500	0				
septembre	2100	0				
octobre	2700	1616				
novembre	4200	2513				
décembre	4800	2872				
total	41760	20681	soit	50,48 % de consommation gagnée		gain en kWh 21079
ratio	41,76	20,68	kWhe/m2/an			



Résultat de ce pilotage : nous pouvons envisager 9 à 15% de gain la journée, 25 à 40% de gain la nuit et le week end et 100% de gain en hiver => pour un résultat moyen de **50% de gain**

3.3.5.4 Synthèse des résultats

Nous avons établi des propositions de pilotage avec la quantification des gains associés pour tous les scénarios proposés initialement. Nous vous proposons un récapitulatif des résultats dans le tableau suivant :

Evolution des gains		Année 7j 7n	Année 7j 0n	Année 5j 0n	Eté 5j 0n
fonction du pilotage		Eau Gl 10°C	Eau Gl 10°C	Eau Gl 10°C	Eau Gl 10°C
Année 7j 7n	Eau Gl 7°C	-12,0%	-29,6%	-40,2%	-50,5%
Année 7j 0n	Eau Gl 7°C		-12,0%	-25,2%	-38,1%
Année 5j 5n	Eau Gl 7°C			-29,6%	-41,7%
Année 5j 0n	Eau Gl 7°C			-12,0%	-27,2%
Eté 7j 7n	Eau Gl 7°C				-40,2%
Eté 5j 5n	Eau Gl 7°C				-29,6%
Eté 5j 0n	Eau Gl 7°C				-12,0%

Année : climatisation
toute l'année

Eté : climatisation
d'octobre à mai

3.3.6 Conclusion des projections théoriques

Nos approches théoriques sont encourageantes à double titre.

Tout d'abord, nous avons pu consolider la possibilité d'assurer aux usagers le confort intérieur dans les locaux grâce à la possibilité de déshumidification jusqu'à une température aller de boucle de 12 ou 13°C.

Ensuite les gains de consommation envisagés sont relativement intéressants avec un pilotage de la température aller de boucle et pourrait permettre des gains de minimum 12% (avec un régime d'eau glacée de 10/15°C) sur la consommation du poste « climatisation » qui rappelle la représente la moitié de la consommation électrique d'un bâtiment tertiaire de type « bureaux ».

La notion ajoutée de pouvoir ajuster l'utilisation de la climatisation aux périodes calendaires d'occupation des locaux amène un enjeu non négligeable sur les gains envisageables.

Nous allons maintenant réaliser des instrumentations, des essais et des mesures sur plusieurs sites existants afin de consolider cette approche théorique.

3.4 Phase 3 – Essais et mesures sur les sites témoins de La Réunion

Deux sites existants ont été retenus pour faire des essais et des mesures dans le cadre du projet :

- Le bâtiment BEO de l'Université du Moufia
- Le bâtiment administratif de l'EPSMR Ouest

3.4.1 Bâtiment BEO de l'Université du Moufia

3.4.1.1 Présentation générale du site

Le BEO est un bâtiment administratif de l'Université du Moufia, au nord de l'île. Il a été construit en 2008. Il est constitué de trois corps de bâtiment en R+2.

Il est équipé d'une climatisation centralisée à eau glacée.

Sur la totalité des trois bâtiments, environ 1790 m² sont climatisés.

Un groupe de production d'eau glacée de 163 kW froid est installé.

L'installation est équipée d'une GTC qui permet de suivre et de piloter l'installation.



La **consigne de température dans les locaux est fixée à 26°C** avec la possibilité dans chaque local d'augmenter ou diminuer la consigne jusqu'à 2°C.

Les **bureaux sont équipés de brasseurs d'air plafonniers**.

L'Université autorise le **fonctionnement de la climatisation dans les locaux d'octobre à mai, de jour**, coupure la nuit et le Week end.

Nous avons sélectionné ce site car c'est un bâtiment relativement bien conçu au niveau thermique, très bien suivi et piloté au niveau de l'installation de la climatisation dont l'occupation est régulière.

3.4.1.2 Organisation des essais et des mesures :

La GTC du site permet de relever notamment les points suivants :

- Station météo extérieure toiture bat B (Température/Hygrométrie)
- Comptage d'énergie du groupe de production d'eau glacée
- Comptage électrique du groupe de production d'eau glacée
- Température aller/retour du réseau d'eau glacée en sortie de groupe

- 3 mesures de Température/Hygrométrie dans les bureaux A210, C107 et B104
- Pour chaque bureau des 3 bâtiments, la GTC permet d'imposer une consigne (26°C +/- 2°C), de relever le Marche/Arrêt, de relever la Température de consigne et la Température du bureau.

En complément de ces équipements existants, nous avons installé des enregistreurs de Température/Hygrométrie dans 9 bureaux et un enregistreur en extérieur.

Nous étudions les 3 bâtiments et avons décidé d'instrumenter les bureaux suivants avec les enregistreurs :

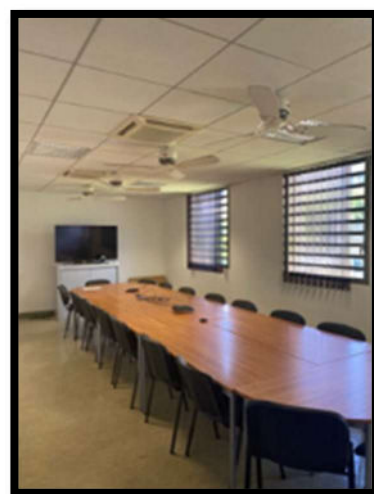
Bat A : niv4 bureau A406, A408, A409 et A411.

niv2 bureau A206, A209 et A205, le bureau A210 est déjà relevé sur GTC.

Bat B : niv1 le bureau B104 est déjà relevé sur GTC.

Bat C : niv1 bureau C106 et C108, le bureau C107 est déjà relevé sur GTC.

Le choix des bureaux a été fait de façon à avoir un échantillon diversifié en fonction de l'étage, de l'orientation, de l'usage.



Ces équipements de suivi nous permettent de suivre les conditions intérieures et extérieures ainsi que les caractéristiques, les consommations de la production d'eau glacée pendant toute la période de nos essais.

Les capteurs utilisés sont de marque HOBO.

HOB00571 MX1101 HOBO MX TEMP /RH LOGGER Enregistreur de température et humidité relative sans fil. Précision +0.2°C, +-2% HR. Communication sans fil via Bluetooth avec Apple IOS (Iphone, Ipad, Ipod-touch) ou ANDROID. Fonctionne avec l'application mobile gratuite HOBObot (à télécharger sur AppStore ou GooglePlay).



Les trois campagnes de Mesures :

Nous avons réalisé trois campagnes de mesure : une en été, deux en saison intermédiaire (mai/juin puis septembre/octobre). L'objectif des mesures est double : en premier lieu, vérifier la faisabilité d'élever la température de boucle d'eau tout en conservant le confort intérieur des usagers, pour cela nous avons vérifié que le couple température/hygrométrie des locaux reste bien dans les conditions du diagramme de

confort. Dans un deuxième temps, mesurer les éventuelles économies de consommation d'énergie en élevant la température de la boucle d'eau glacée.

Les essais se déroulent suivant l'organisation suivante :

Semaine 1 : consigne température départ de boucle eau glacée : 7°C

Semaine 2 : consigne température départ de boucle eau glacée : 8°C

Semaine 3 : consigne température départ de boucle eau glacée : 9°C

Semaine 4 : consigne température départ de boucle eau glacée : 10°C

Semaine 5 : consigne température départ de boucle eau glacée : 11°C

Semaine 6 : consigne température départ de boucle eau glacée : 12°C

Nous mesurons les points suivants :

- Consommation frigorifique du groupe d'eau glacée
- Consommation électrique du groupe d'eau glacée
- Température aller de la boucle d'eau glacée
- Température et hygrométrie extérieure
- Température et Hygrométrie dans les locaux suivis

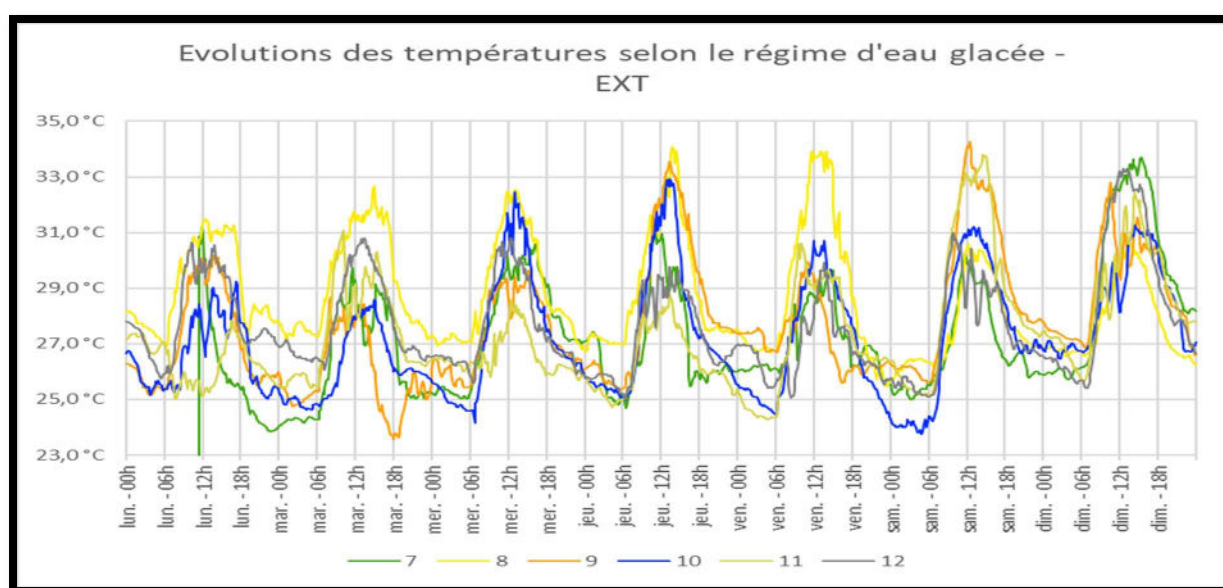
Nous avons traité toutes les mesures et données obtenus lors de ces mesures. Nous présentons les évolutions des températures et des hygrométries en fonction de la température aller de la boucle d'eau glacée. L'objectif est de s'assurer que la température de consigne est atteinte et que le couple température hygrométrie des locaux reste dans le diagramme de confort.

3.4.1.3 Mesures en saison été : 6 semaines du 5 février au 10 mars 2024

Tout d'abord, nous vous présentons les relevés des températures extérieures pour les semaines de mesure pour la température d'eau glacée de 7 à 12°C.

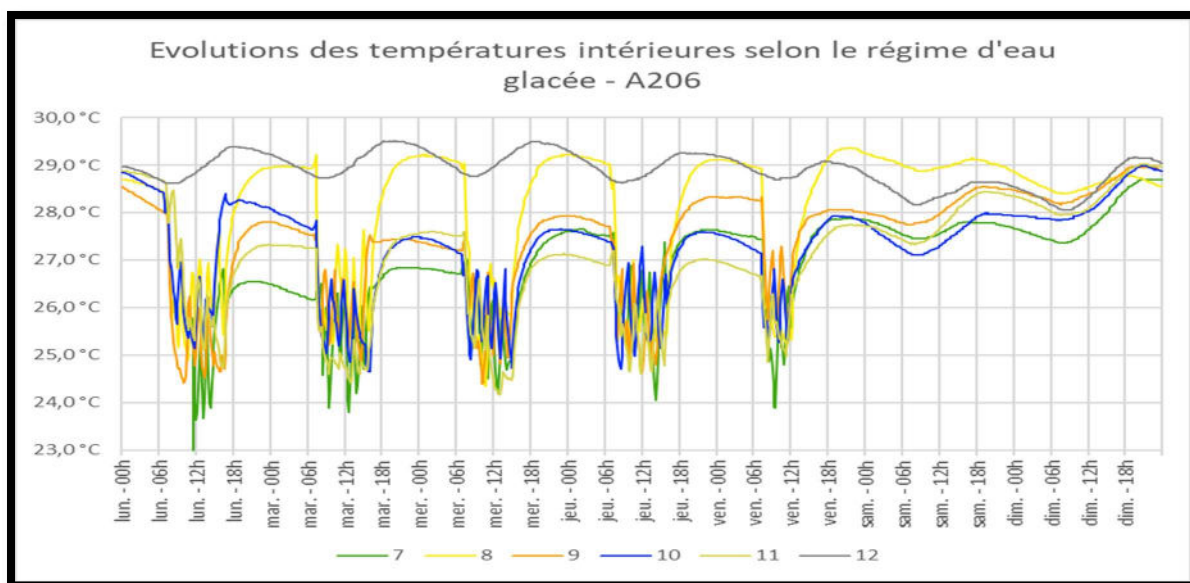
Nota : lors de la semaine d'essais à 8°C, la température extérieure était globalement très haute et lors de la semaine d'essais à 12°C nous n'avons pas pu récupérer toutes les données de la GTC suite à un bug informatique.

On constate une semaine régulièrement très chaude lors des essais de la semaine avec l'eau glacée à 8°C.

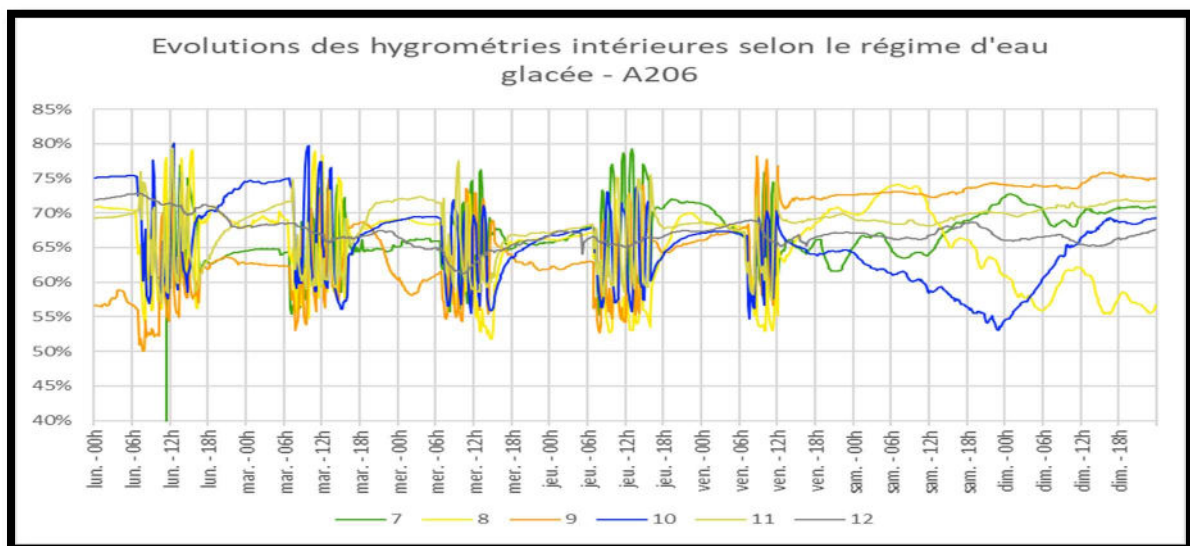


Nous avons sélectionné trois bureaux représentatifs des essais et des mesures que nous avons réalisé. Pour faciliter la lecture du rapport, nous vous proposons le résultat d'un bureau ci-dessous et les autres résultats en annexe.

Bureau A206

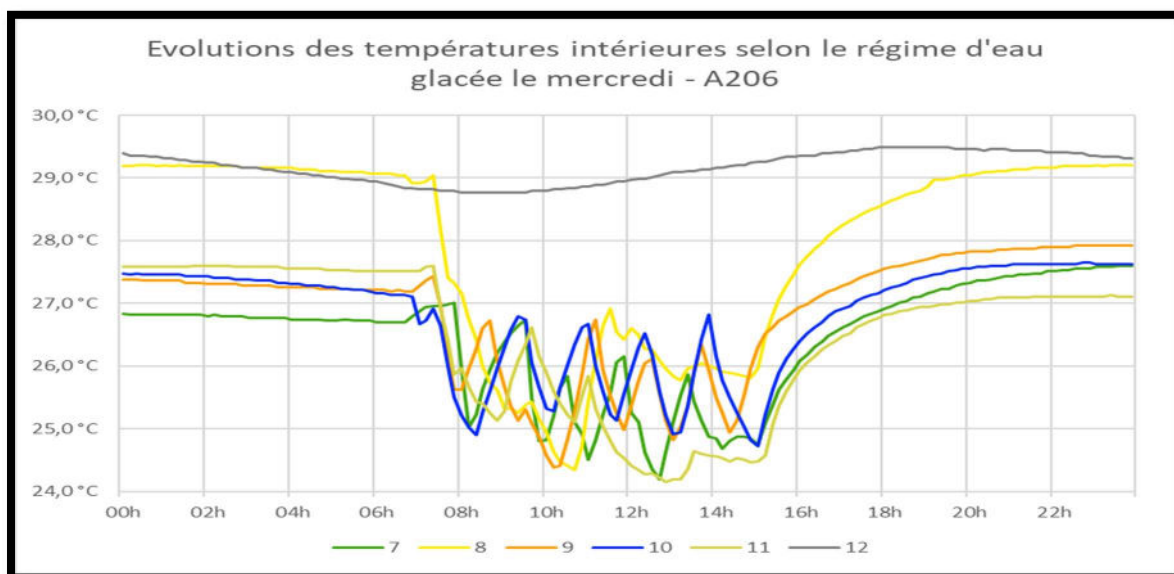


On constate une occupation du bureau et l'utilisation de la climatisation du lundi au jeudi de 7h30 à 17h et le vendredi de 7h30 à 12h et l'arrêt de la climatisation la nuit et le week-end. La consigne de température est autour de 26°C. Le bureau n'a pas été occupé en semaine d'essai avec l'eau glacée à 12°C. Nous pouvons constater l'efficacité de la climatisation pour toutes les semaines d'essai (eau glacée de 7 à 11°C) car la consigne de température intérieure est atteinte.

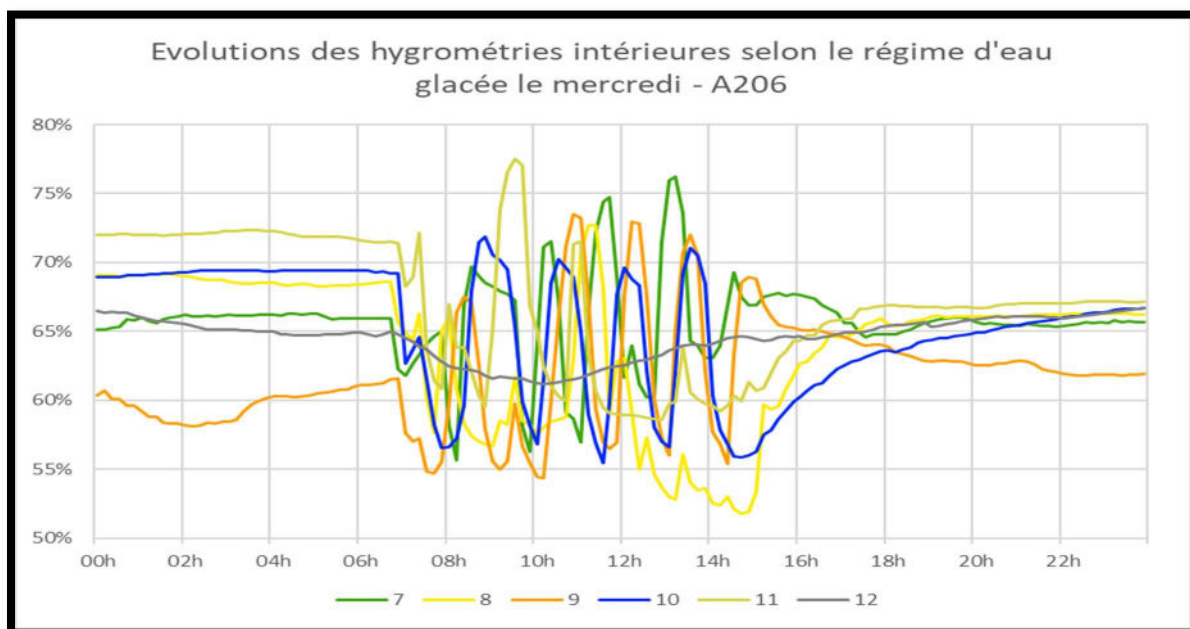


De la même façon, on constate une occupation du bureau et l'utilisation de la climatisation du lundi au jeudi de 7h30 à 17h et le vendredi de 7h30 à 12h et l'arrêt de la climatisation la nuit et le week-end. L'hygrométrie en période de climatisation oscille entre 55 et 80% avec une majorité de points entre 55 et 75%.

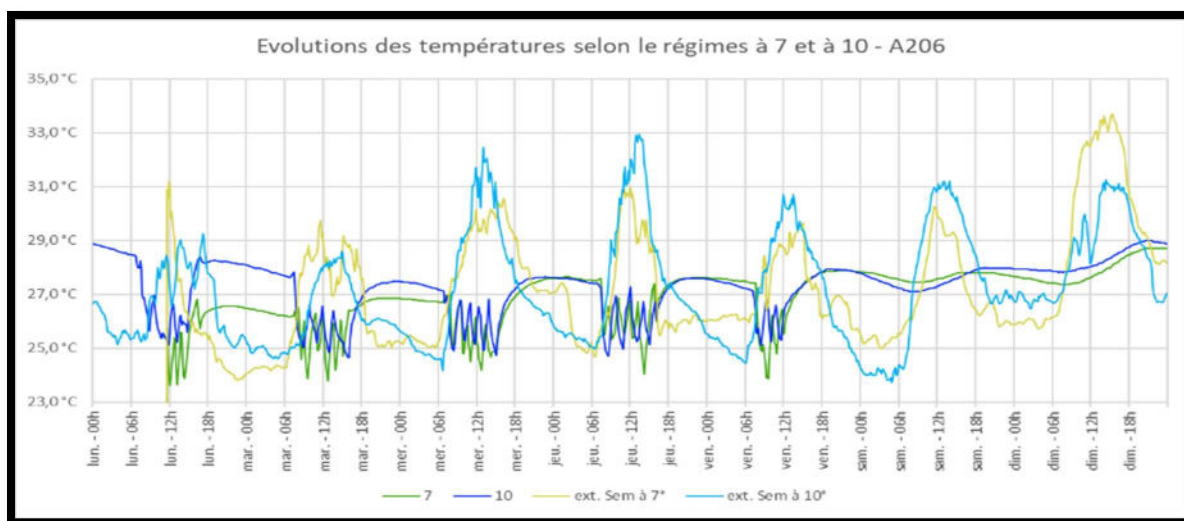
Nous proposons un focus sur la journée du mercredi car elle est la plus représentative.



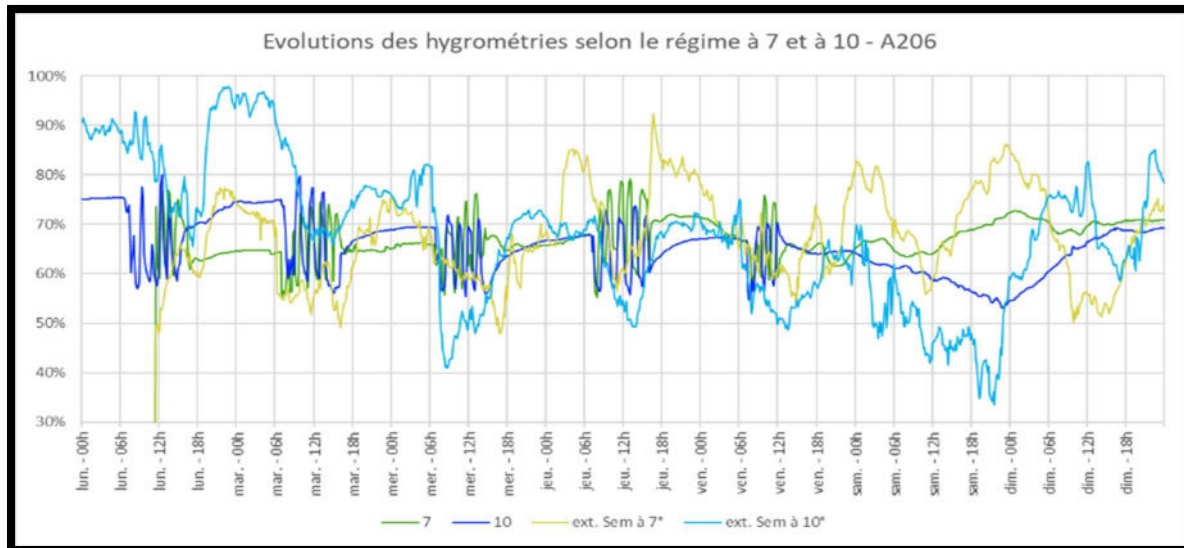
On constate une occupation du bureau et l'utilisation de la climatisation de 7h30 à 15h. La consigne de température est autour de 26°C. Le bureau n'a pas été occupé en semaine d'essai avec l'eau glacée à 12°C. Nous pouvons constater l'efficacité de la climatisation pour toutes les semaines d'essai (eau glacée de 7 à 11°C) car la consigne de température intérieure est atteinte.



De la même façon, on constate une occupation du bureau et l'utilisation de la climatisation de 7h30 à 15h. L'hygrométrie en période de climatisation oscille entre 55 et 75%. On voit bien que l'hygrométrie intérieure baisse lorsque la température baisse donc en fonctionnement de la climatisation. Cela permet de conclure à l'efficacité de déshumidification pour une boucle d'eau glacée de 7 à 11 °C.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. On constate une évolution des températures intérieures de 24 à 27°C similaires en période de climatisation malgré la différence de température de la boucle d'eau glacée. Le maintien de la consigne de température intérieure est assuré.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. On constate une évolution de l'hygrométrie intérieure en période de climatisation entre 58 et 80%. L'hygrométrie varie en fonction du fonctionnement de la climatisation et de sa régulation fonction de la température de consigne. Nous constatons de fortes variations de l'hygrométrie extérieure en corrélation avec les variations de la température extérieure (lorsque la température augmente, l'hygrométrie baisse et inversement). Pour autant, l'hygrométrie intérieure ne varie pas autant car il y a notamment les apports internes des occupants.

Nota : pour faciliter la lecture du couple température / hygrométrie, il faut avoir conscience qu'en conditions extérieures l'hygrométrie baisse quand la température augmente et inversement ; à contrario en situation de local climatisé, l'hygrométrie baisse quand la température baisse car lorsque la climatisation fonctionne elle permet un abaissement sensible de la température mais aussi un abaissement de l'hygrométrie car l'air est déshumidifié en passant au travers du ventilo-convecteur.

Conditions de confort intérieur du bureau A206 :

Le Diagramme de Givoni propose une expression de la zone de confort thermique en fonction de la température de l'air, de l'humidité et de la vitesse de l'air, dans le cas d'un habillement léger : l'objectif est de rester dans le périmètre du cadre intégré au diagramme.

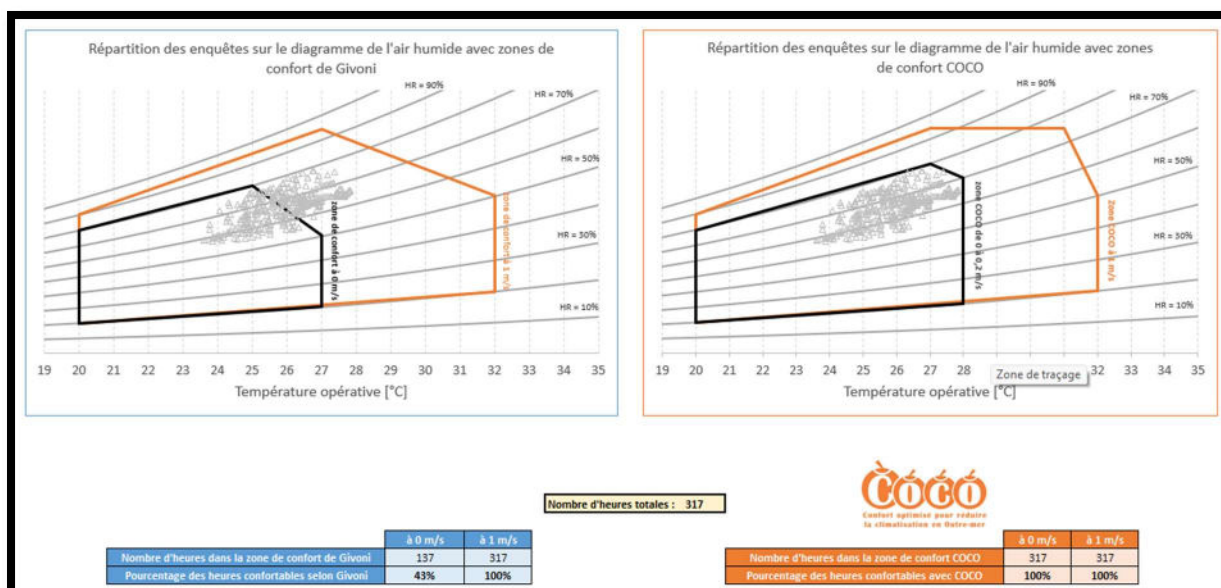
Mais le confort n'est pas une grandeur exacte, c'est plutôt une sensation subjective dont on peut mieux cerner les contours à l'aide de ce diagramme. Un certain nombre de paramètres socioculturels, psychologiques, physiologiques ou encore comportementaux, vient s'ajouter en effet aux paramètres physiques décrits ici.

En conséquence, dans le cadre du programme Ombree 1, le projet « Coco » a travaillé sur une version adaptée aux climats tropicaux et proposé des zones de confort sur le diagramme de l'air humide pour ces zones géographiques (La Réunion, Mayotte, Martinique et Guadeloupe). Par extension, nous l'utilisons pour la Guyane, l'adaptation au niveau d'hygrométrie étant supérieur aux autres territoires).

Pour regarder si les conditions de confort intérieur sont atteintes, notre projet s'intéressant aux DOM TOM, nous proposons d'utiliser l'outil de « Coco » qui permet de reporter les points, d'abord sur le diagramme de Givoni puis sur le diagramme adapté aux climats tropicaux.

Nous vous proposons les diagrammes pour la saison la plus contraignante, à savoir l'été, pour un premier bureau A206.

Semaine à 7°C

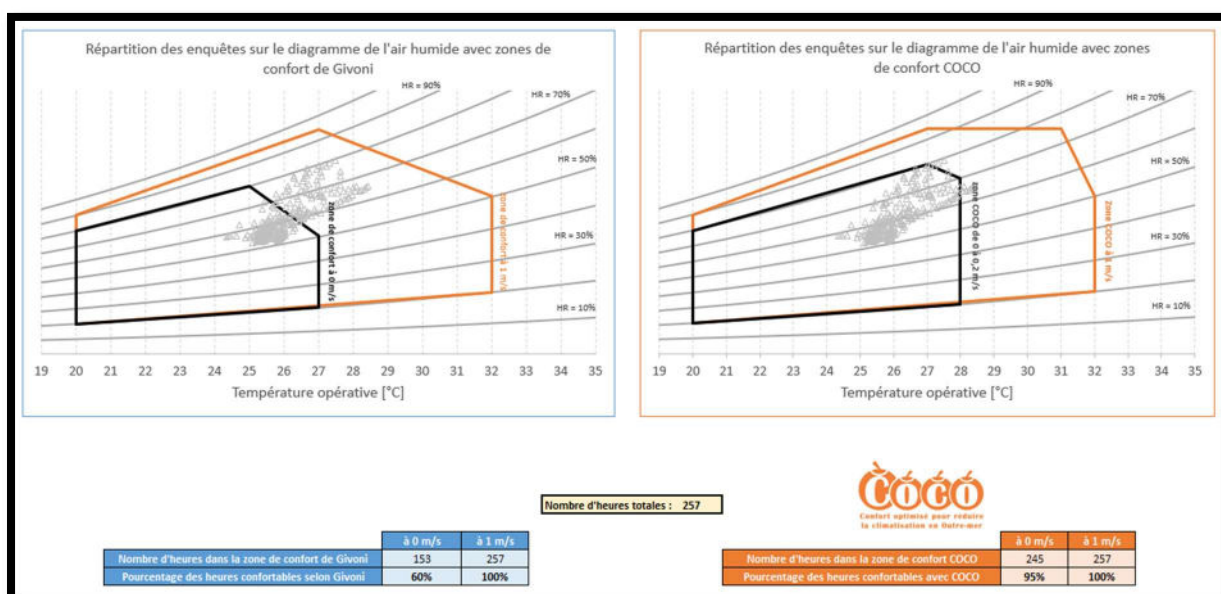


Résultat : 100% d'heures confortables

Dans le diagramme de Givoni, avec un brasseur d'air, la totalité des points sont dans le diagramme de confort avec une vitesse d'air de 1 m/s.

La totalité des points en période de climatisation sont dans le diagramme de confort Coco adapté aux climats tropicaux.

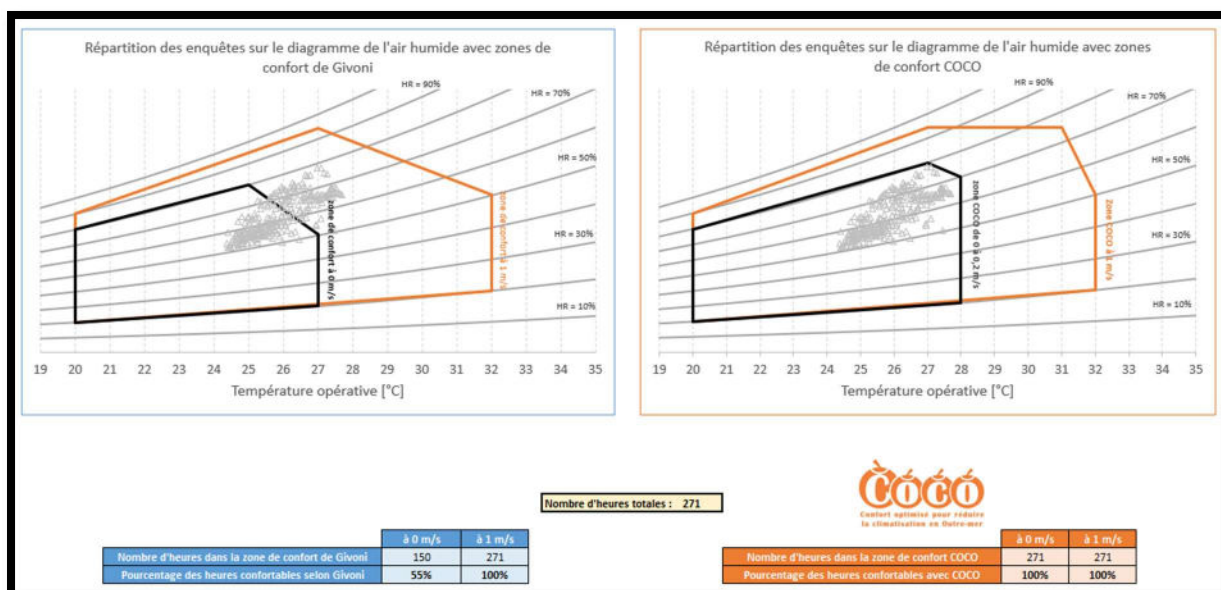
Semaine à 8°C



Résultat : 95% d'heures confortables

La quasi-totalité des points en période de climatisation sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de la semaine la plus chaude.

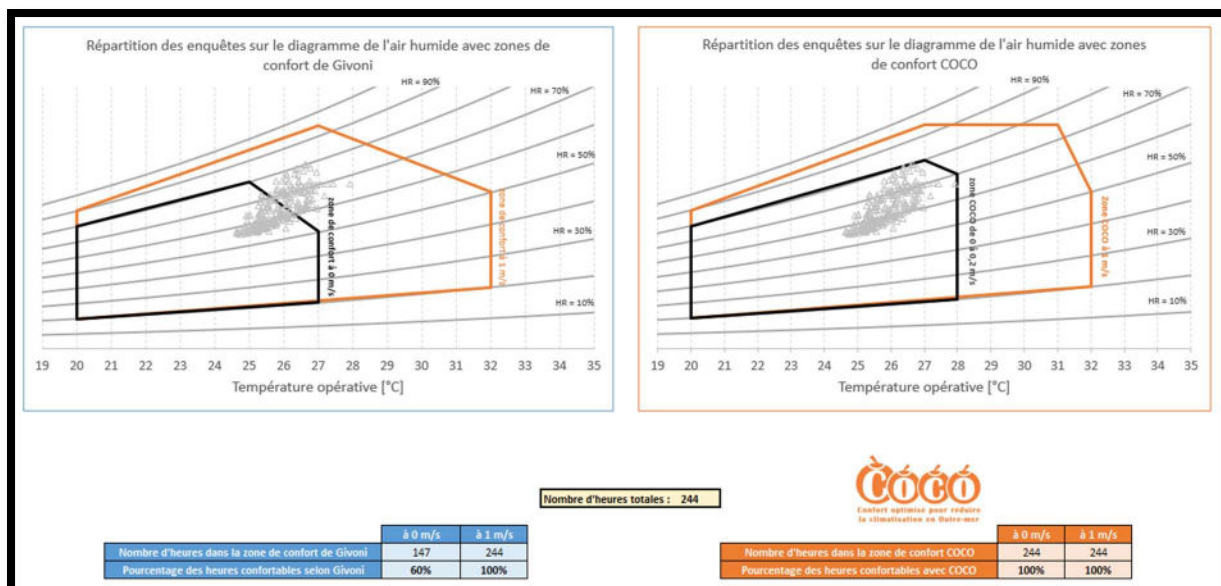
Semaine à 9°C



Résultat : 100% d'heures confortables

La totalité des points en période de climatisation sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux.

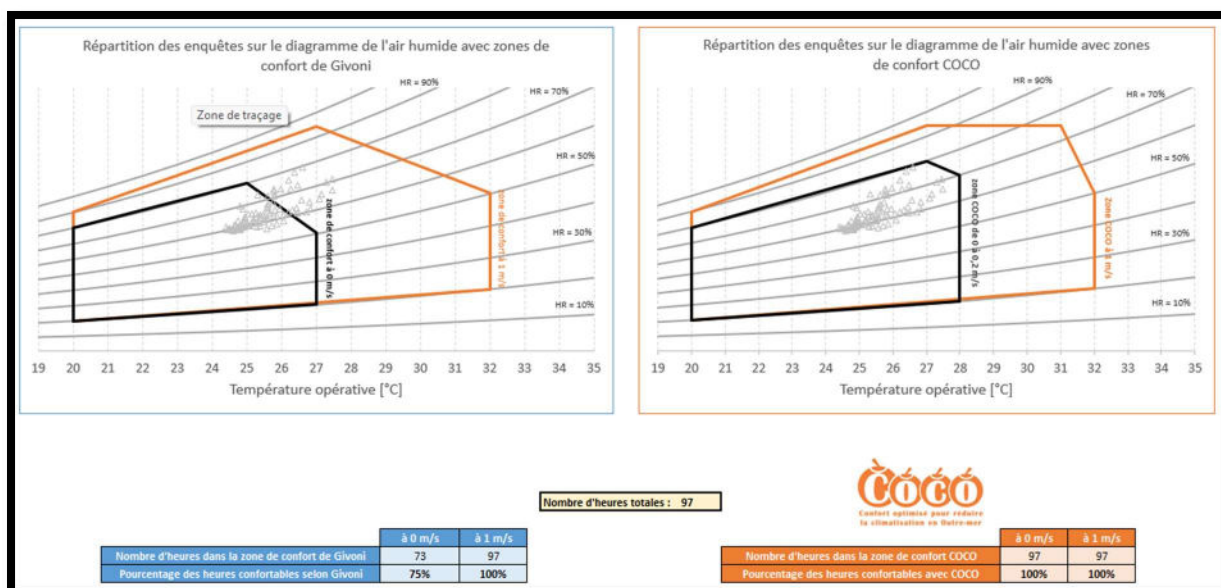
Semaine à 10°C



Résultat : 100% d'heures confortables

La totalité des points en période de climatisation sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux.

Semaine à 11°C



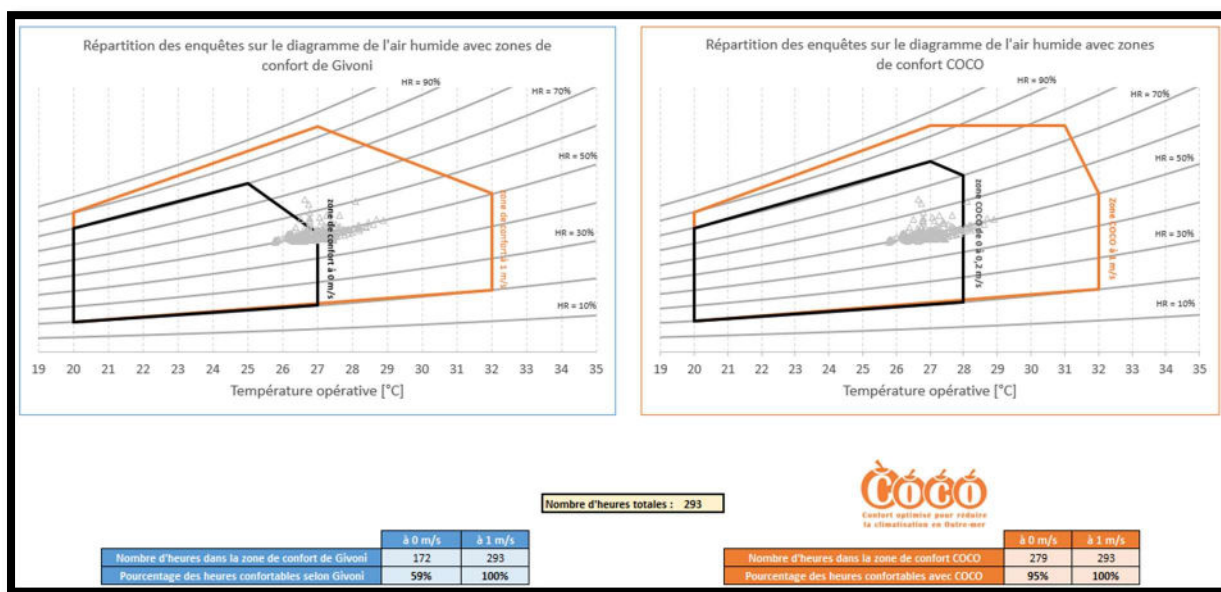
Résultat : 100% d'heures confortables

La totalité des points en période de climatisation sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux.

Bureau A406 :

Nous proposons les points dans le diagramme de confort pour le bureau A406 pour la semaine à 8°C parce qu'elle est la plus contraignante au niveau des conditions extérieures.

Semaine à 8°



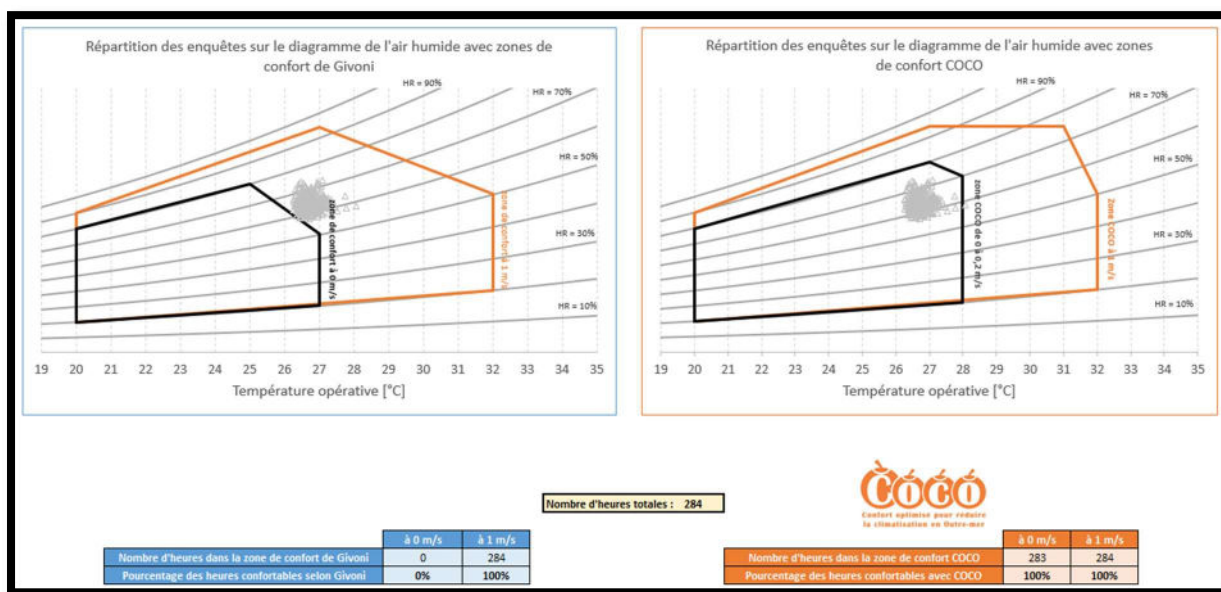
Résultat : 95% d'heures confortables

La quasi-totalité des points en période de climatisation sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de la semaine la plus chaude. Les quelques points qui sortent du diagramme de confort avec une température supérieure à 28°C sont majoritairement des points de mesure au démarrage de la climatisation le matin à 7h30.

Bureau C108 :

Nous proposons les points dans le diagramme de confort pour le bureau C108 pour la semaine à 8°C parce qu'elle est la plus contraignante au niveau des conditions extérieures.

Semaine à 8°



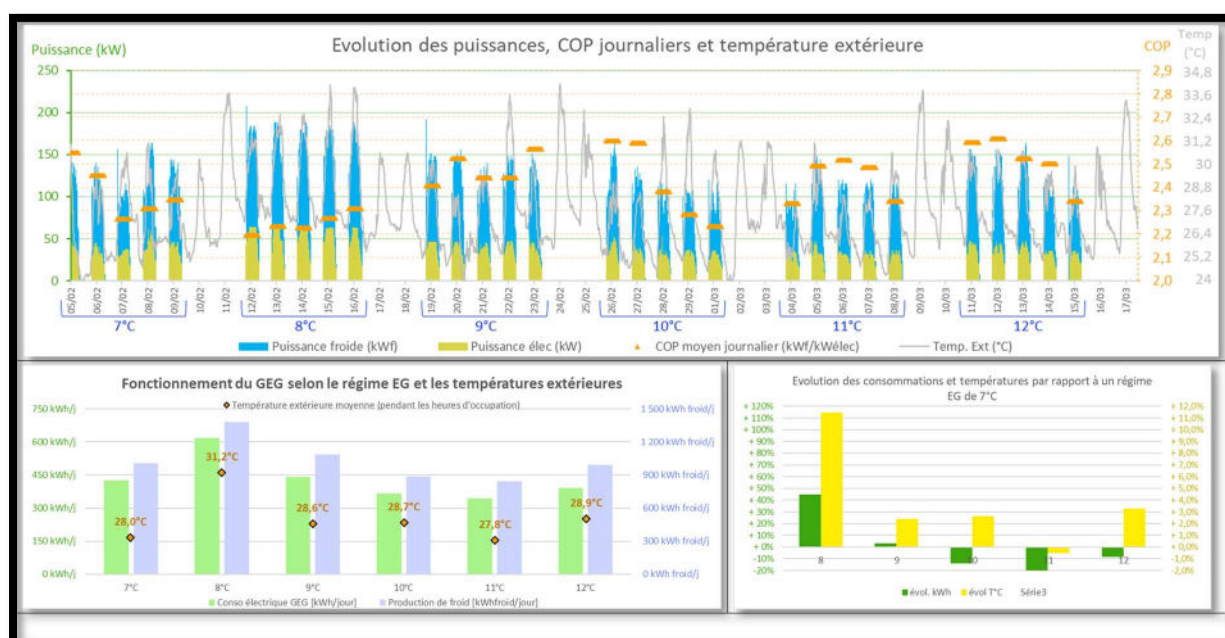
Résultat : 100% d'heures confortables

La totalité des points en période de climatisation sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de la semaine la plus chaude.

Consommation de la production d'eau glacée :

Les graphiques affichent :

- Les puissances et performances de la production d'eau glacée en fonction de la température extérieure et selon la température aller d'eau glacée.
- Les consommations journalières frigorifiques et électriques de la production d'eau glacée en fonction de la température aller de la boucle d'eau glacée.
- La température moyenne extérieure en période de climatisation est également renseignée pour pouvoir comparer semaine après semaine.
- Les évolutions des consommations électriques et de la température extérieure pour chaque semaine d'essai pour une température aller de boucle d'eau glacée allant de 8 à 12°C en comparant à la semaine à 7°C.



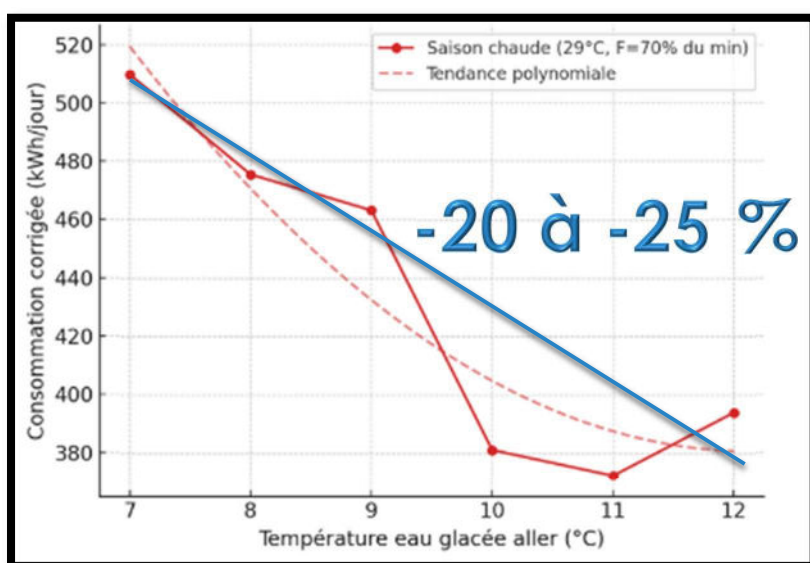
Le premier graphe de l'évolution des puissances et de l'analyse des COP ou EER permet de mettre en évidence l'évolution du EER en fonction de la température aller de la boucle. A température extérieure équivalente (env. 30°C), on constate un EER moyen de 2,3 à 7°C et un EER moyen de 2,55 à 12°C soit une amélioration brute d'environ 10%.

Le deuxième graphe présente les évolutions des besoins en froid et des consommations énergétiques associées semaine après semaine.

Le troisième graphe met en évidence l'évolution des consommations énergétiques en fonction de l'évolution de la température pour chaque semaine d'essai. On constate une baisse des consommations au fur et à mesure de l'augmentation de la température aller de la boucle d'eau glacée, malgré l'augmentation de la température extérieure.

Proposition des consommations du groupe d'eau glacée à température extérieure constante en retenant la température de 29°C.

Lors de nos essais, les conditions extérieures moyennes en période de climatisation ne sont pas les mêmes, elles sont fonction de la météo et l'avancement de la saison. Nous proposons par conséquent un graphique de la consommation électrique de la climatisation à température extérieure constante. Nous considérons comme hypothèses, d'après les bilans thermiques des locaux que l'impact de la variation de la température extérieure sur les besoins est d'environ 30% (apport par l'air neuf sanitaire et une part des apports extérieurs). Nous déterminons une part fixe de 70% de la consommation du minimum observé, relevant des apports internes et des apports par rayonnement.

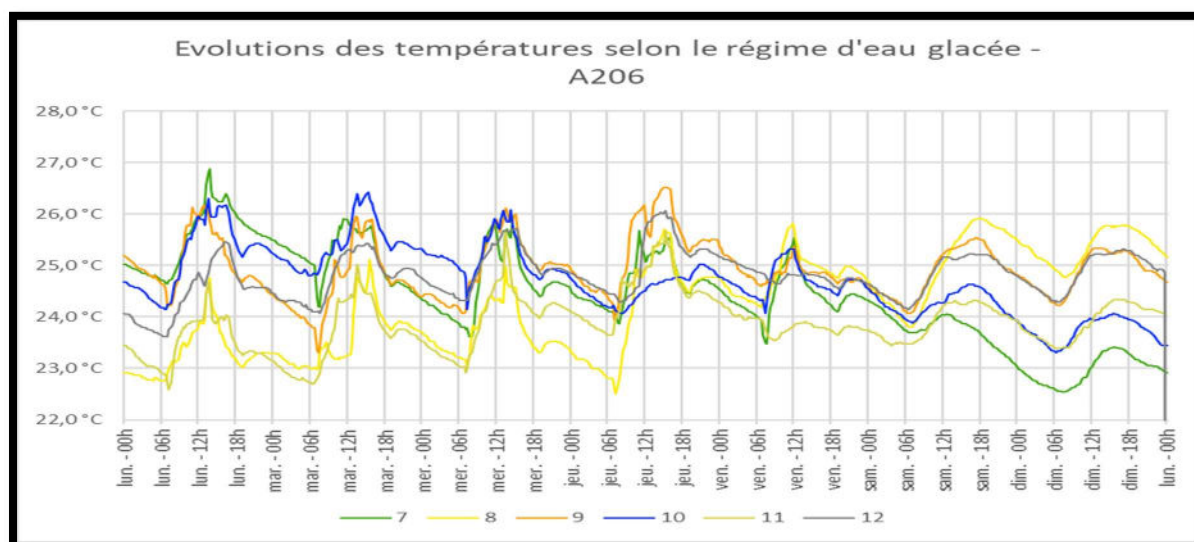


Nous constatons sur ce graphique, à température extérieure constante, une évolution à la baisse des consommations au fur et à mesure que la température de boucle d'eau glacée est augmentée. Nous identifions une baisse de 20 à 25% sur les semaines de 7 à 12°C soit environ 4 à 5 % par degré d'augmentation de la boucle d'eau glacée.

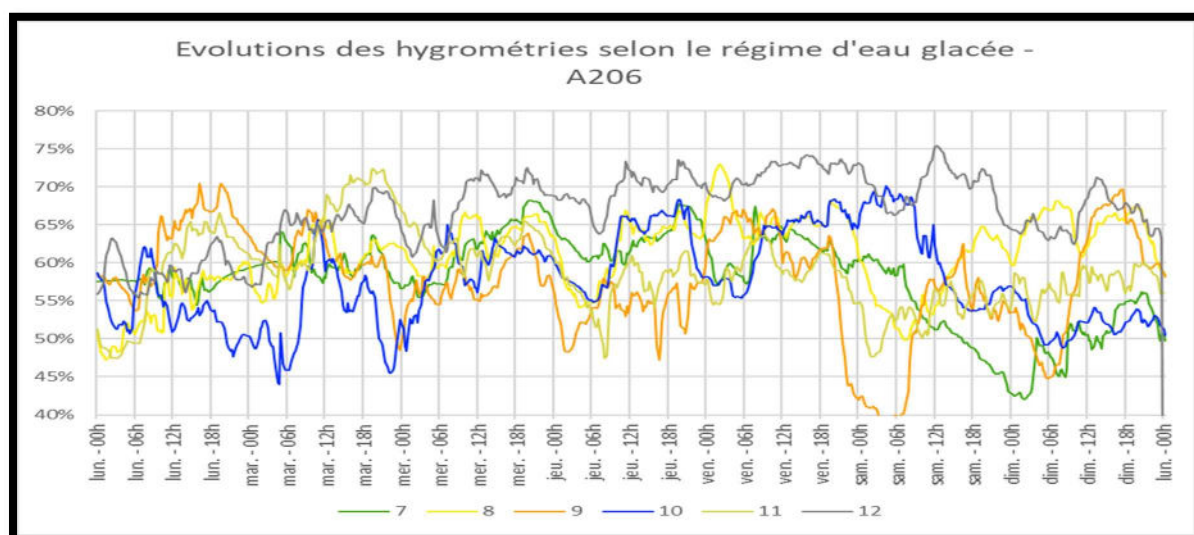
3.4.1.4 Mesures en saison intermédiaire 1 : 13 mai au 21 juin 2024

Nous rappelons que les usagers ont l'habitude d'utiliser la climatisation seulement d'octobre à mai, que la consigne minimum est de 26°C, que les bureaux sont équipés de brasseurs d'air plafonniers

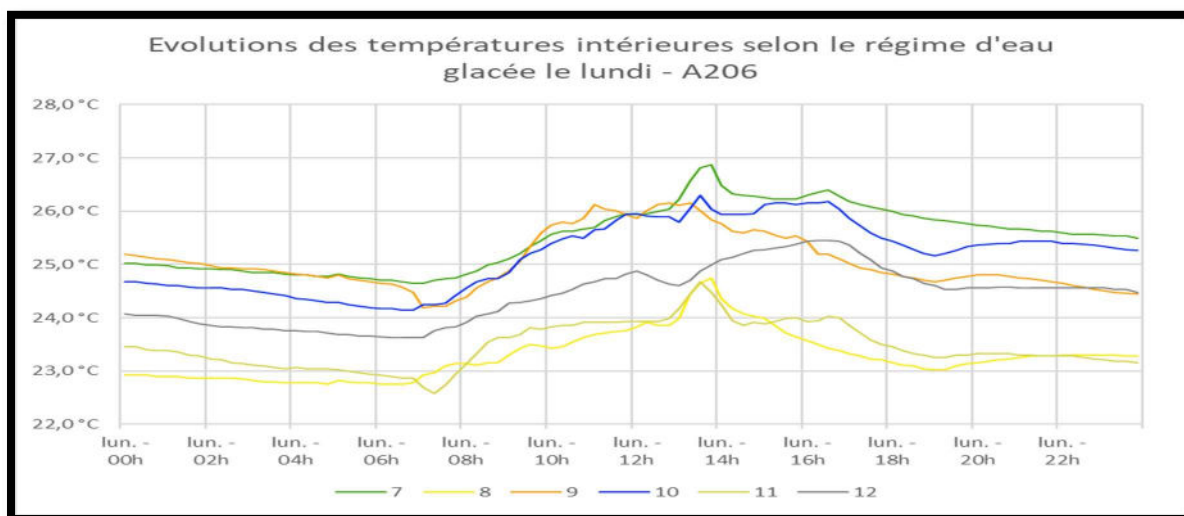
Bureau A206 :



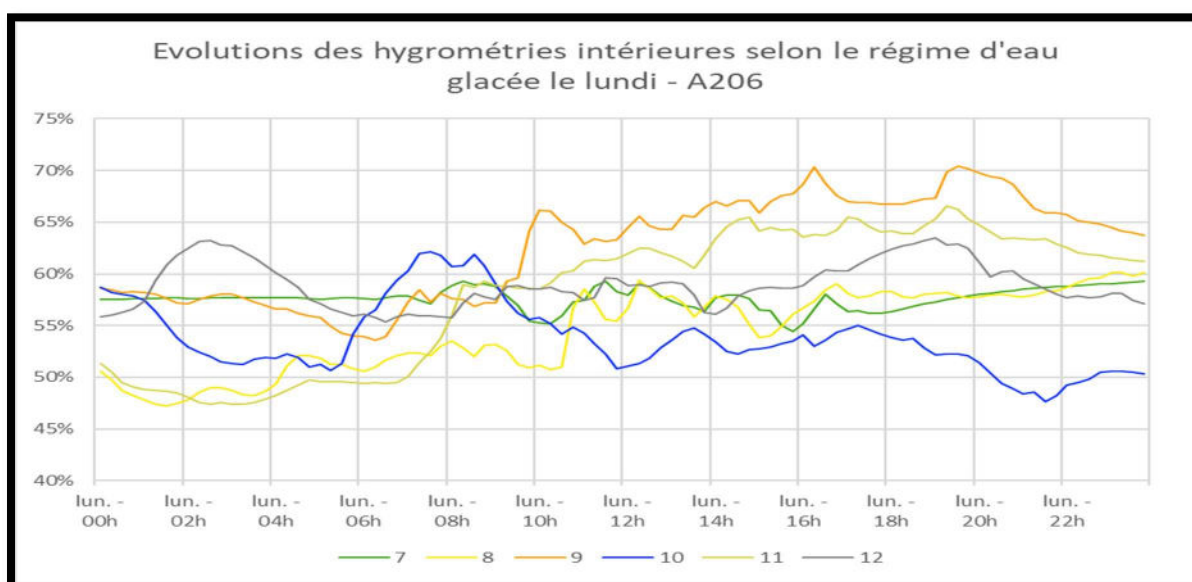
Nous remarquons un pic de température intérieure aux alentours de 13h à cette période de l'année. Malgré le fait que la climatisation soit allumée, elle n'a pas fonctionné car avec une consigne intérieure de 26°C, la régulation permet sa mise en marche qu'à 27°C, température qui n'est jamais atteinte dans le bureau.



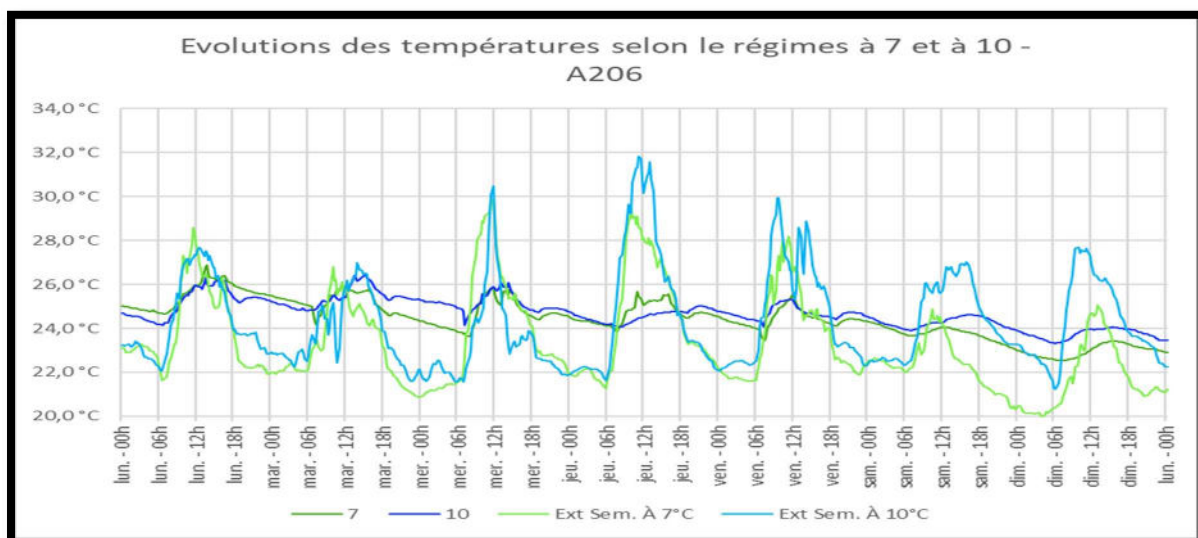
La climatisation n'étant pas utilisée, l'hygrométrie varie en fonction des conditions extérieures, en semaine entre 45 et 75%.



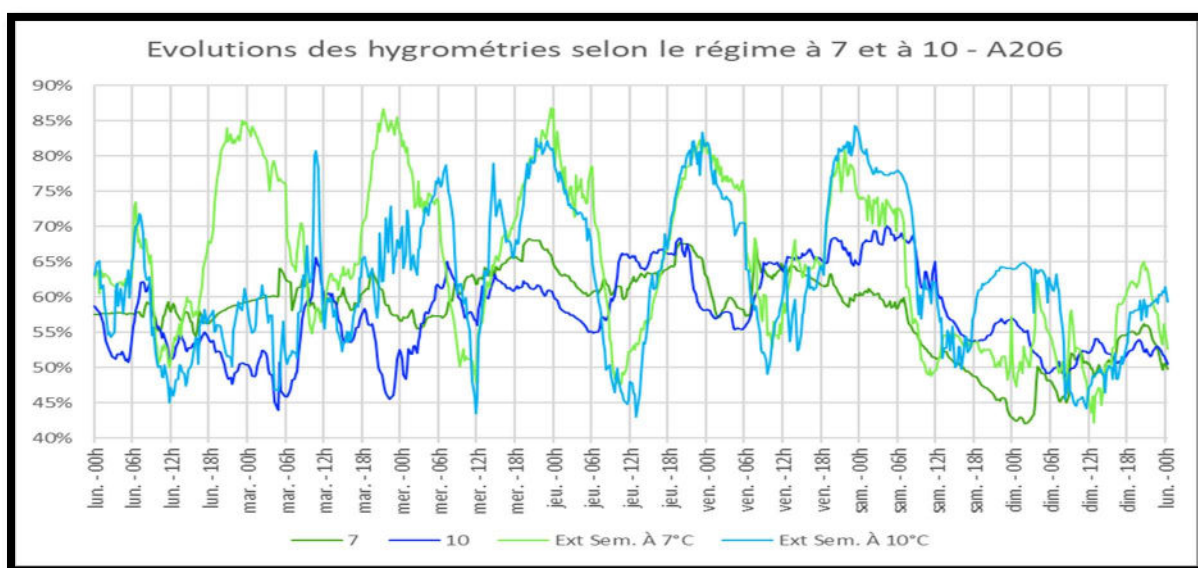
Sur la journée du lundi, on constate que la température varie entre 23 et 27°C.



Sur la période journalière, l'hygrométrie oscille entre 50 et 70%.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. Les températures extérieures journalières maximum ont oscillé entre 26 et 32°C. Malgré cela il n'y a pas eu besoin de la climatisation pour maintenir une température intérieure comprise entre 24 et 26°C.



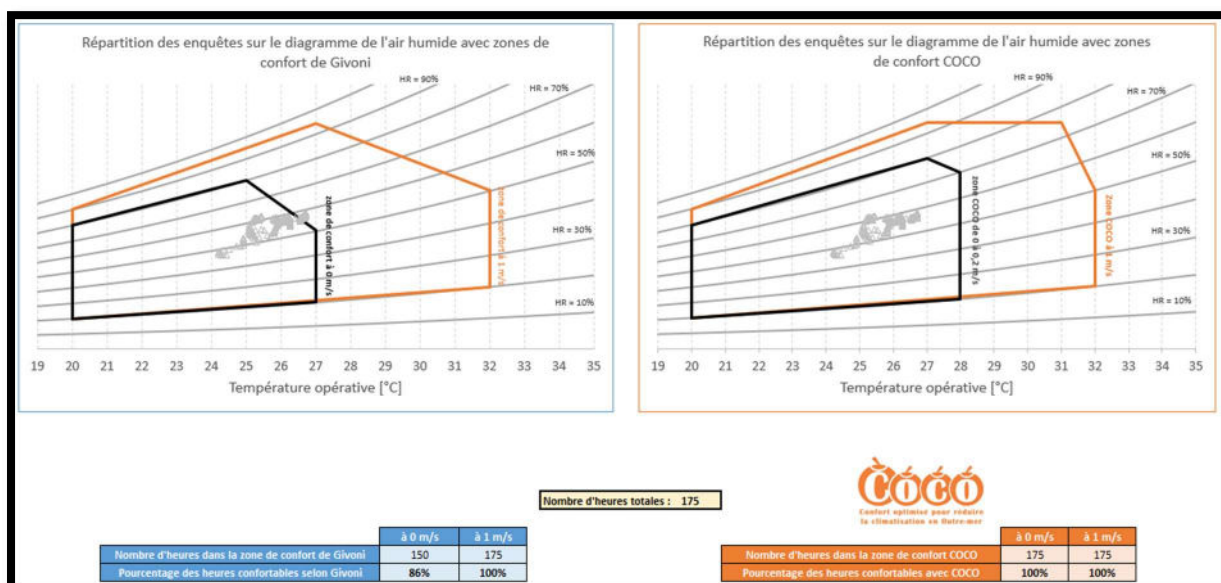
Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. L'hygrométrie intérieure reste contenue entre 45 et 70% malgré une hygrométrie extérieure maximum en journée de 80%.

NOTA : même observation pour les autres bureaux, la climatisation n'a pas eu besoin de se mettre en marche.

Conditions de confort intérieur du bureau A206 :

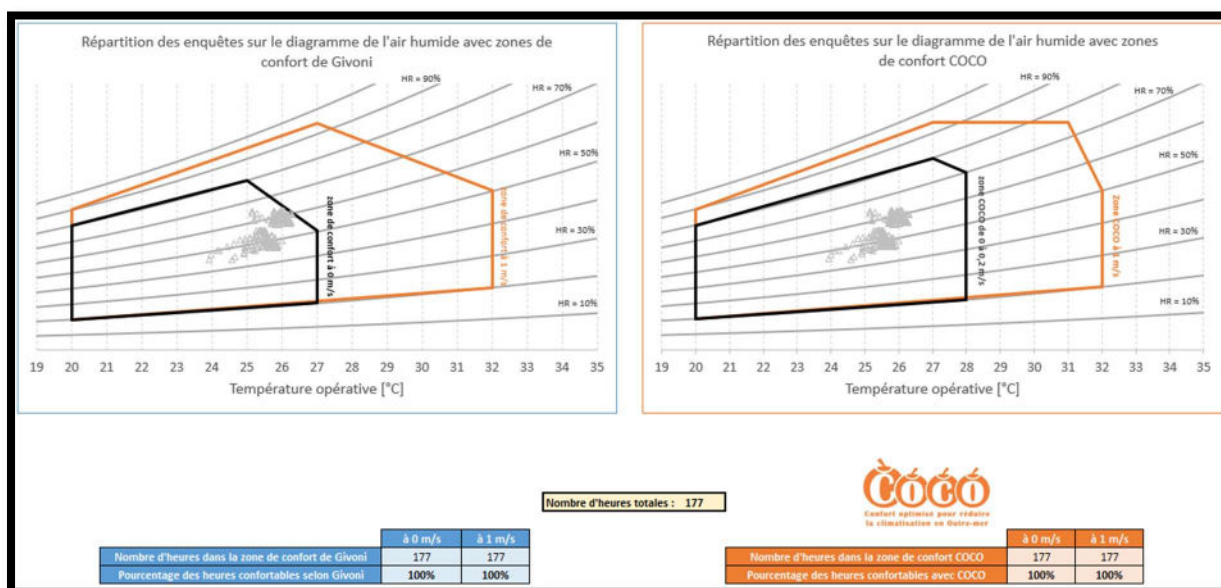
Nous vous proposons les diagrammes pour la saison intermédiaire 1, pour un premier bureau A206. Il est intéressant de voir les conditions obtenues sans l'usage de la climatisation.

Semaine à 7°C



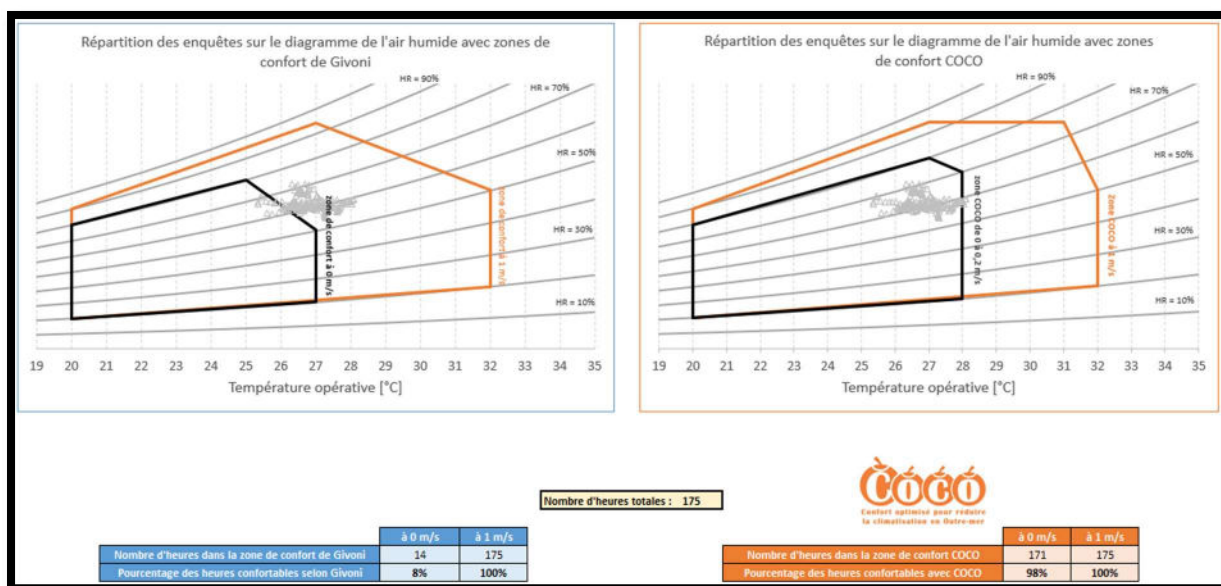
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période intermédiaire mai/juin, sans utilisation de la climatisation.

Semaine à 8°C



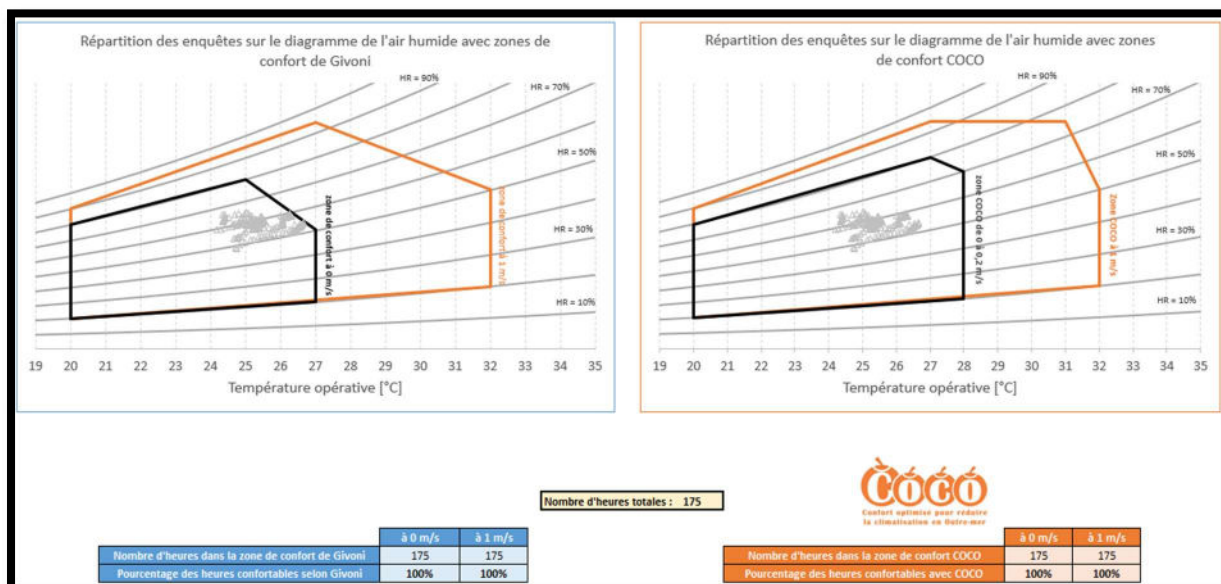
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période intermédiaire mai/juin, sans utilisation de la climatisation.

Semaine à 9°C



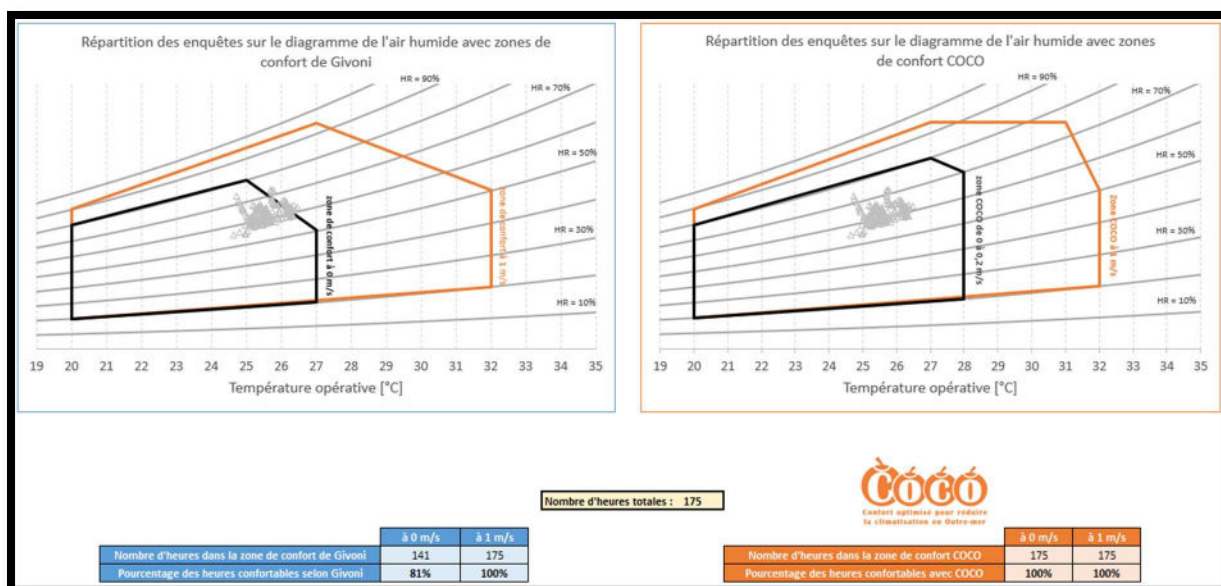
La quasi-totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période intermédiaire mai/juin, sans utilisation de la climatisation.

Semaine à 10°C



La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période intermédiaire mai/juin, sans utilisation de la climatisation.

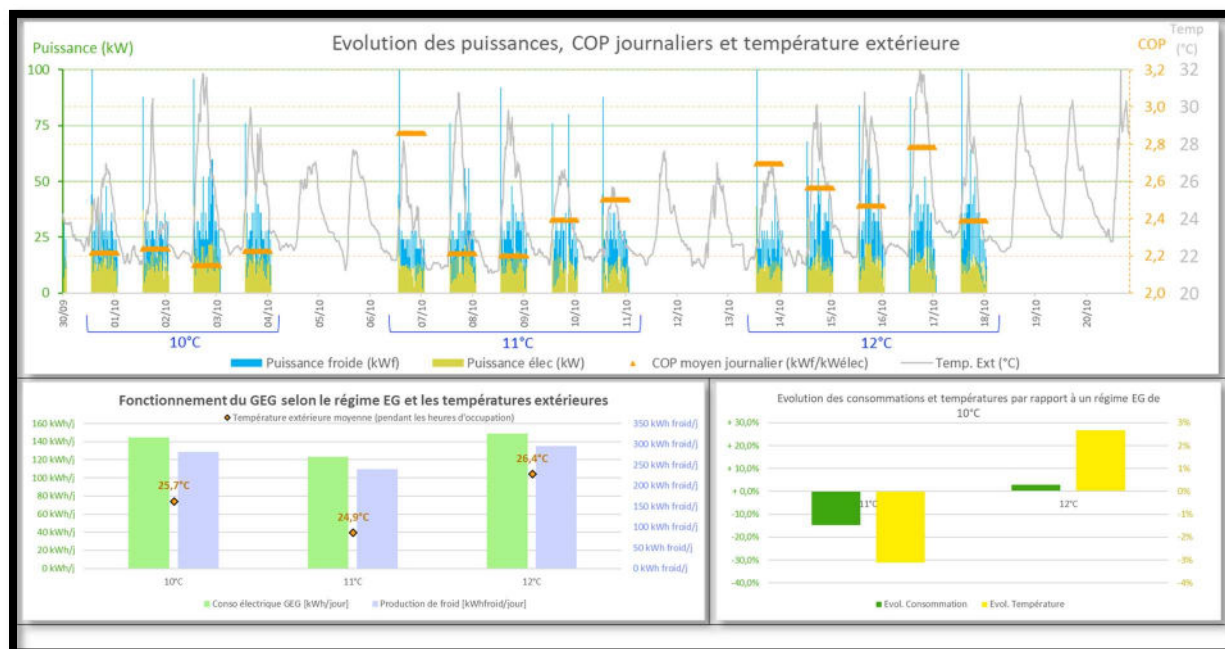
Semaine à 11°C



La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période intermédiaire mai/juin, sans utilisation de la climatisation.

Consommation du groupe de production d'eau glacée :

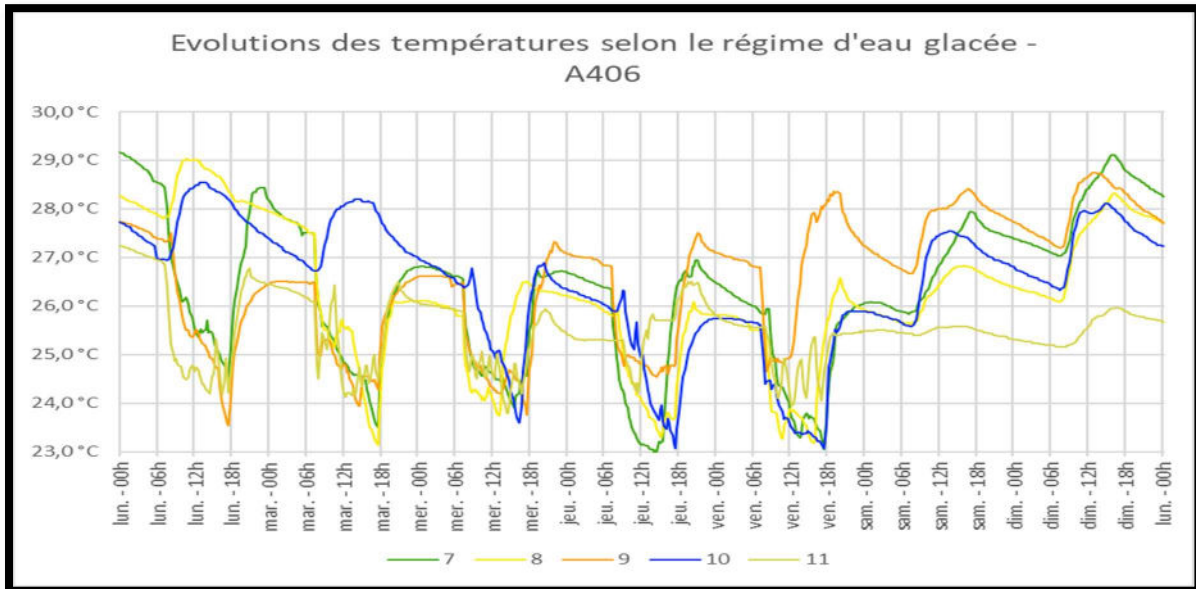
Nota : les données de consommation de la production pour les semaines de 7 à 9°C ne sont pas accessibles sur la GTC de l'Université.



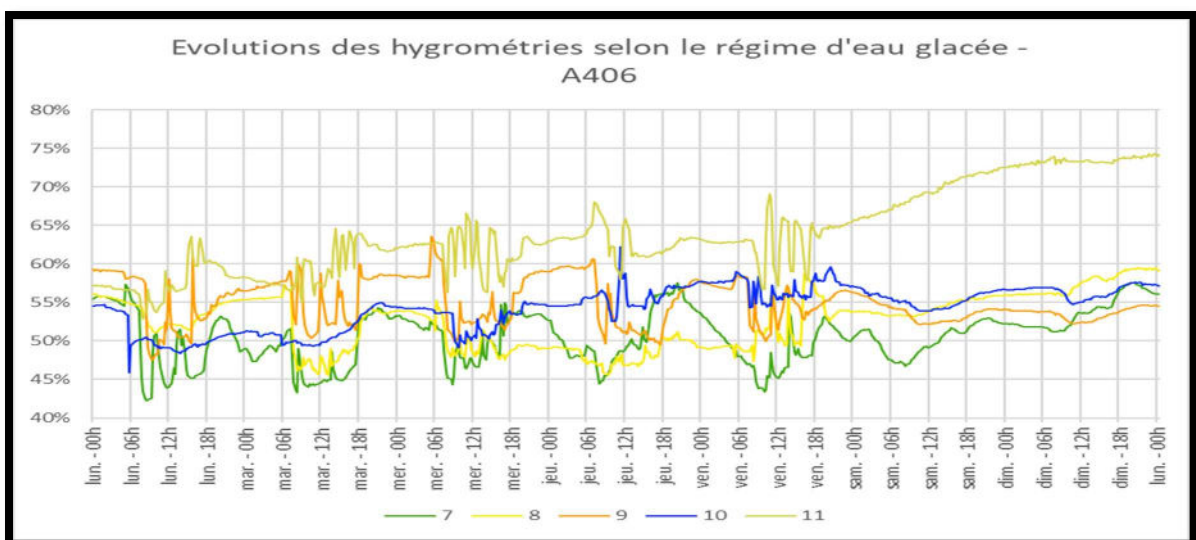
Nous constatons une consommation au niveau de la production d'eau glacée malgré les très faibles besoins de climatisation. Cette consommation est en quasi-totalité liée au maintien en température de la boucle d'eau glacée (pompage, refroidissement de boucle suite aux déperditions en ligne).

3.4.1.5 Mesures en saison intermédiaire 2 : 9 sept au 18 oct 2024

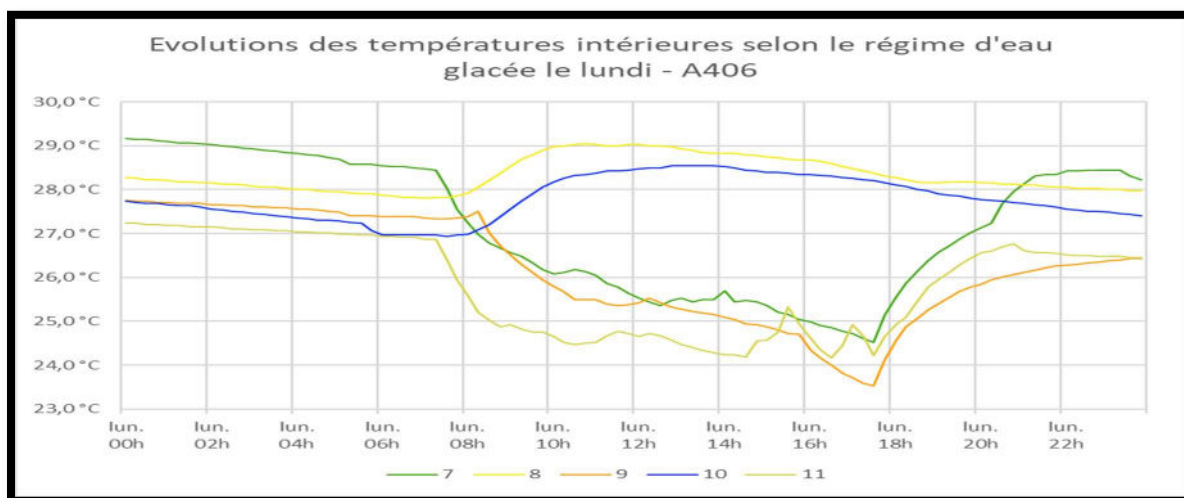
Bureau A406 :



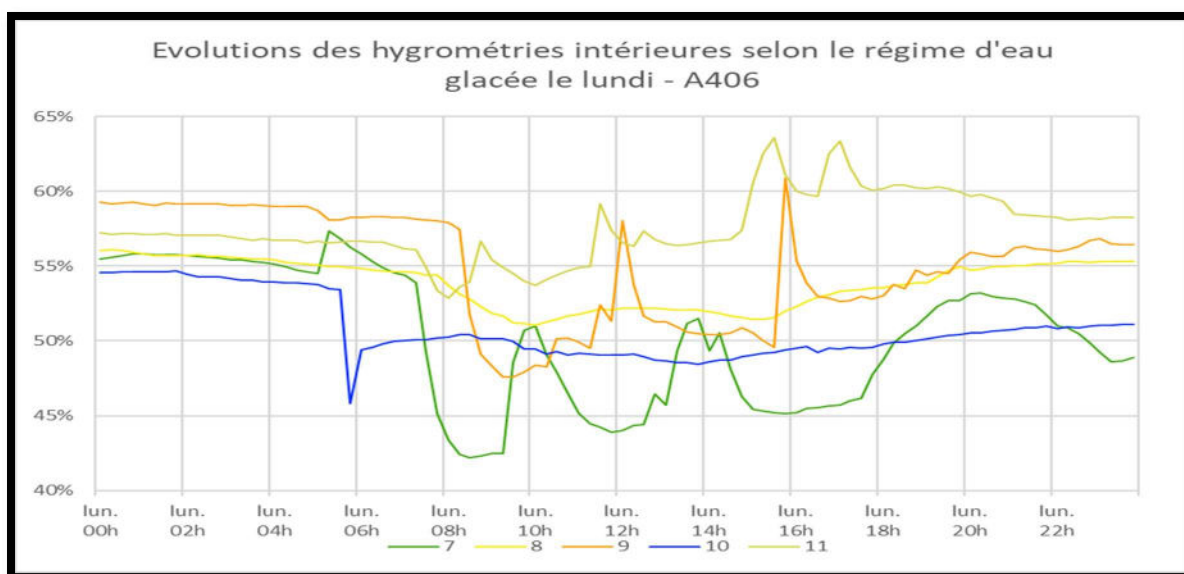
A noter que lundi de la semaine à 8°C et les lundi et mardi de la semaine à 10°C, le bureau était inoccupé. On constate une utilisation de la climatisation régulière mais pas tous les jours. La consigne de température est assez basse (parfois 25°C, parfois 24°C). Pour les jours où la climatisation est utilisée, elle fonctionne de 7h30 à 18h. La consigne intérieure est atteinte quel que soit le régime d'eau glacée aller.



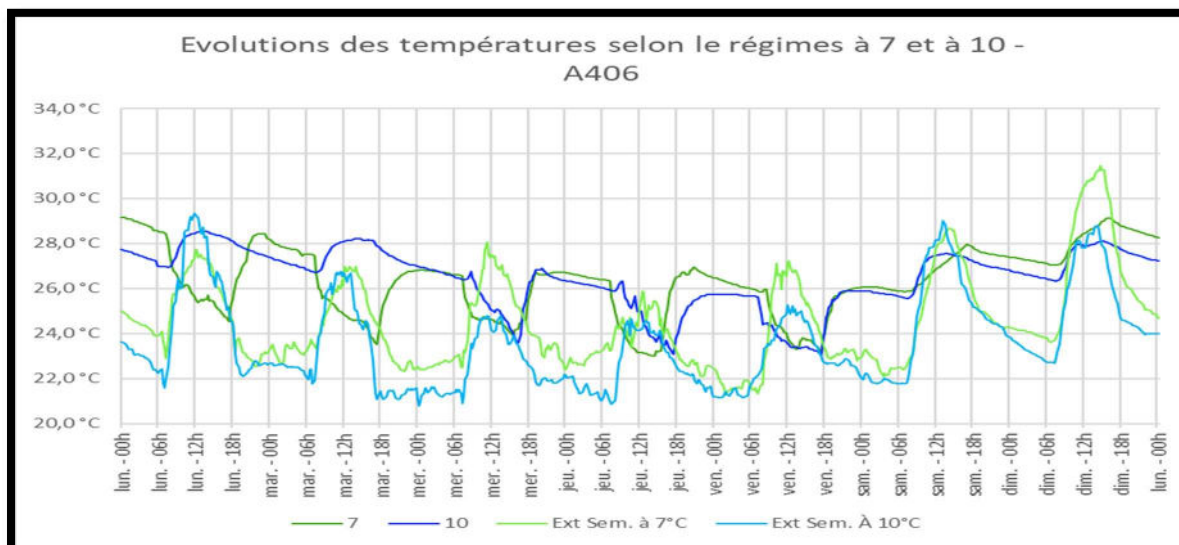
L'hygrométrie varie entre 45 et 65% en période de climatisation. Avec une température de consigne un peu plus basse (24 ou 25 °C), on constate une capacité supérieure de déshumidification du local. Cependant l'hygrométrie n'excède pas 70% la semaine de climatisation avec la boucle d'eau glacée à 12°C.



On constate l'usage de la climatisation les lundis pour les semaines à 7, 9 et 11°C. La consigne de température est obtenue quelque soit la température de la boucle d'eau glacée.

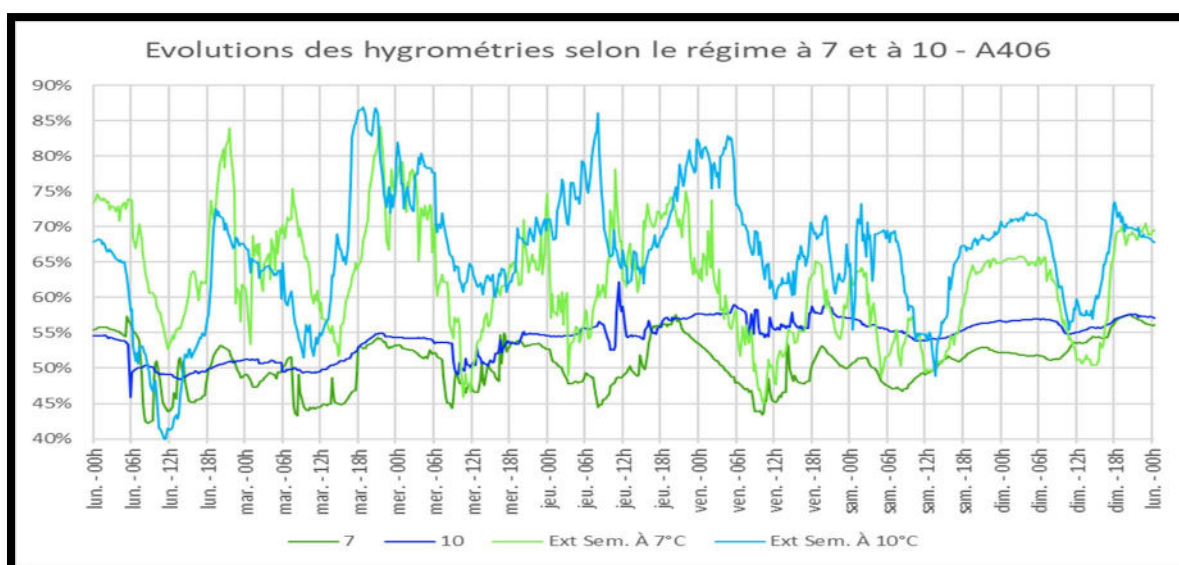


Lors des semaines à 7, 9 et 11°C, pendant le fonctionnement de la climatisation, l'hygrométrie oscille entre 42 et 63%.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. Lorsque la climatisation est utilisée, on n'observe pas de différence de capacité à atteindre la température de consigne malgré la différence de température de boucle d'eau glacée.

La température extérieure maximum en journée varie entre 24 et 29°C.

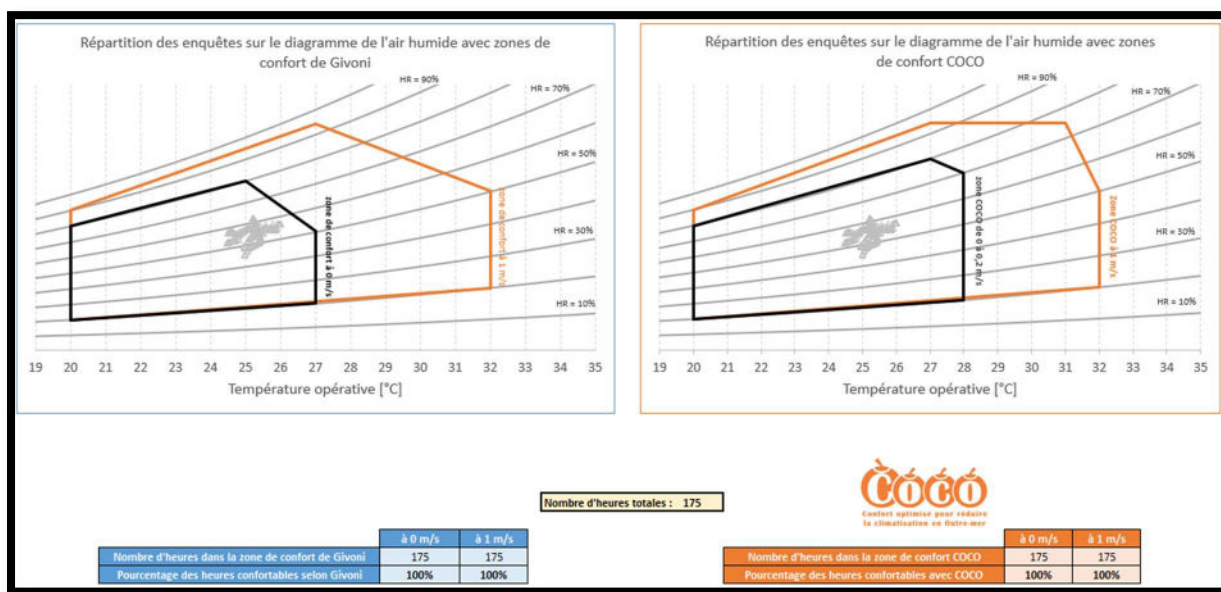


Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. L'hygrométrie extérieure est plus basse en journée que la nuit (quand la température baisse, l'hygrométrie augmente et inversement). On constate un taux d'hygrométrie entre 40 et 60 % en période de climatisation.

Conditions de confort intérieur du bureau A406 :

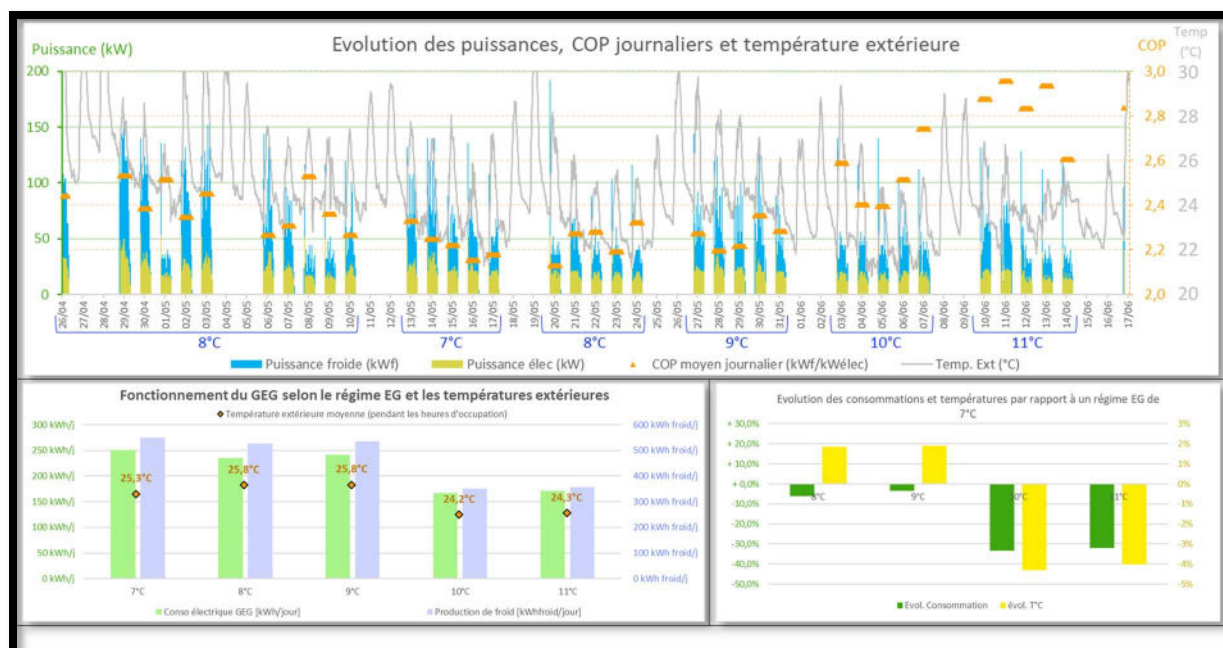
Nous vous proposons le diagramme pour la saison hiver, pour le bureau A406, lors de la semaine à 11°C pour vérifier la capacité d'obtenir les conditions de confort avec le régime d'eau glacée aller le plus élevé.

Semaine à 11°C



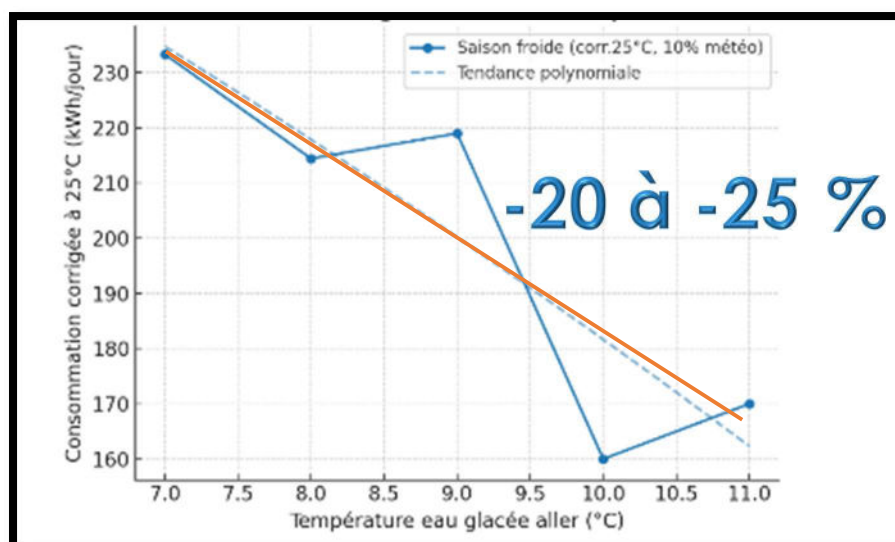
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période intermédiaire septembre/octobre.

Consommation du groupe de production d'eau glacée :



On constate un besoin de climatisation supérieur en cette période intermédiaire 2 par rapport à la saison intermédiaire 1. La climatisation a été plus utilisée malgré des températures extérieures en journée plus basse. Par contre les consignes de températures intérieures ont été baissées à 24 ou 25 °C.

Proposition des consommations du groupe d'eau glacée à température extérieure constante en retenant la température de 25°C.



Nous constatons sur ce graphique, à température extérieure constante, une évolution à la baisse des consommations au fur et à mesure que la température de boucle d'eau glacée est augmentée. Nous identifions une baisse de 20 à 25% sur les semaines de 7 à 11°C soit environ 5 à 6 % par degré d'augmentation de la boucle d'eau glacée.

3.4.1.6 Conclusion essais et mesures sur le BEO

Les trois périodes de mesures réalisés sur le bâtiment BEO de l'Université du Moufia nous apportent des enseignements à plusieurs niveaux :

1. En période chaude, en février/mars, nous confirmons que les **conditions intérieures de confort** pour une zone géographique tropicale sont **atteintes quel que soit le régime d'eau glacée** aller lors de nos essais : 7 à 12°C.
2. Lors des deux périodes où la climatisation a été utilisée (février/mars et septembre), le **gain énergétique** sur la production d'eau glacée est d'environ **4 à 5% par degré d'élévation de la température de la boucle d'eau glacée**.
3. Nous constatons que pour la période de mesures **de mai/juin 2024, la climatisation n'a pas été utilisée, l'usage des brasseurs d'air a permis d'obtenir les conditions intérieures de confort** pour une zone géographique tropicale.

3.4.2 Bâtiment logistique de l'EPSMR Ouest

3.4.2.1 *Présentation générale du site*

Le bâtiment logistique de l'EPSMR Ouest se situe à Saint Paul à l'ouest de l'île. Il a été construit en 2006. Il est constitué de deux bâtiments en R+1.

Il est équipé d'une **climatisation centralisée à eau glacée qui alimente le bâtiment de la logistique et les bâtiments d'unités d'hébergement.**

Environ 1200 m² sont climatisés.

Un groupe de production d'eau glacée de 154 kW froid est installé.

L'installation est équipée d'une GTC qui permet de suivre la production d'eau glacée.

Dans chaque local, il y a possibilité de commander la marche/arrêt de la climatisation et de choisir la vitesse de ventilation (PV/MV/GV). Il n'y a pas de thermostat donc aucune possibilité de gérer la température intérieure. Les ventilo-convecteurs sont équipés de vannes deux voies tout ou rien, cela implique que quand la climatisation est allumée la vanne s'ouvre entièrement et quand la climatisation est arrêtée la vanne se ferme complètement. La pompe générale ajuste le débit d'eau glacée en fonction de la pression dans le réseau.

L'EPSMR autorise le **fonctionnement de la climatisation dans les locaux en permanence.**

Nous avons sélectionné ce site car c'est un bâtiment du secteur Ouest (le plus contraignant au niveau des conditions extérieures), qui est bien suivi et dont l'occupation est régulière.

3.4.2.2 *Organisation des essais et des mesures :*

La GTC du site permet de relever notamment les points suivants :

- Comptage d'énergie du groupe de production d'eau glacée
- Comptage électrique du groupe de production d'eau glacée
- Température aller/retour du réseau d'eau glacée en sortie de groupe

En complément de ces équipements existants, nous avons installé des enregistreurs de Température/Hygrométrie dans 10 bureaux et un enregistreur en extérieur.

Nous étudions le bâtiment et avons décidé d'instrumenter les bureaux suivants avec les enregistreurs :

Bureau 2, bureau 3, bureau 4, bureau 8 et bureau 9.

Les bureaux ne sont pas équipés de brasseurs d'air, ne sont pas traversants.

Le choix des bureaux a été fait de façon à avoir un échantillon diversifié en fonction de l'étage, de l'orientation, de l'usage.

Ces équipements de suivi nous permettent de suivre les conditions intérieures et extérieures ainsi que les caractéristiques, les consommations de la production d'eau glacée pendant toute la période de nos essais.

Les capteurs utilisés sont de marque HOBO.

HOBO0571 MX1101 HOBO MX TEMP /RH LOGGER Enregistreur de température et humidité relative sans fil. Précision $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ HR. Communication sans fil via Bluetooth avec Apple IOS (Iphone, Ipad, Ipod-touch) ou ANDROID. Fonctionne avec l'application mobile gratuite HOBOMobile (à télécharger sur AppStore ou GooglePlay).



Les campagnes de Mesures :

Nous avons réalisé deux campagnes de mesure : une en saison intermédiaire et une en hiver.

Nous souhaitons faire une phase d'essais en été mais nous avons eu des complications sur l'installation (problèmes fonctionnels sur la production) qui ne nous a pas permis de la faire.

L'objectif des essais est double : en premier lieu vérifier la faisabilité d'élever la température de boucle d'eau tout en conservant le confort intérieur des usagers, pour cela nous avons vérifié que le couple température/hygrométrie des locaux reste bien dans les conditions du diagramme de confort. Dans un deuxième temps, mesurer les éventuelles économies de consommation d'énergie en élevant la température de la boucle d'eau glacée.

Les essais se déroulent suivant l'organisation suivante :

Semaine 1 : consigne température départ de boucle eau glacée : 7°C

Semaine 2 : consigne température départ de boucle eau glacée : 8°C

Semaine 3 : consigne température départ de boucle eau glacée : 9°C

Semaine 4 : consigne température départ de boucle eau glacée : 10°C

Semaine 5 : consigne température départ de boucle eau glacée : 11°C

Semaine 6 : consigne température départ de boucle eau glacée : 12°C

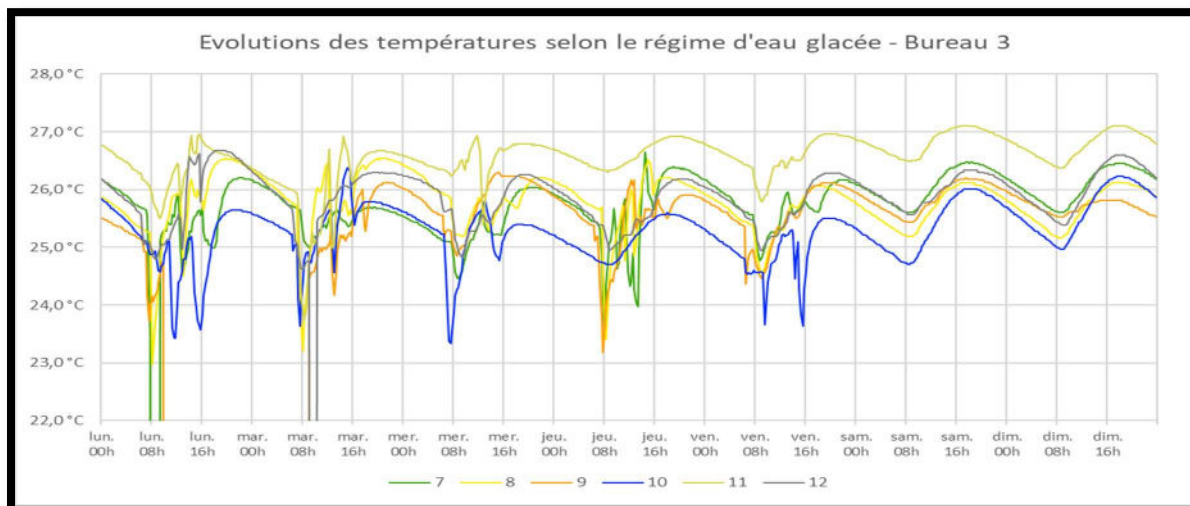
Nous mesurons les points suivants :

- Consommation électrique du groupe d'eau glacée
- Température aller de la boucle d'eau glacée
- Température et hygrométrie extérieure
- Température et Hygrométrie dans les locaux suivis

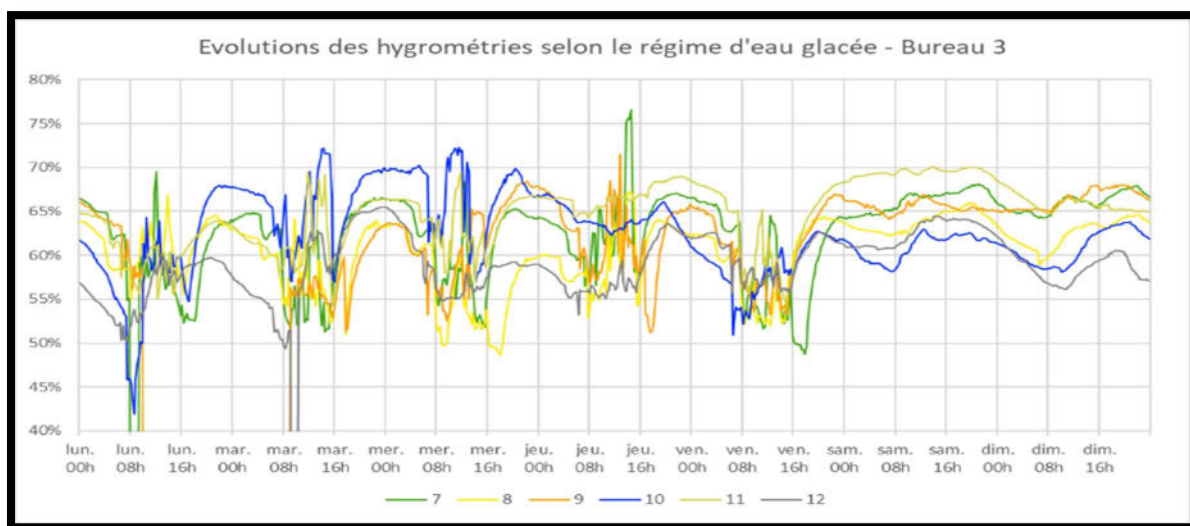
Nous avons traité toutes les mesures et données obtenus lors de ces mesures. Nous vous présentons pour trois bureaux représentatifs les évolutions des températures et des hygrométries en fonction de la température aller de la boucle d'eau glacée (un bureau dans le corps du rapport, et les autres en annexe). L'objectif étant de s'assurer que la température de consigne est atteinte et que le couple température hygrométrie des locaux reste dans le diagramme de confort.

3.4.2.3 Mesures en saison intermédiaire : 6 semaines du 7 avril au 16 mai 2025

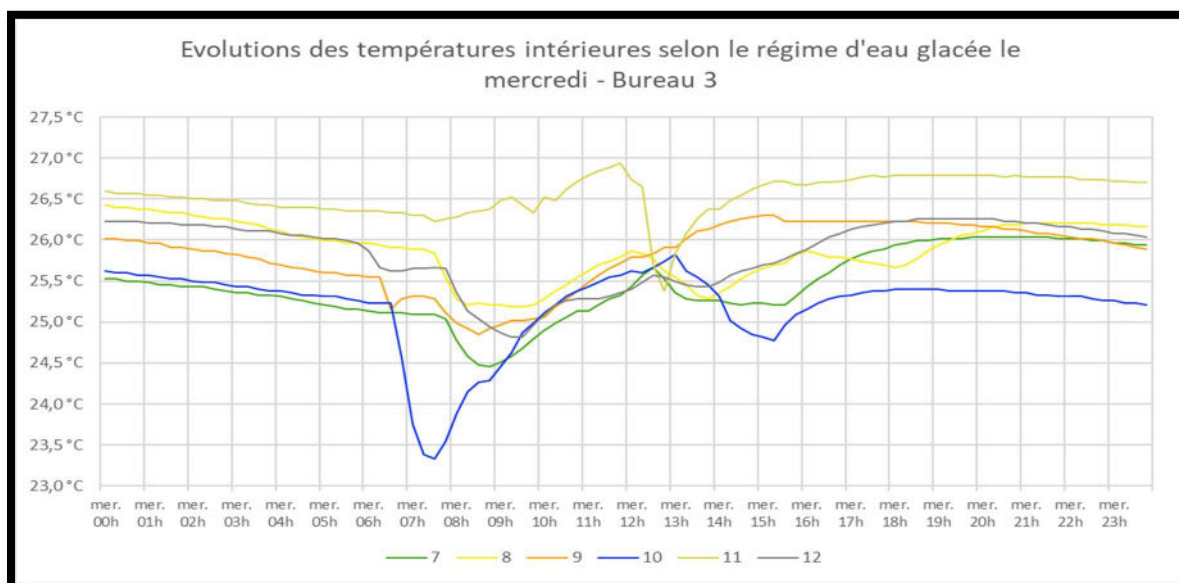
Bureau 3 :



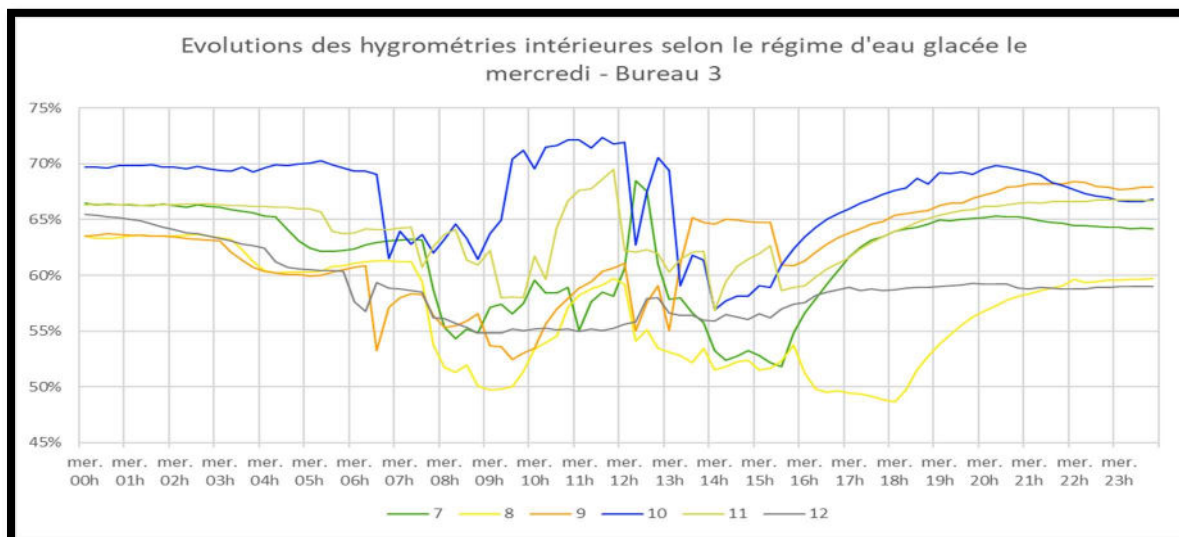
Le bureau est climatisé tous les jours 24h/24. Il n'y a pas de consigne de température intérieure. Mis à part la semaine à 11°C, les températures intérieures sont sensiblement équivalentes. On constate un maintien de température intérieure en journée variant entre 24 et 27°C.



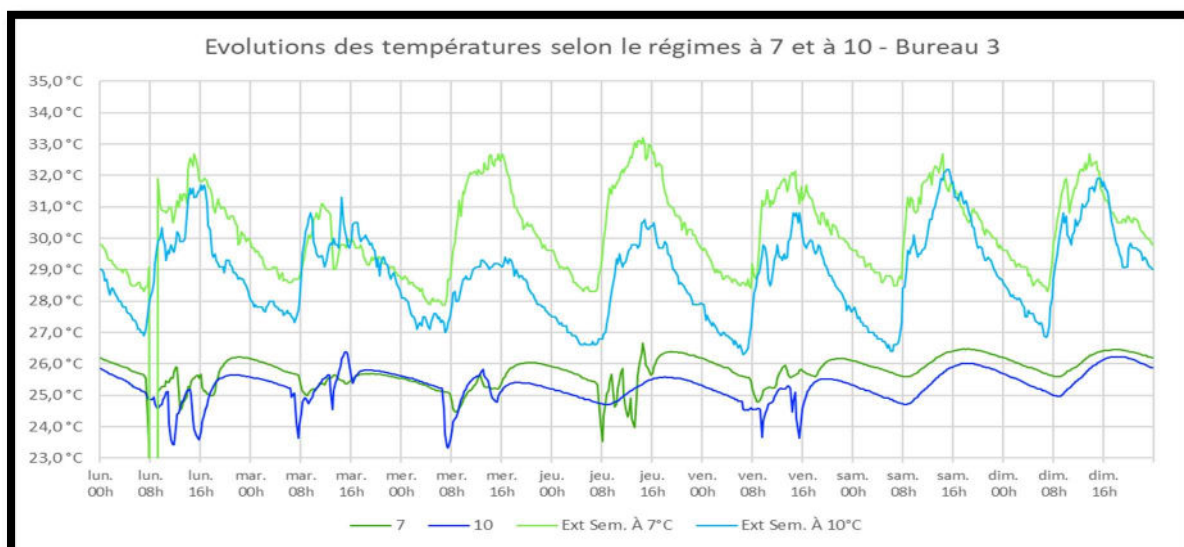
L'hygrométrie intérieure varie entre 50 et 75%, essentiellement entre 55 et 70%.



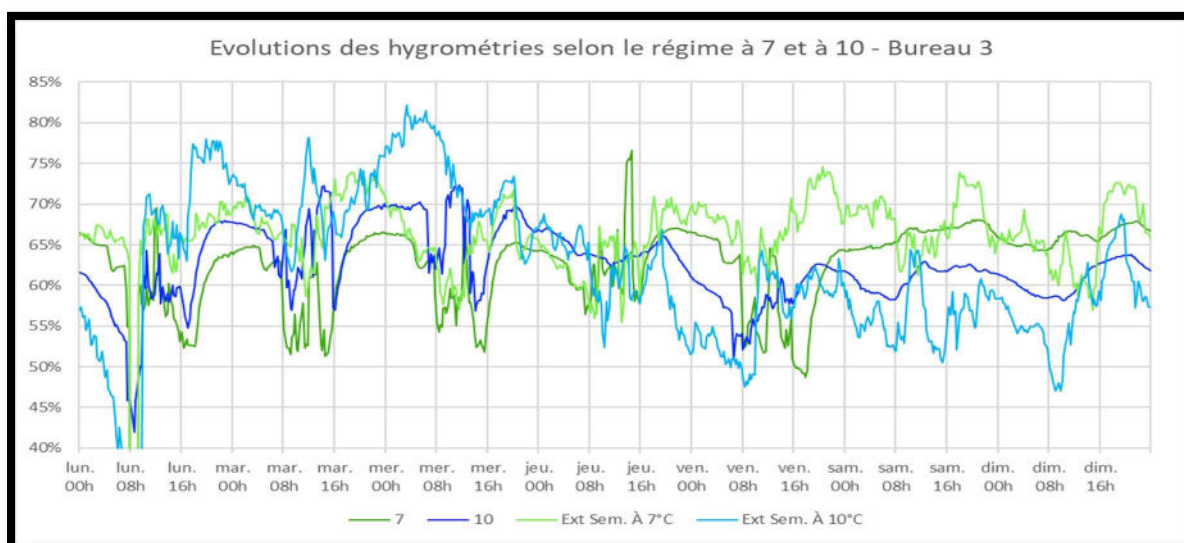
On constate pour les mercredis des utilisations de la climatisation diverses. La température intérieure oscille entre 25,5 et 26,5°C en période de non occupation. En début de journée, la climatisation est mise en marche entre 7 et 8h sauf pour la semaine à 11°C, puis semble être coupée à partir de 13/16h en fonction des semaines. Pour la semaine à 11°C, la climatisation a été mise en marche vers 12h.



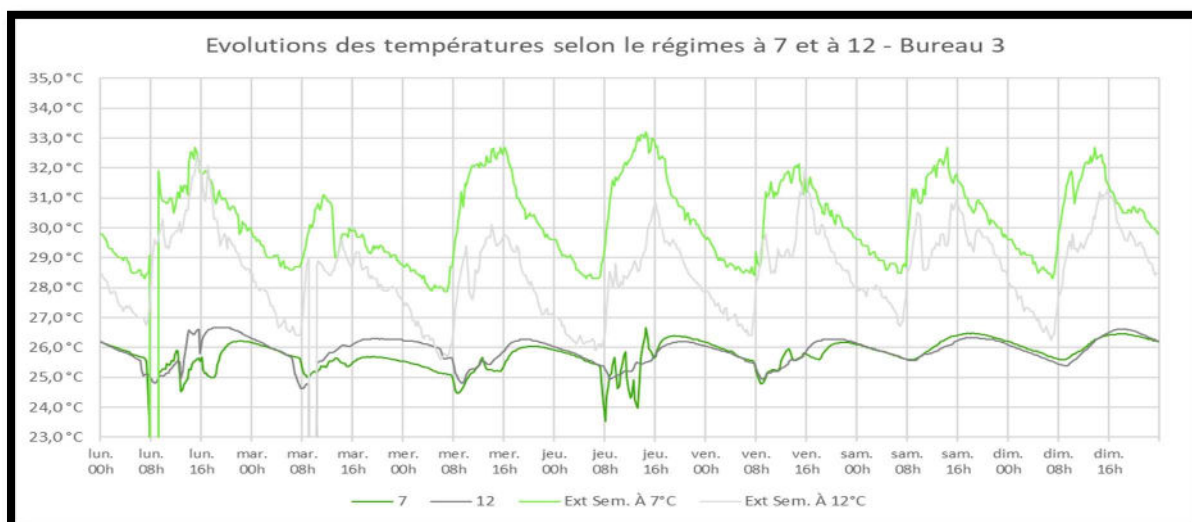
Pour ces mêmes mercredi, l'hygrométrie, en période de climatisation du bureau, varie de 50 à 70%.



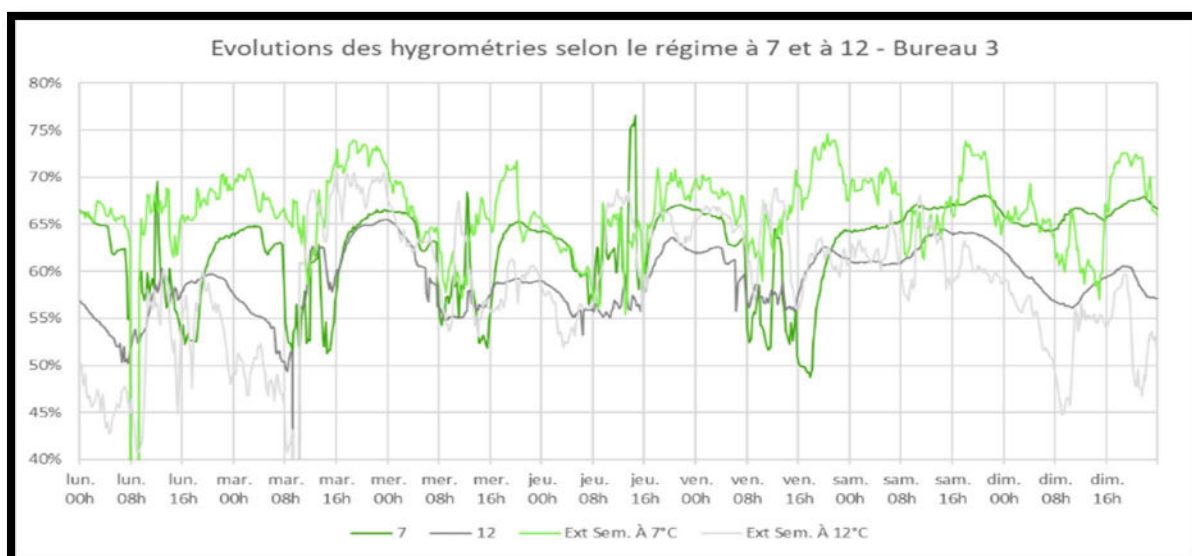
Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. Malgré une température extérieure élevée en journée (entre 30 et 33°C), on constate une température intérieure maintenue entre 23.5 et 26°C avec la même capacité quelque soit le régime d'eau glacée.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. En période de climatisation en journée, l'hygrométrie intérieure varie entre 50 et 75%.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 12°C. Malgré une température extérieure élevée en journée (entre 31 et 33°C), on constate une température intérieure maintenue entre 24 et 26°C avec la même capacité quelque soit le régime d'eau glacée.

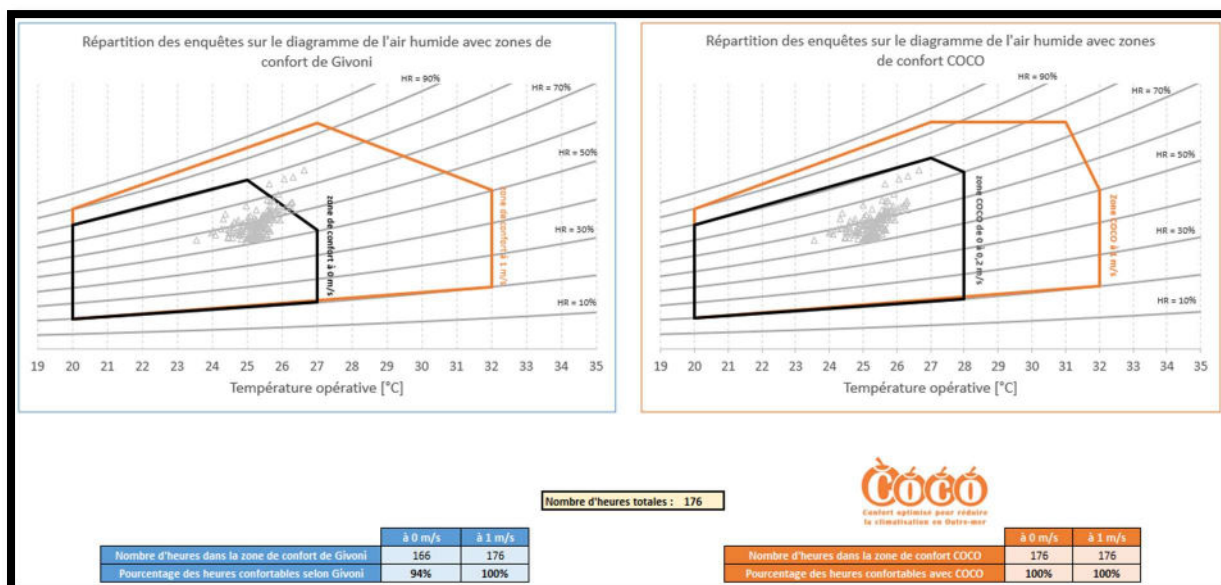


Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 12°C. En période de climatisation en journée, l'hygrométrie intérieure varie entre 50 et 75%.

Conditions de confort intérieur du bureau 3 :

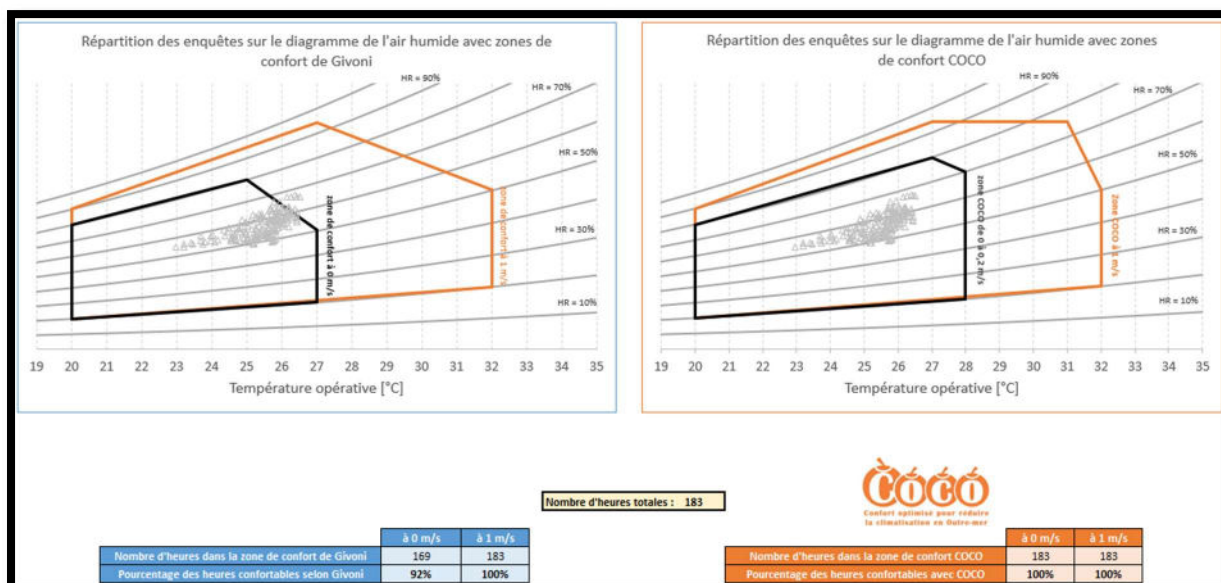
Nous vous proposons les diagrammes pour la saison intermédiaire, pour le bureau 3, lors des semaines de 7 à 12°C.

Semaine à 7 °C



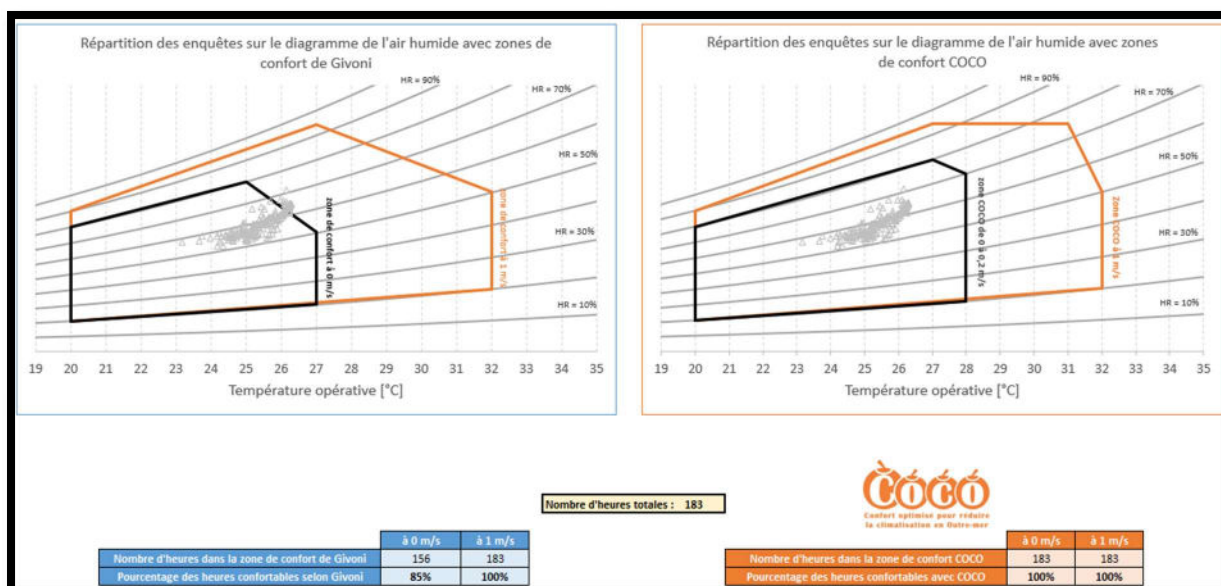
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 8 °C



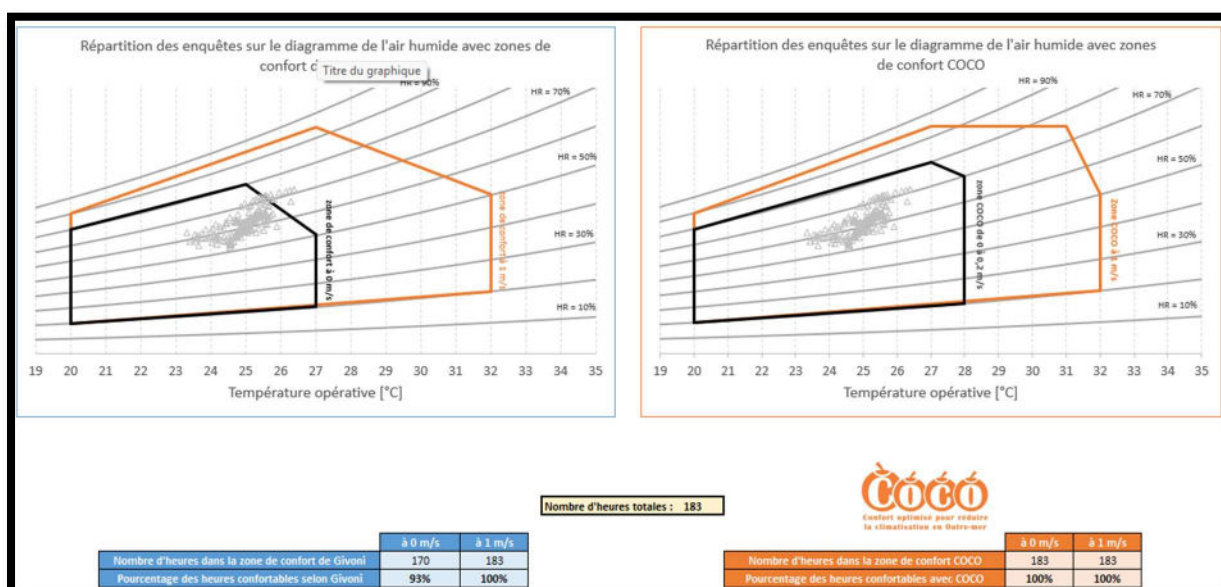
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 9 °C



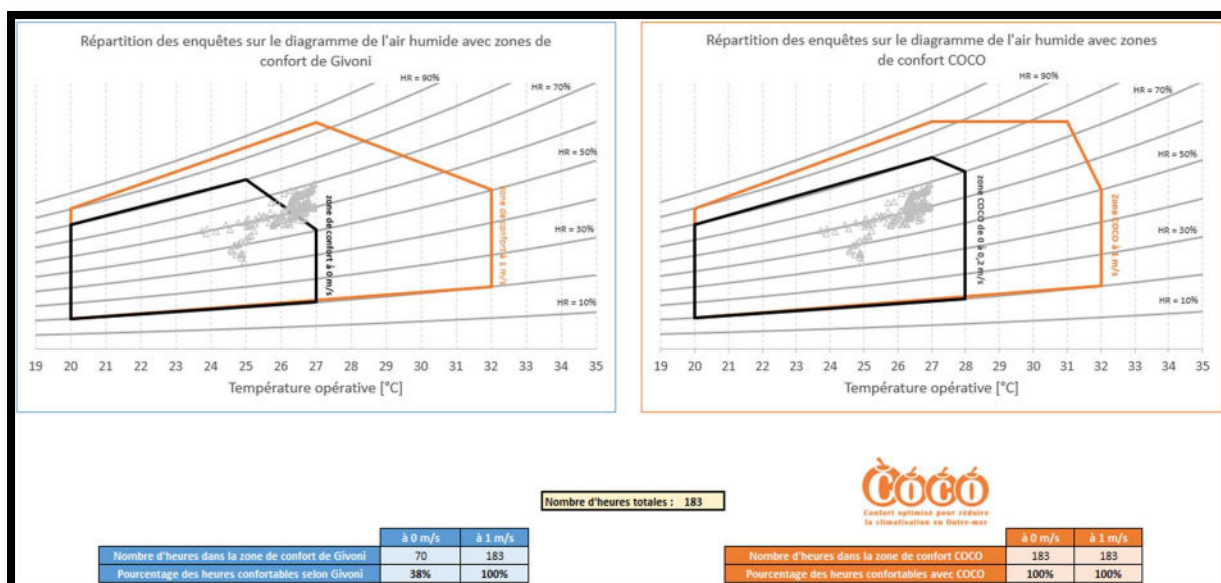
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 10 °C



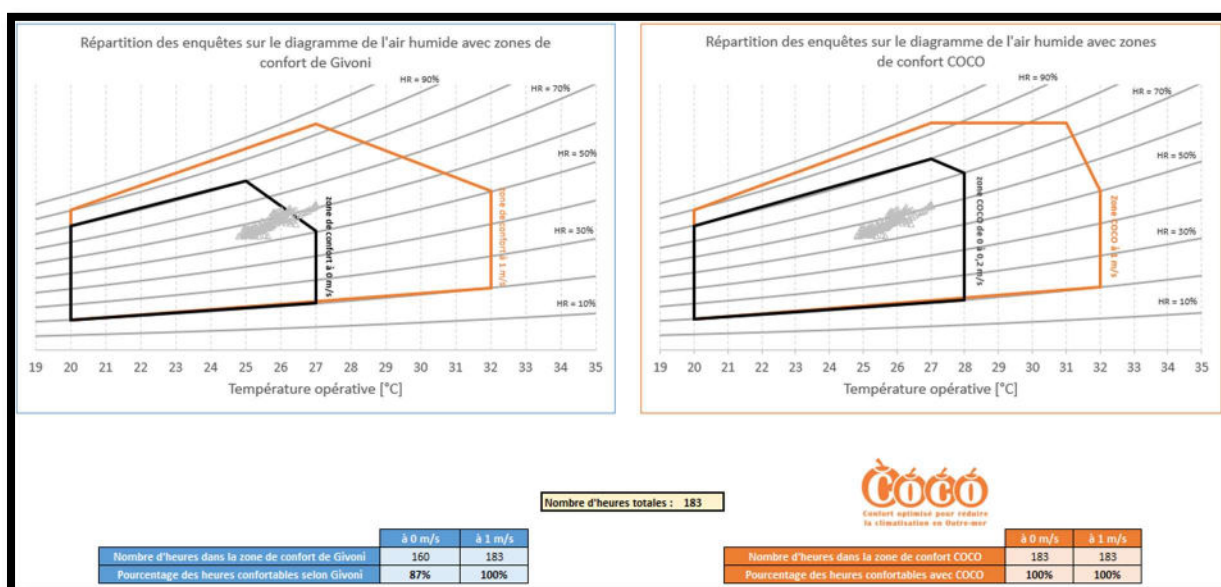
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 11 °C



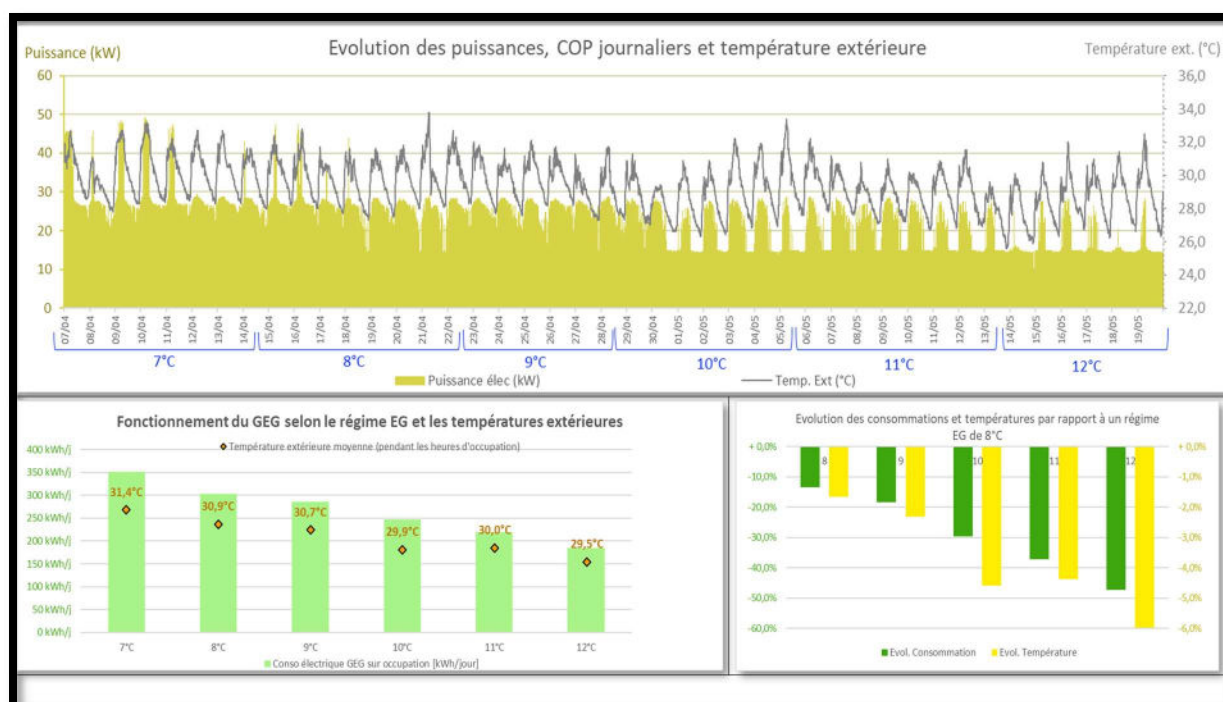
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 12 °C



La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

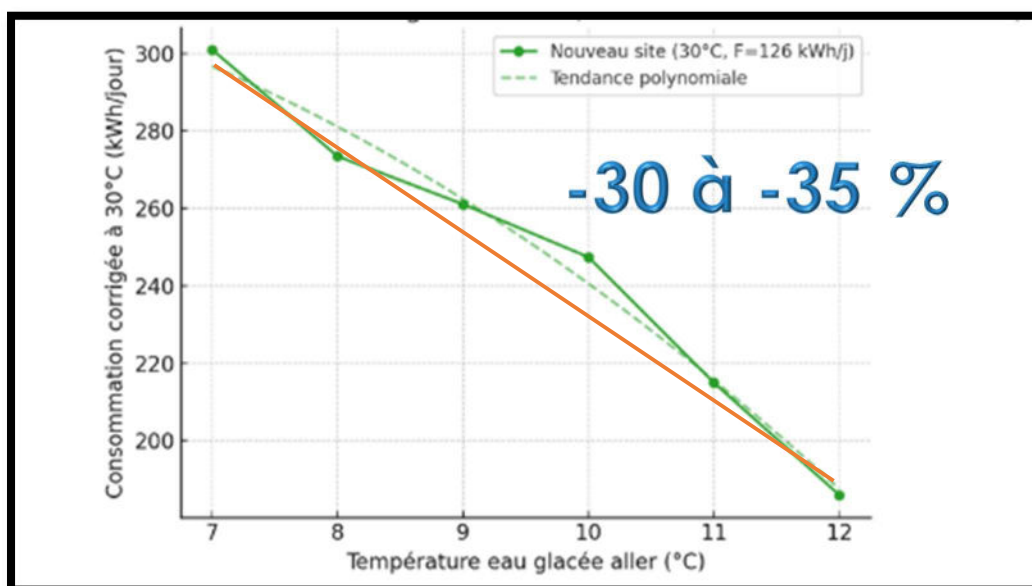
Consommation du groupe de production d'eau glacée :



A noter que nous n'avons pas les valeurs de besoins froid. Cela modifie légèrement le visuel des graphes. Cela n'empêche néanmoins pas l'analyse.

Il y a une réelle baisse de consommation électrique au niveau de la production d'eau glacée : environ 40% entre 7 et 12°C pour la température de boucle. On le constate aussi bien sur le premier graphe avec un appel de puissance qui diminue que sur le deuxième graphe. La température extérieure baisse sensiblement chaque semaine. Ces données sont d'autant plus probantes que la production d'eau glacée alimente plusieurs bâtiments dont des unités d'hébergement qui sont climatisées et occupées en permanence.

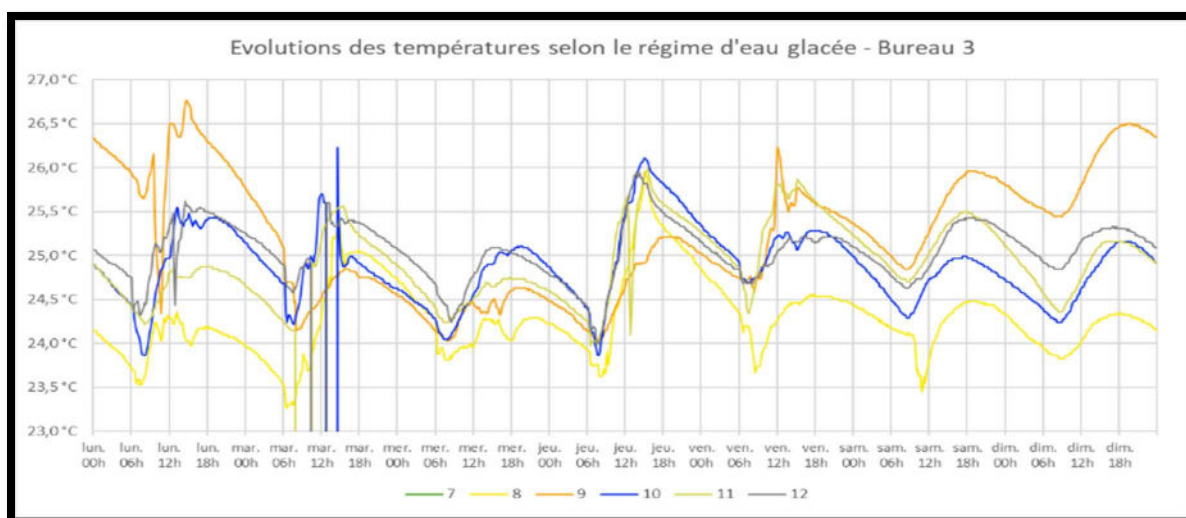
Proposition des consommations du groupe d'eau glacée à température extérieure constante de 30°C.



Nous constatons sur ce graphique, à température extérieure constante de 30°C, une évolution à la baisse des consommations au fur et à mesure que la température de boucle d'eau glacée est augmentée. Nous identifions une baisse de 30 à 35% sur les semaines de 7 à 12°C soit environ 6 à 7 % par degré d'augmentation de la boucle d'eau glacée.

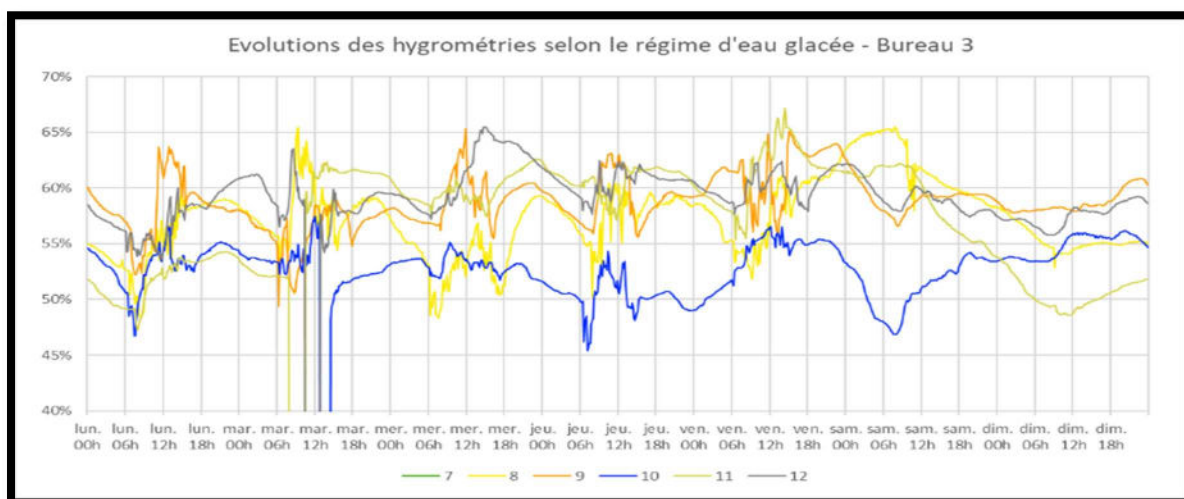
3.4.2.4 Mesures en hiver : 6 semaines du 2 septembre au 7 octobre 2024

Bureau 3 :

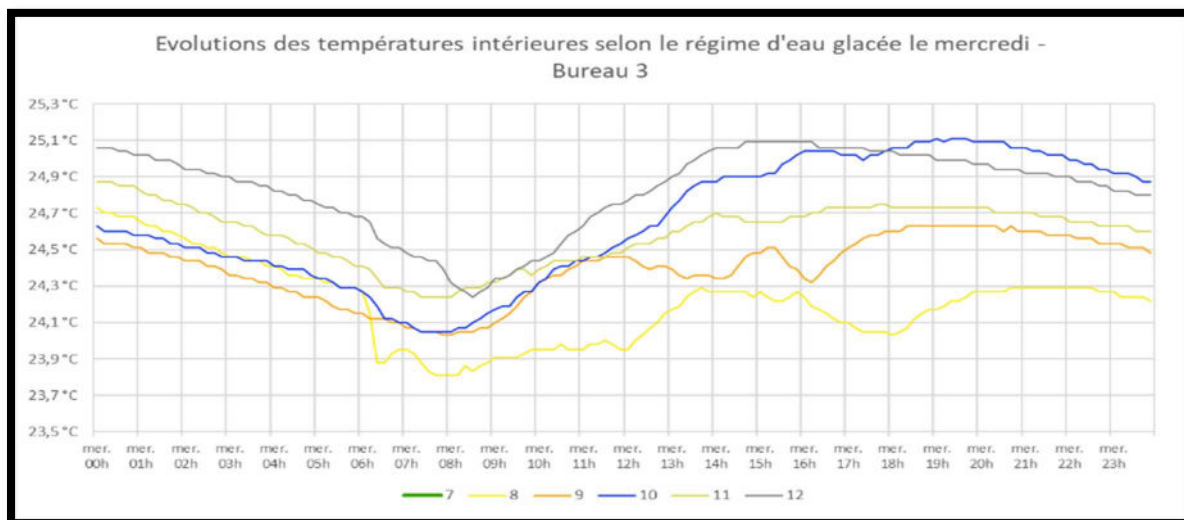


A noter des problèmes de mesure (avec des pics apparents) les lundi et mardi matin. Il semble que la climatisation n'a pas été utilisée pendant cette période. On constate

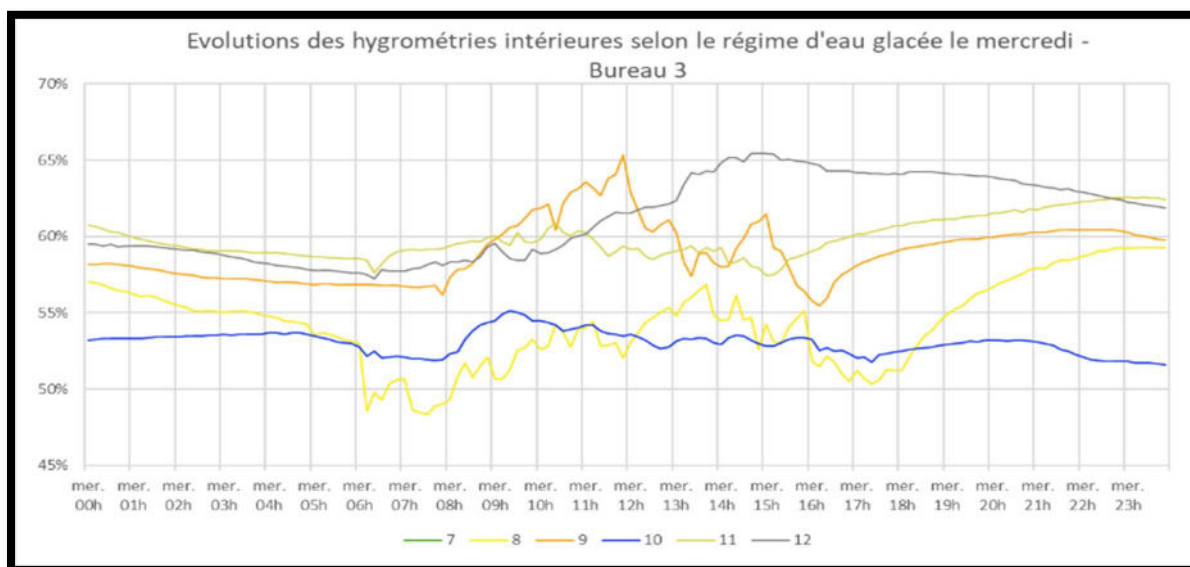
un maintien de température intérieure en journée variant entre 23.5 et 26°C. En semaine on constate une remontée de la température entre 8 et 16h avec l'apport par les occupants et les apports externes, puis entre 16h et 8h, la température descend progressivement. Le phénomène est plus rapide en semaine que le week end, cela est dû aux ouvertures de portes et aux apports internes inexistants le week-end.



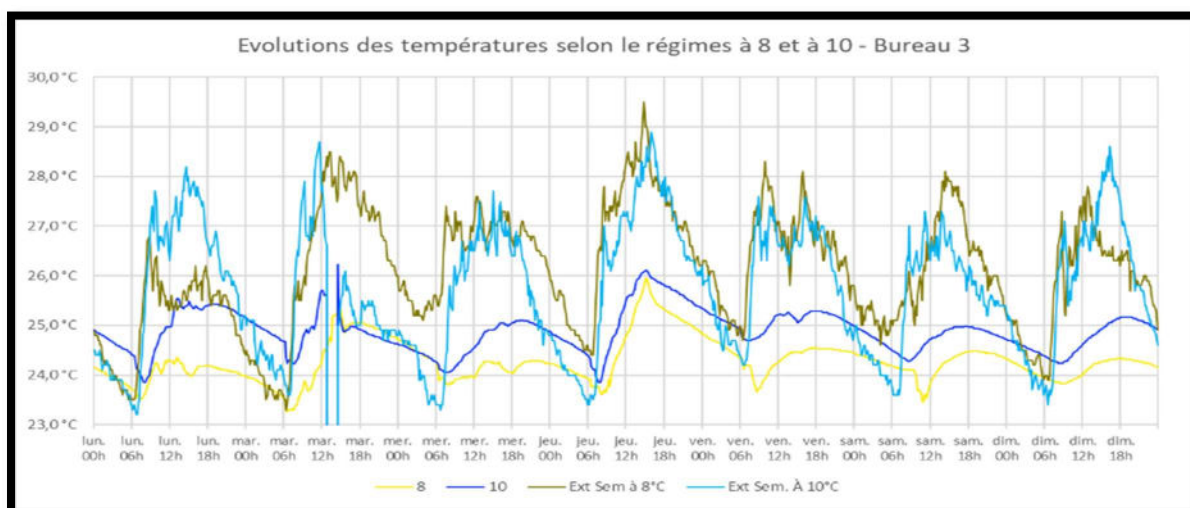
L'hygrométrie intérieure varie en journée entre 50 et 65%.



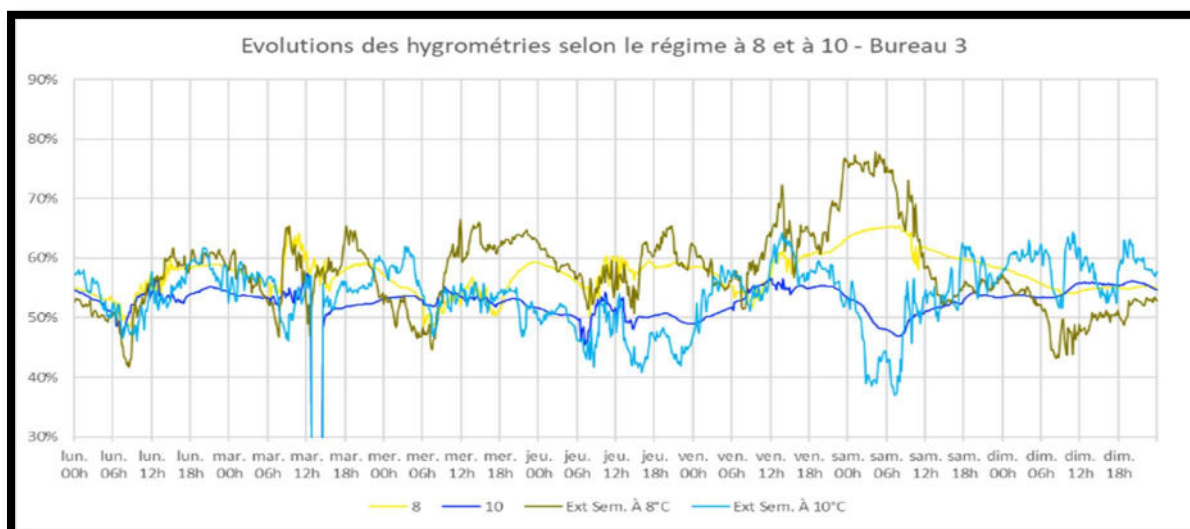
Les mercredis, les températures varient selon la tendance de la température extérieure et des apports. Elle se maintiennent entre 24 et 25°C.



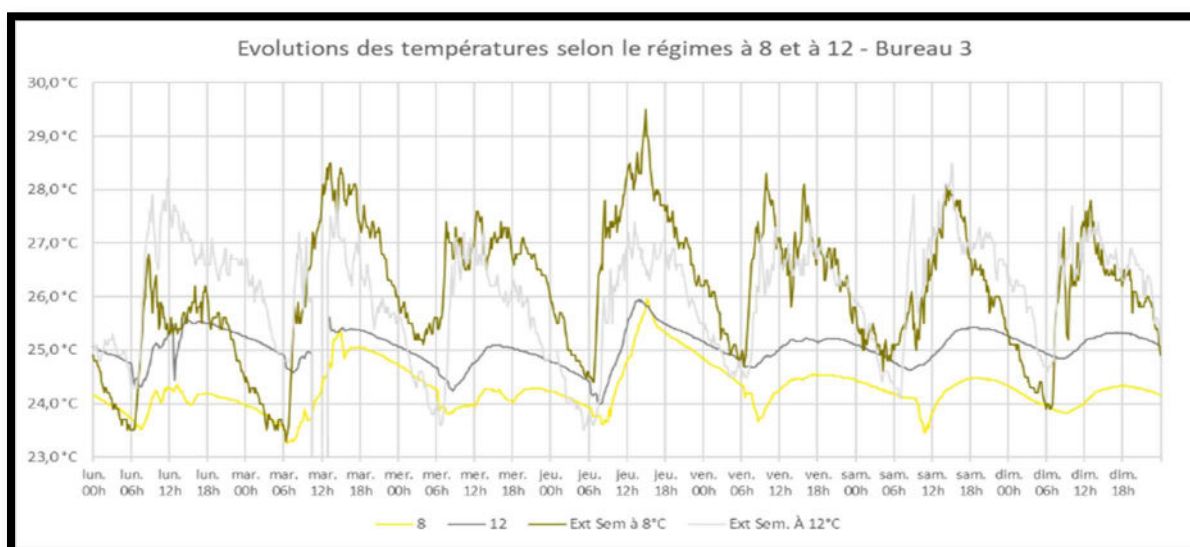
De la même façon, les mercredi, l'hygrométrie évolue entre 50 et 65% en journée.



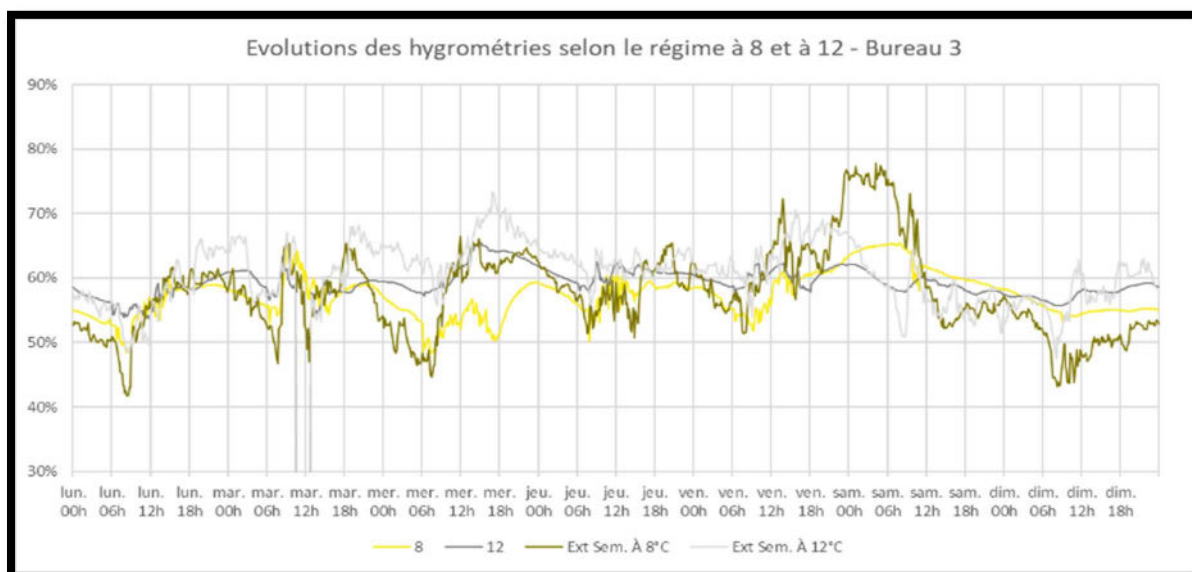
Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 8 et à 10°C. En journée, la température extérieure maximum est entre 26 et 29°C. La température intérieure suit la tendance de la température extérieure et se maintient entre 23.5 et 26 °C.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 8 et à 10°C. L'hygrométrie intérieure varie en journée entre 50 et 65 %.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 8 et à 12°C. En journée, la température extérieure maximum est entre 26 et 29°C. La température intérieure suit la tendance de la température extérieure et se maintient entre 23.5 et 26 °C.

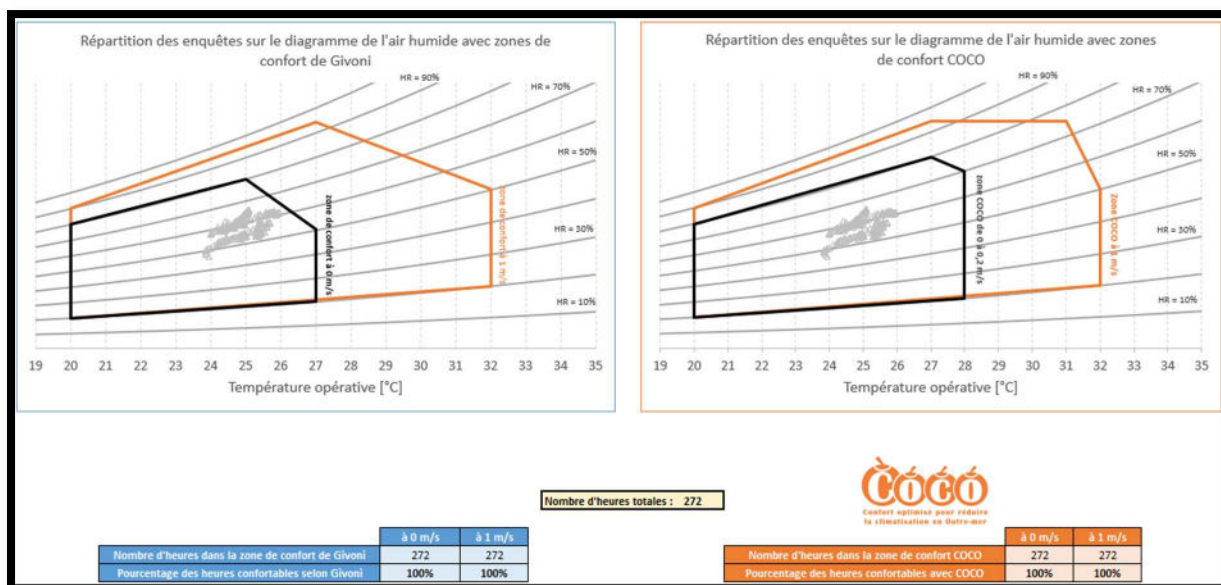


Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 8 et à 12°C. L'hygrométrie intérieure varie en journée entre 50 et 65 %.

Conditions de confort intérieur du bureau 3 :

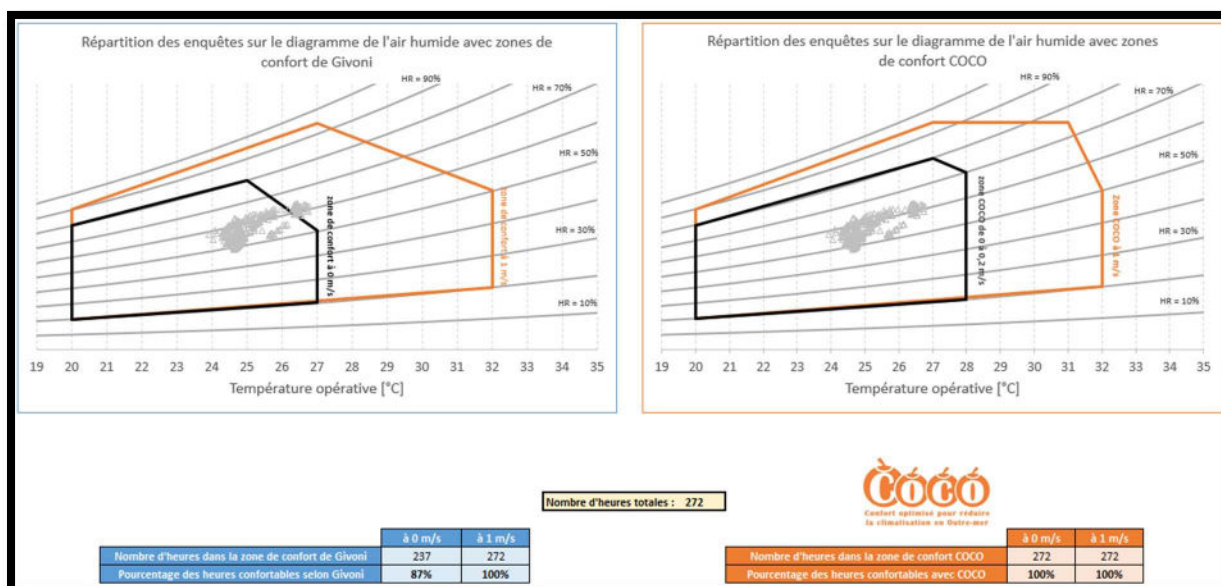
Nous vous proposons les diagrammes pour la saison intermédiaire, pour le bureau 3, lors des semaines à 8, 10 et 12°C.

Semaine à 8 °C



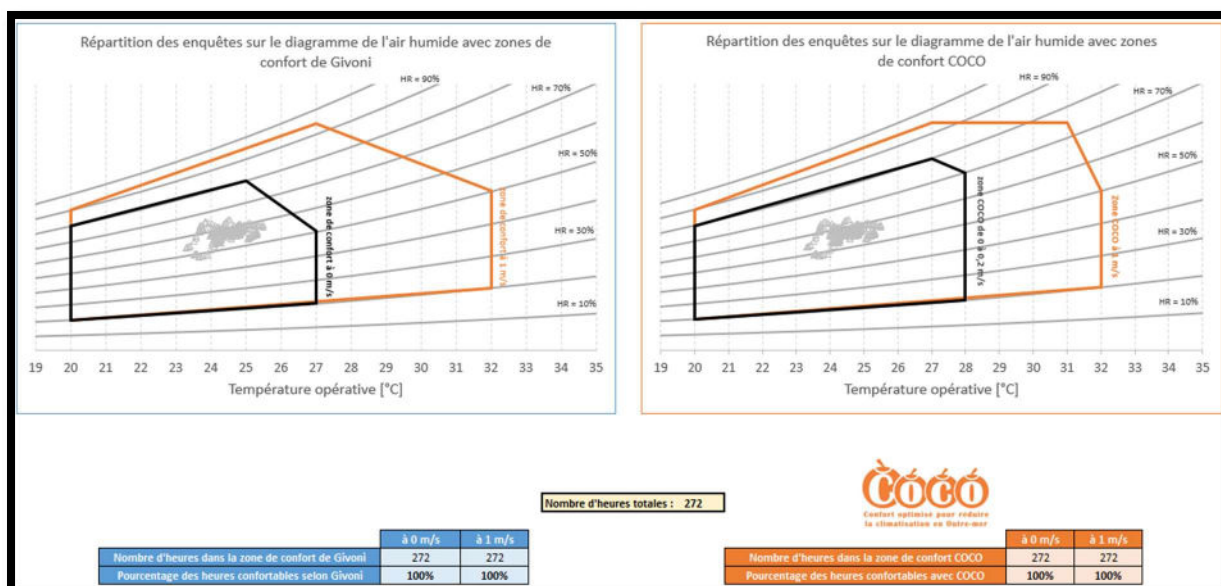
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 10 °C



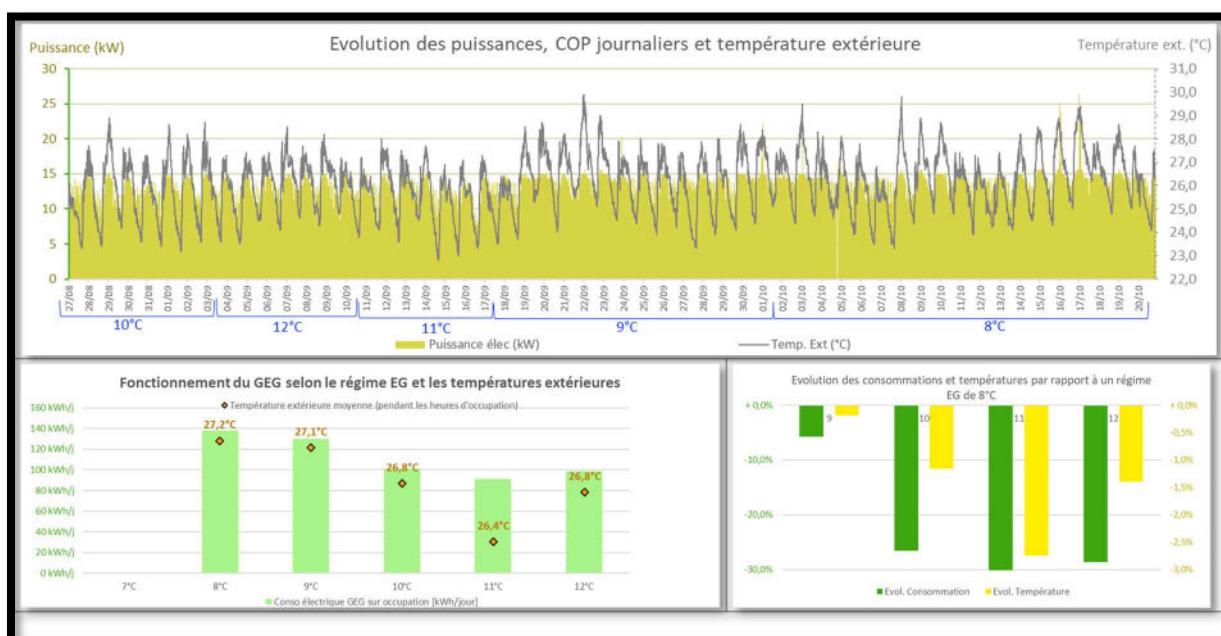
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 12 °C



La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Consommation du groupe de production d'eau glacée :

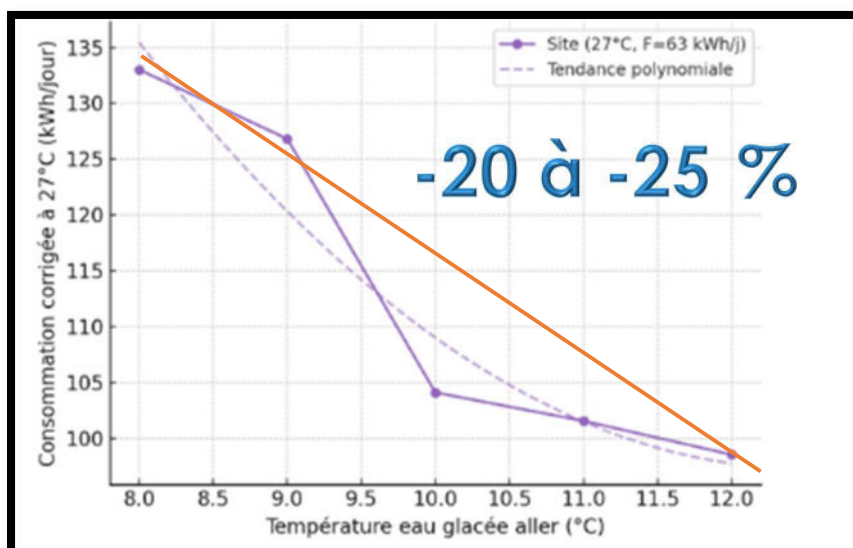


A noter que nous n'avons pas les valeurs de besoins froid. Cela modifie légèrement le visuel des graphes. Cela n'empêche néanmoins pas l'analyse.

Nous constatons une consommation électrique de la production d'eau glacée. Cela est dû au fait que les unités d'hébergement étaient climatisées d'une part et au pompage et aux déperditions en ligne d'autre part. Il y a une réelle baisse de consommation électrique au niveau de la production d'eau glacée : environ 40%

entre 8 et 12°C pour la température de boucle. La température extérieure baisse légèrement chaque semaine.

Proposition des consommations du groupe d'eau glacée à température extérieure constante de 27°C.



Nous constatons sur ce graphique, à température extérieure constante de 27°C, une évolution à la baisse des consommations au fur et à mesure que la température de boucle d'eau glacée est augmentée. Nous identifions une baisse de 20 à 25% sur les semaines de 7 à 12°C soit environ 4 à 5 % par degré d'augmentation de la boucle d'eau glacée.

3.4.2.5 Conclusion essais et mesures sur l'EPSMR

Les deux périodes de mesures réalisés sur le bâtiment logistique de l'EPSMR Ouest de St Paul nous apportent des enseignements à plusieurs niveaux :

1. En période intermédiaire, nous confirmons que **les conditions intérieures de confort** pour une zone géographique tropicale **sont atteintes quel que soit le régime d'eau glacée aller lors de nos essais : 7 à 12°C.**
2. Lors des deux périodes de mesures, le **gain énergétique** sur la production d'eau glacée est d'environ **4 à 7 % par degré d'élévation de la température de la boucle d'eau glacée.**
3. Nous constatons que pour la **période de mesures d'hiver**, la **climatisation** dans le bâtiment logistique **n'a pas été utilisée et les conditions intérieures de confort pour une zone géographique tropicale sont atteintes.**

3.5 Phase 4 - Essais et mesures sur les sites témoins de La Guyane

3.5.1 Bâtiment A de l'Université de Cayenne



3.5.1.1 *Présentation générale du site*

Le bâtiment administratif de l'Université de Cayenne se situe à Cayenne en Guyane. Il a été construit en 2009. Il est constitué d'un bâtiment en R+2.

Il est équipé d'une climatisation centralisée à eau glacée.

Environ 1770 m² sont climatisés.

Un groupe de production d'eau glacée de 163 kW froid est installé.

L'installation est équipée d'une GTC qui permet de suivre l'installation.



La **consigne de température dans les locaux est fixée localement grâce aux thermostats**. Pas de contrôle d'une température minimum.

L'Université autorise le **fonctionnement de la climatisation sur horloge au niveau de la production**.

Nous avons sélectionné ce site car c'est un bâtiment en Guyane (territoire ultramarin le plus contraignant au niveau des conditions extérieures température et hygrométrie), qu'il est suivi et piloté au niveau de l'installation de la climatisation et que l'occupation est régulière.

3.5.1.2 Organisation des essais et des mesures :

La GTC du site permet de relever notamment les points suivants :

- Comptage d'énergie du groupe de production d'eau glacée
- Comptage électrique du groupe de production d'eau glacée
- Température aller/retour du réseau d'eau glacée en sortie de groupe
- Pour chaque bureau, les températures de consigne sont gérées par les usagers.



En complément de ces équipements existants, nous avons installé des enregistreurs de Température/Hygrométrie dans 9 bureaux et une salle de réunion ainsi qu'un enregistreur en extérieur.

Nous étudions le bâtiment A et avons décidé d'instrumenter les bureaux suivants avec les enregistreurs :

Au premier étage :

- B.3.8
- B.3.7
- B.3.11
- D.1.2 (salle de réunion)

Au 2^{ème} étage :

- E.1.4
- E.1.2
- E.4.2
- E.3.6
- F1.1.A
- F1.1.E



enregistreur suspendu dans le bureau

Pour les relevés extérieurs : RdC Ouest local générateur

Le choix des bureaux a été fait de façon à avoir un échantillon diversifié en fonction de l'étage, de l'orientation, de l'usage.

Ces équipements de suivi nous permettent de suivre les conditions intérieures et extérieures ainsi que les caractéristiques, les consommations de la production d'eau glacée pendant toute la période de nos essais.

Les capteurs utilisés sont de marque HOBO.

HOBO0571 MX1101 HOBO MX TEMP /RH LOGGER Enregistreur de température et humidité relative sans fil. Précision $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$, $\pm 2\%$ HR. Communication sans fil via Bluetooth avec Apple IOS (Iphone, Ipad, Ipod-touch) ou ANDROID. Fonctionne avec l'application mobile gratuite HOBOMobile (à télécharger sur AppStore ou GooglePlay).



Les campagnes de Mesures :

Nous avons réalisé deux campagnes de mesure : une en saison sèche et une en saison des pluies.

Nous souhaitons faire une phase d'essais en été mais nous avons eu des complications sur l'installation qui ne nous a pas permis de la faire.

L'objectif des essais étant double : en premier temps de vérifier la faisabilité d'élever la température de boucle d'eau tout en conservant le confort intérieur des usagers, pour cela nous avons vérifié que le couple température/hygrométrie des locaux reste bien dans les conditions du diagramme de confort. En un deuxième temps, mesurer les éventuelles économies de consommation d'énergie en élevant la température de la boucle d'eau glacée.

Les essais se déroulent suivant l'organisation suivante :

Semaine 1 : consigne température départ de boucle eau glacée : 7°C

Semaine 2 : consigne température départ de boucle eau glacée : 8°C

Semaine 3 : consigne température départ de boucle eau glacée : 9°C

Semaine 4 : consigne température départ de boucle eau glacée : 10°C

Semaine 5 : consigne température départ de boucle eau glacée : 11°C

Semaine 6 : consigne température départ de boucle eau glacée : 12°C

Nous mesurons les points suivants :

- Consommation frigorifique du groupe d'eau glacée
- Consommation électrique du groupe d'eau glacée
- Température aller de la boucle d'eau glacée
- Température et hygrométrie extérieure
- Température et Hygrométrie dans les locaux suivis

Nous devons ici noter les difficultés rencontrées par le système de climatisation et sa GTB durant les phases d'expérimentation à différentes périodes :

- Défauts de communications entre :
 - o Compteur électrique et la GTB
 - o Compteur de frigories et la GTB
- Pertes de données de frigories
- Défaut d'enregistrement des données par la GTB
- Pompe d'eau glacée :
 - o La pompe de l'eau glacée est arrêté la nuit depuis le 04/11/24. Elle n'a pas fonctionné la semaine du 28/10/24 au 03/11/24.
 - o Panne partielle de la pompe d'eau glacée (défaut de roulement) ayant nécessité des démarrages et extinctions manuelles pour permettre un fonctionnement en semaine de 8h à 17h.

Nous avons traité toutes les mesures et données obtenus lors de ces la période d'expérimentation.

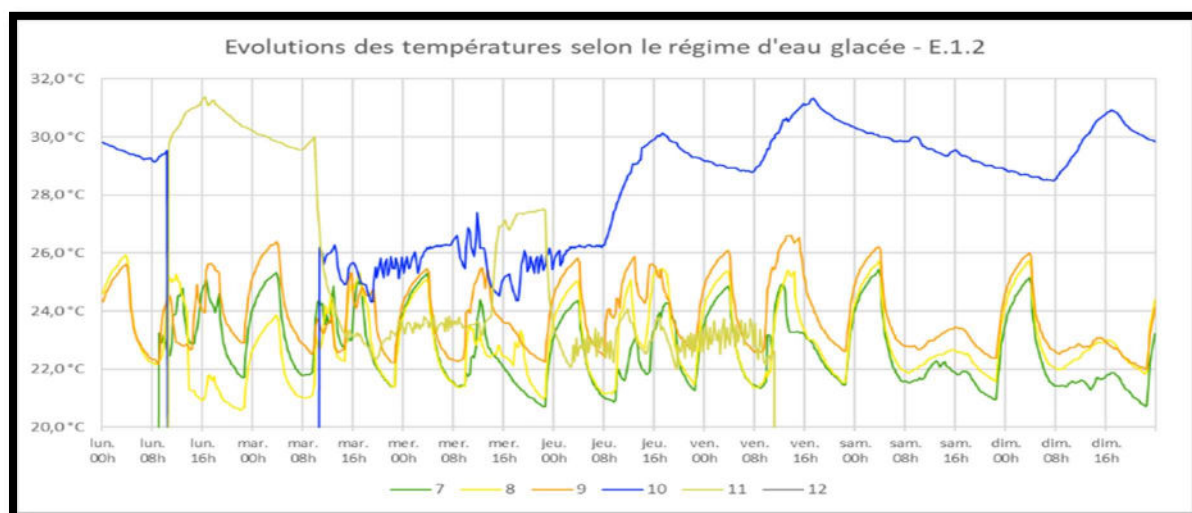
Les difficultés de fonctionnement rencontrées par l'installation a contraint les membres de l'équipe chargée de l'analyse des données à sélectionner les données plus fiables.

Ainsi nous vous présentons pour trois bureaux représentatifs les évolutions des températures et des hygrométries en fonction de la température aller de la boucle d'eau glacée. L'objectif étant de s'assurer que la température de consigne est atteinte et que le couple température hygrométrie des locaux reste dans le diagramme de confort.

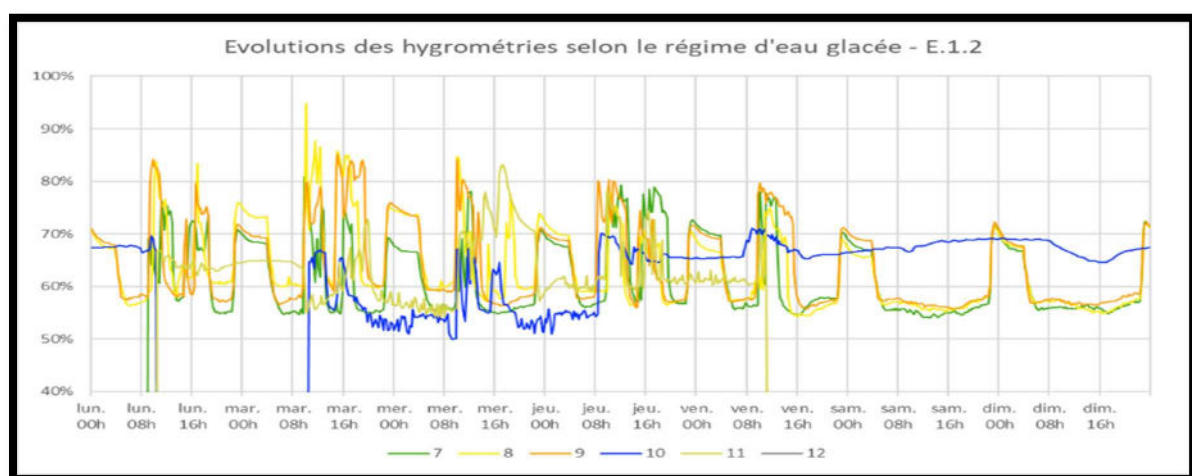
3.5.1.3 Mesures en saison sèche : janvier à mars

Bureau E.1.2 :

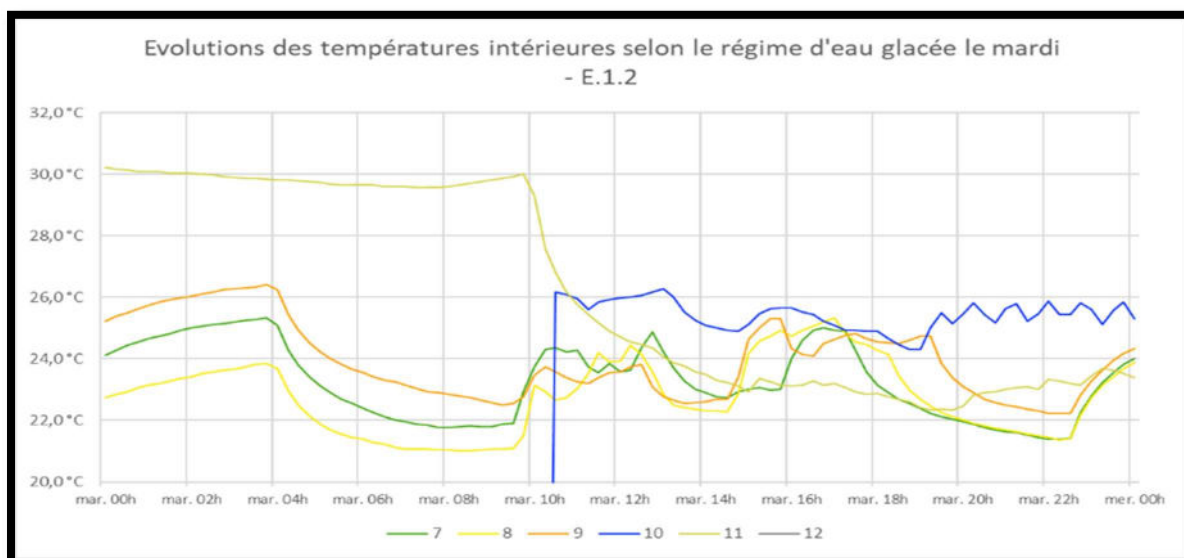
Il est à noter que l'utilisateur de ce bureau laisse régulièrement sa porte ouverte, laissant ainsi s'échapper l'air froid produit par les ventilo-convecteurs présents dans son bureau.



On constate que le bureau est climatisé tous les jours de 4h à 22h30. La consigne de température intérieure 22 ou 23°C est régulièrement atteinte vers 8h puis la charge interne (occupants, apports solaires) fait remonter la température jusqu'à environ 14h. La climatisation permet de redescendre la température à la consigne.

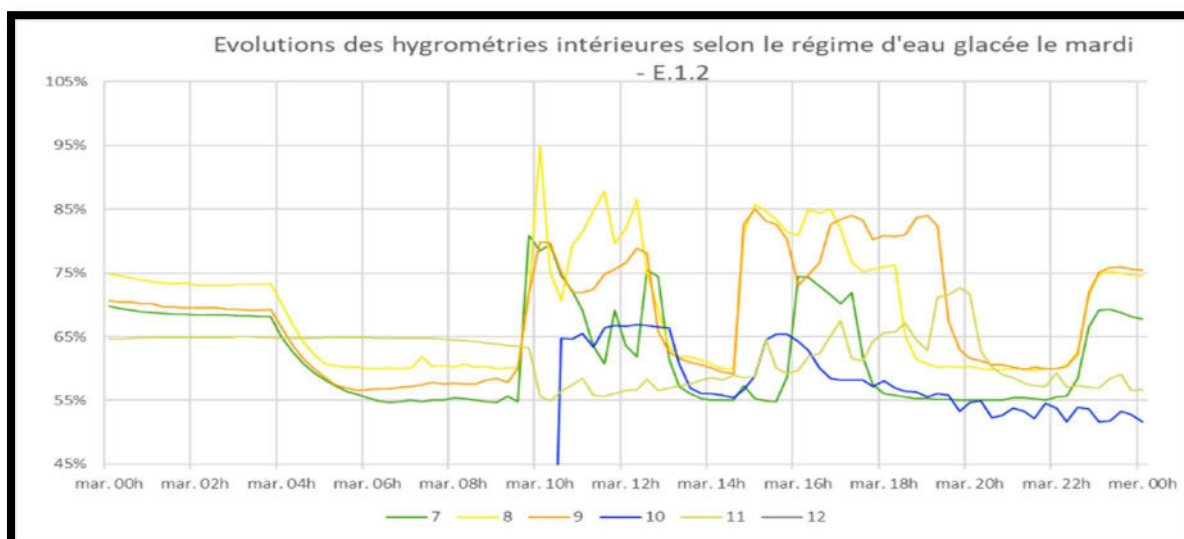


L'hygrométrie intérieure varie de 55 à 85% en période de climatisation.



Les journées du mardi, nous pouvons constater les évolutions de températures pour les semaines de mesure à 7, 8 et 9°C. Démarrage de la climatisation vers 4h du matin. Atteinte de la consigne vers 7/8h. Ensuite régulation autour de la température de consigne jusqu'à 22h30.

A noter qu'il manque des mesures pour la semaine à 10°C, qu'en semaine à 11°C la climatisation a démarré à 10h.

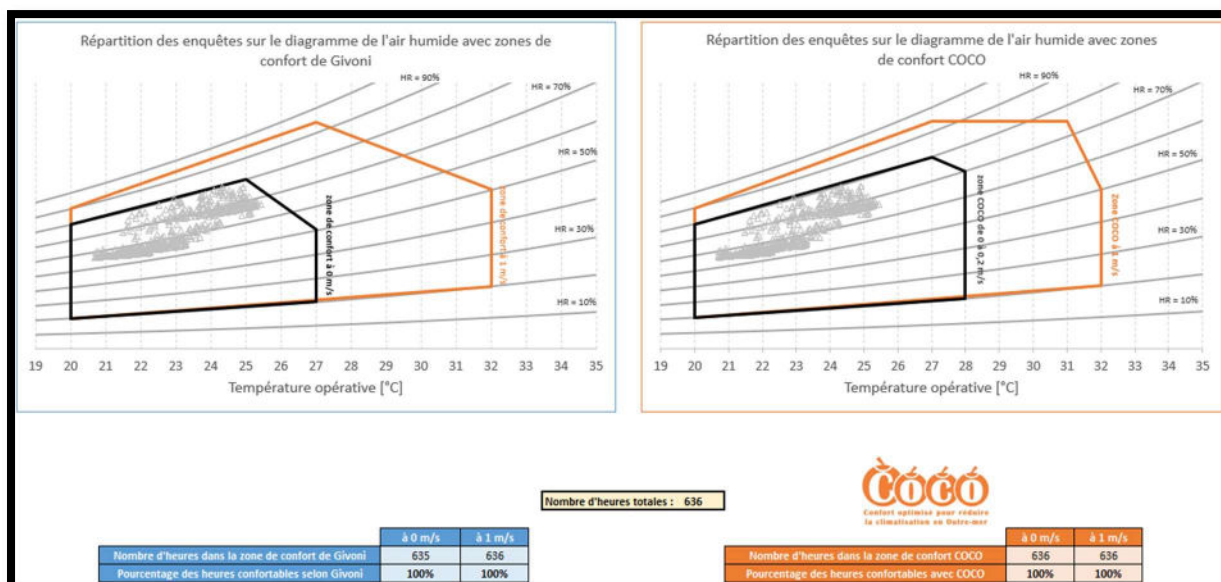


Les journées du mardi, nous pouvons constater les évolutions de l'hygrométrie intérieure pour les semaines de mesure à 7, 8 et 9°C. Elle varie entre 55 et 85% en période de climatisation.

Conditions de confort intérieur du bureau E.1.2 :

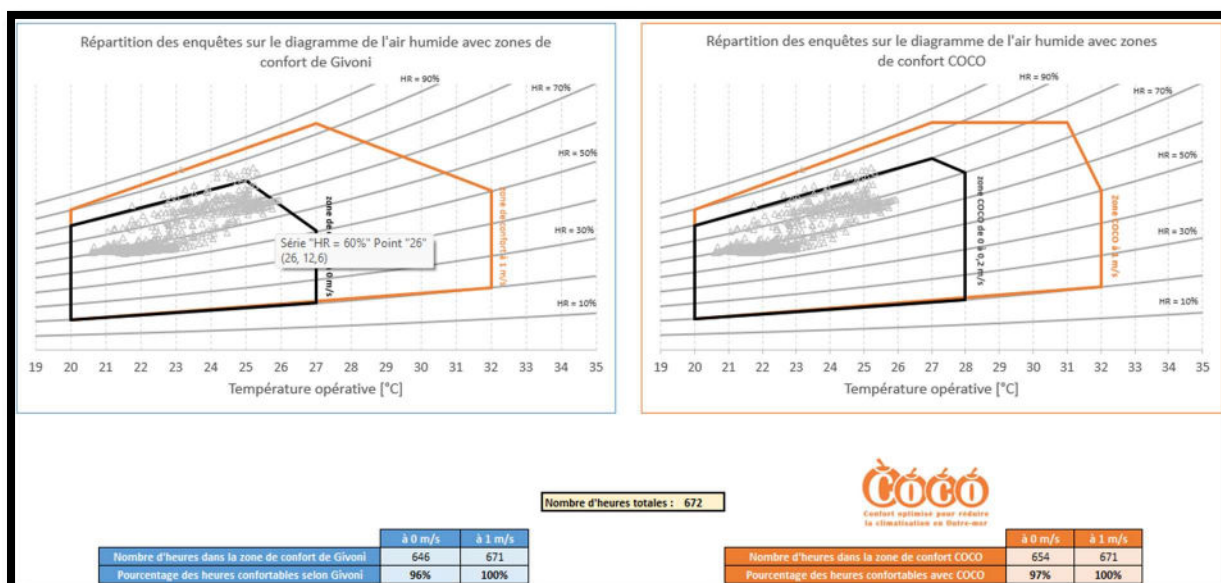
Nous vous proposons les diagrammes pour la saison intermédiaire, pour le bureau E.1.2, lors des semaines à 7, 8, 9 et 11°C.

Semaine à 7°C



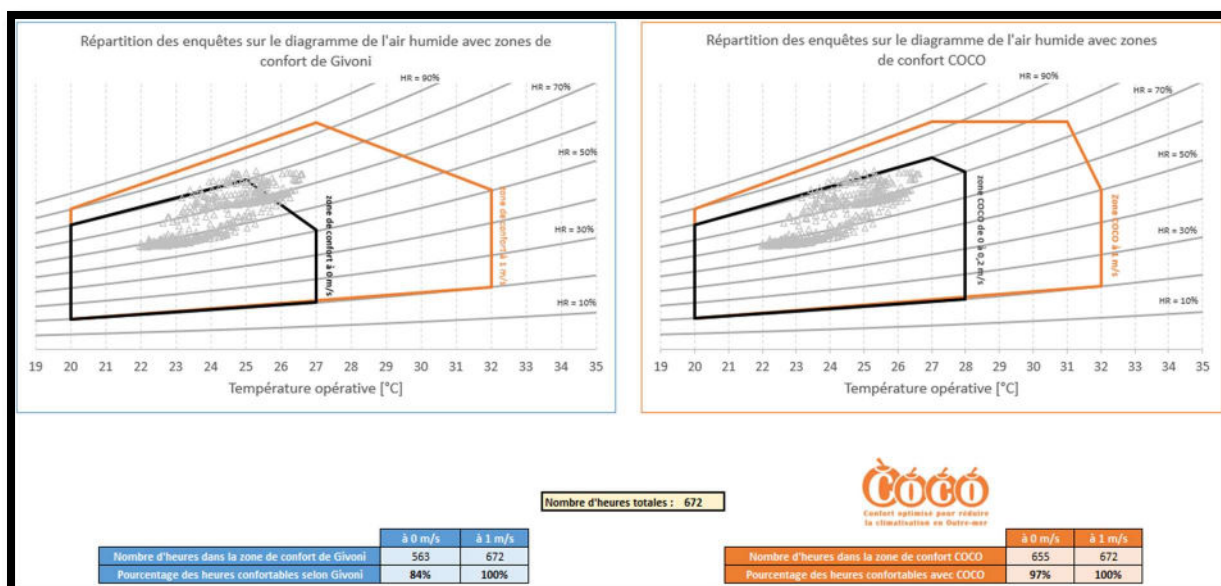
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 8°C



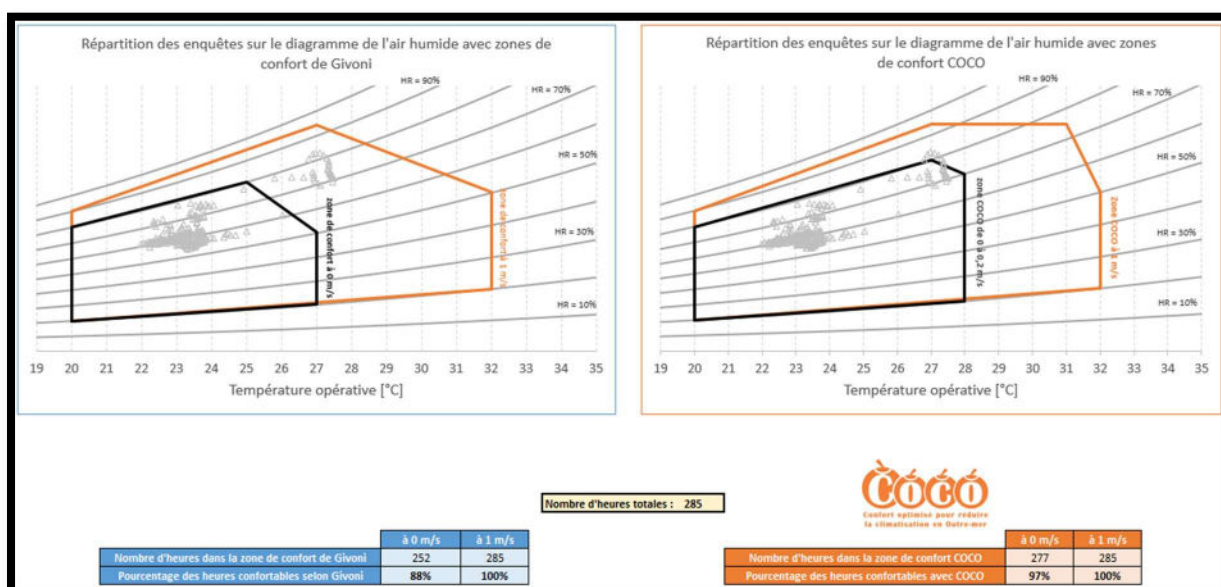
La quasi-totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 9°C



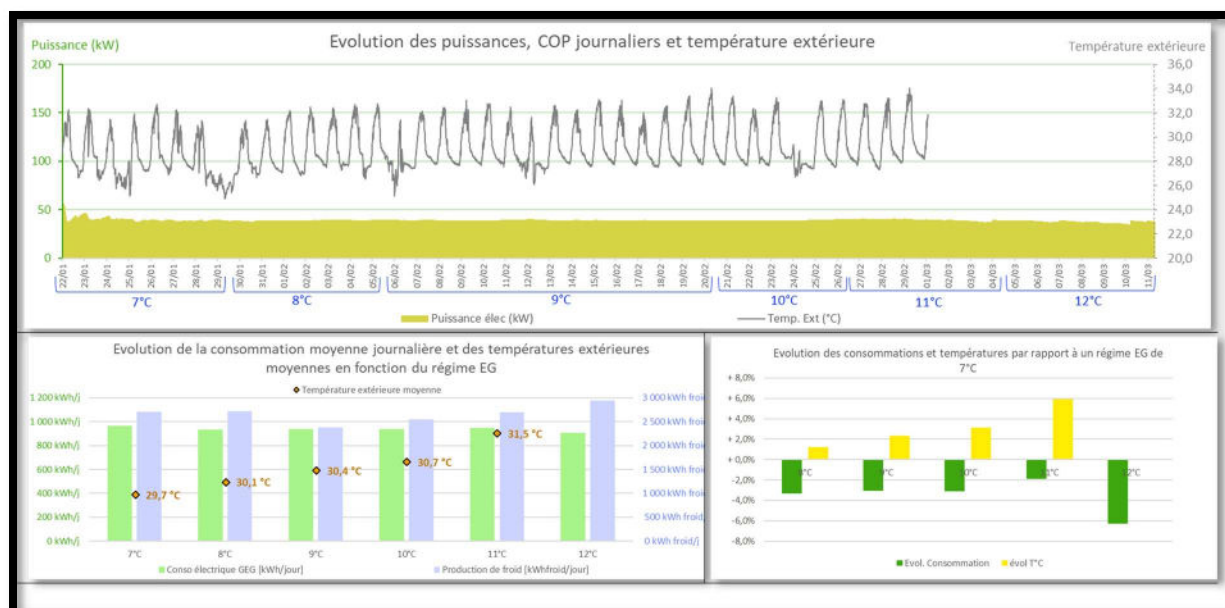
La quasi-totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 11°C



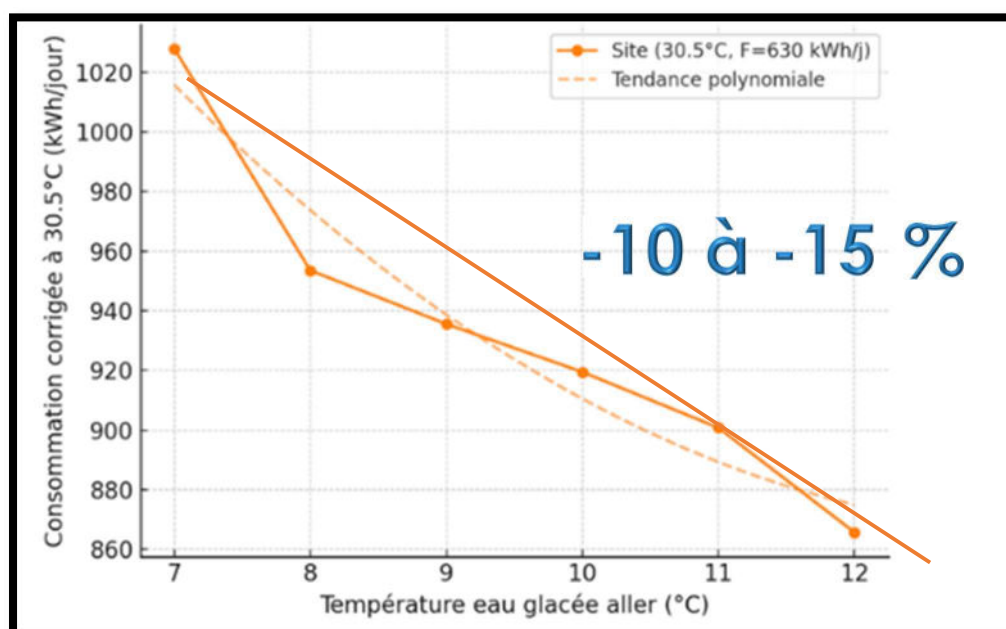
La quasi-totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Consommation du groupe de production d'eau glacée :



A noter que nous n'avons pas pu relever la température extérieure pour la semaine à 12°C, problème dû à l'enregistreur.

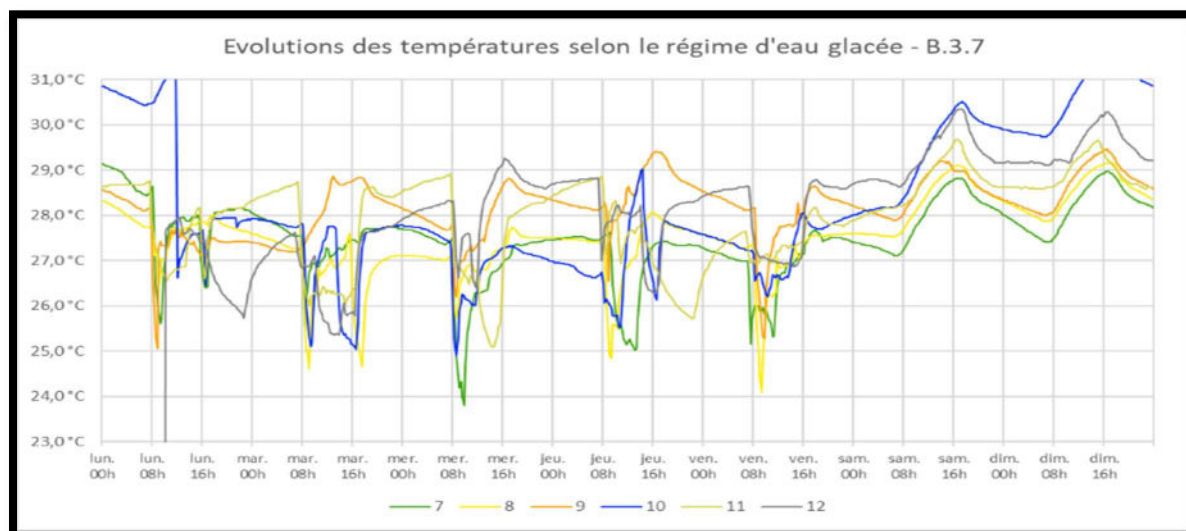
Proposition des consommations du groupe d'eau glacée à température extérieure constante de 30.5°C.



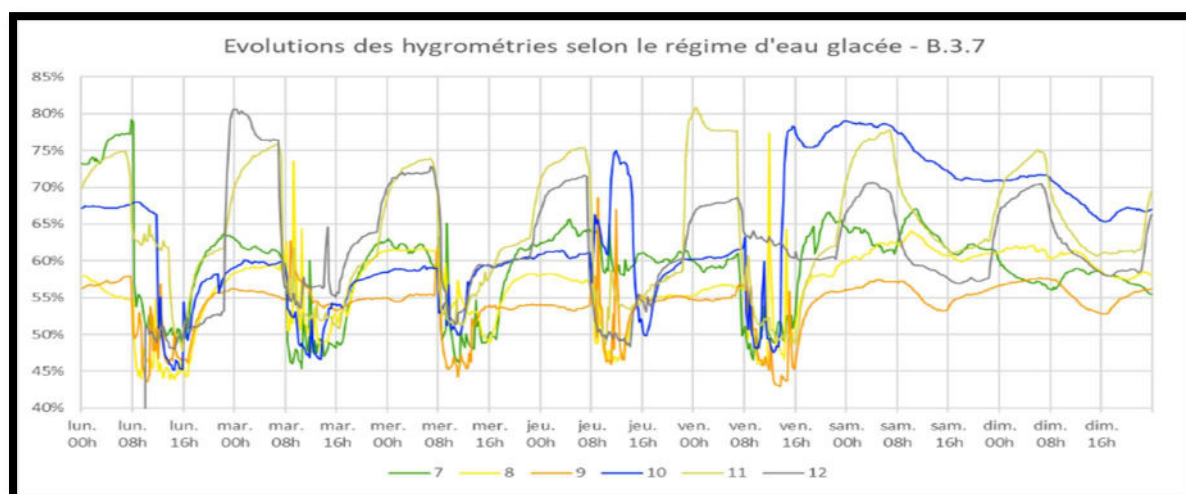
Nous constatons sur ce graphique, à température extérieure constante de 30.5°C, une évolution à la baisse des consommations au fur et à mesure que la température de boucle d'eau glacée est augmentée. Nous identifions une baisse de 10 à 15% sur les semaines de 7 à 12°C soit environ 2 à 3 % par degré d'augmentation de la boucle d'eau glacée.

3.5.1.4 Mesures en saison humide : octobre à décembre 2024

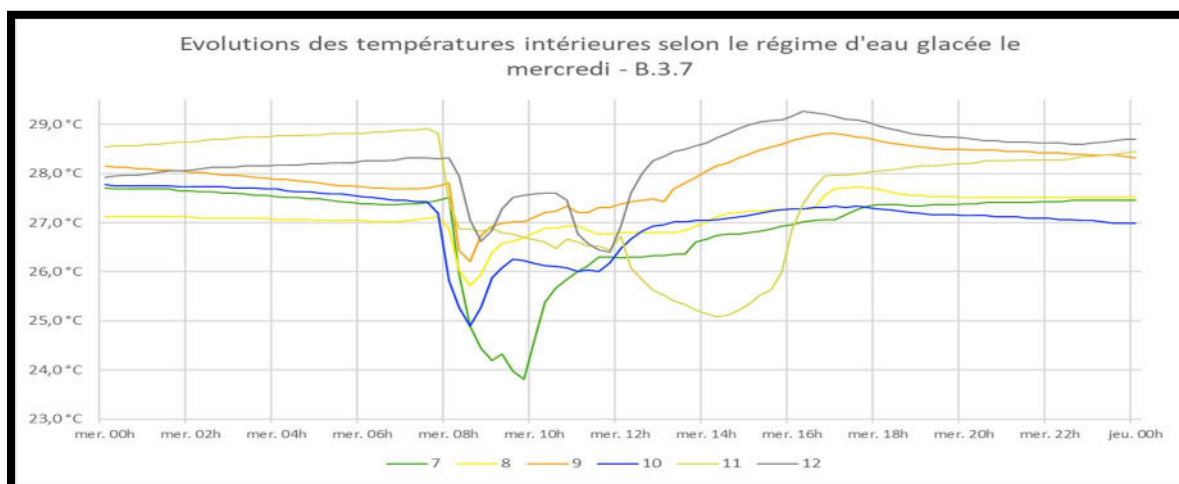
Bureau B.3.7 :



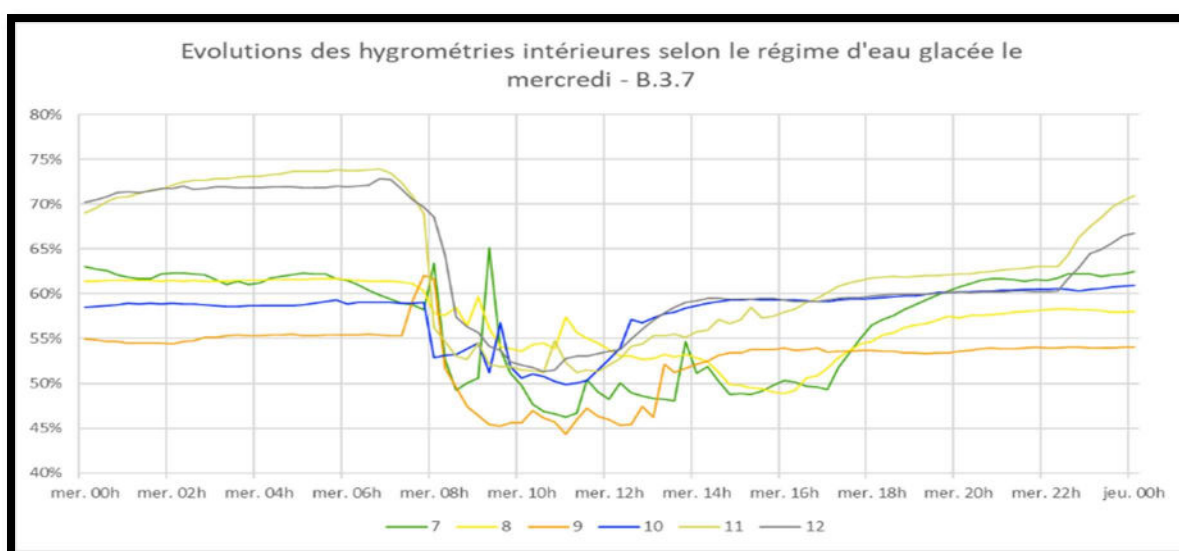
On constate que le bureau est climatisé tous les jours de 8h à 17h. La consigne de température intérieure 25 ou 26°C est régulièrement atteinte vers 8h30 puis la charge interne (occupants, apports solaires) fait remonter la température jusqu'à environ 15h ou 16h.



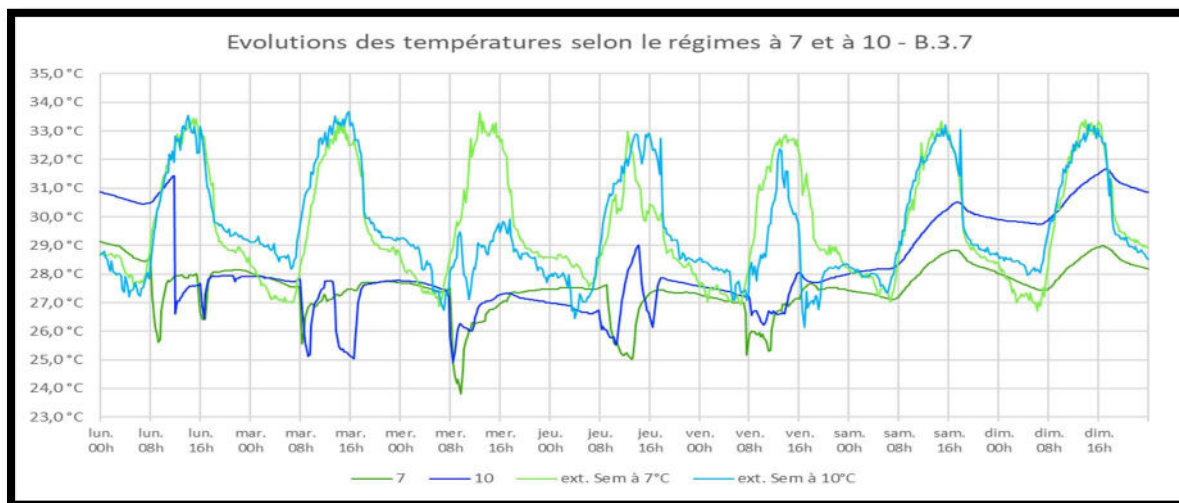
En période de climatisation, l'hygrométrie intérieure varie entre 45 et 65%.



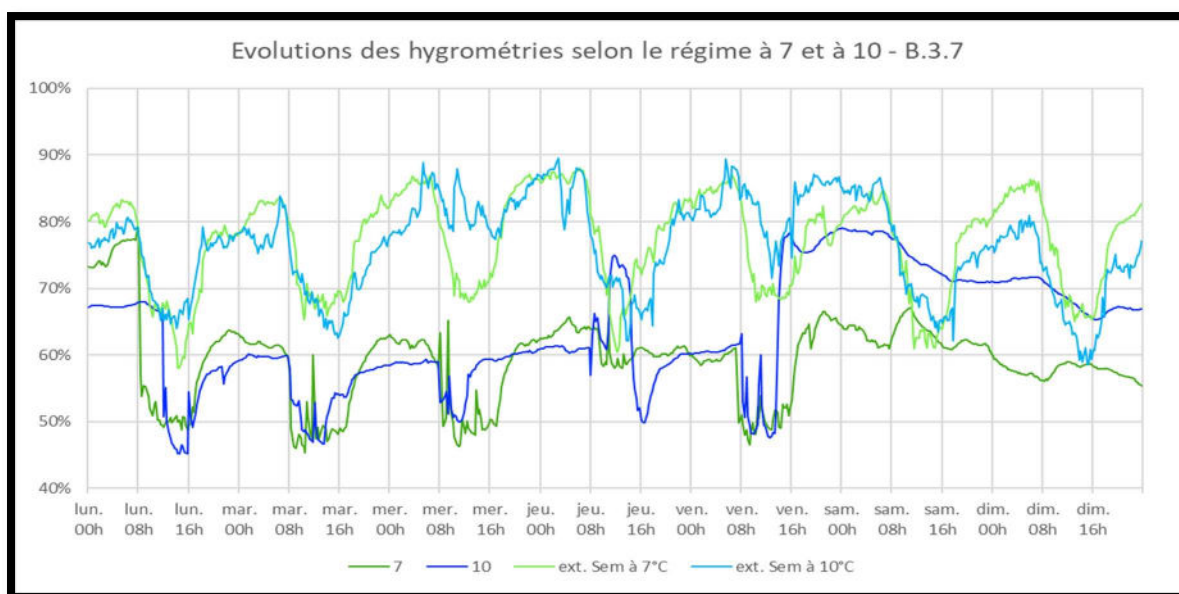
La climatisation fonctionne à partir de 8h jusqu'à 16h. Le maintien de la température oscille entre 24 et 29°C. Le réglage de la température est réalisé sur le thermostat par chaque utilisateur ce qui explique des températures de consigne différentes.



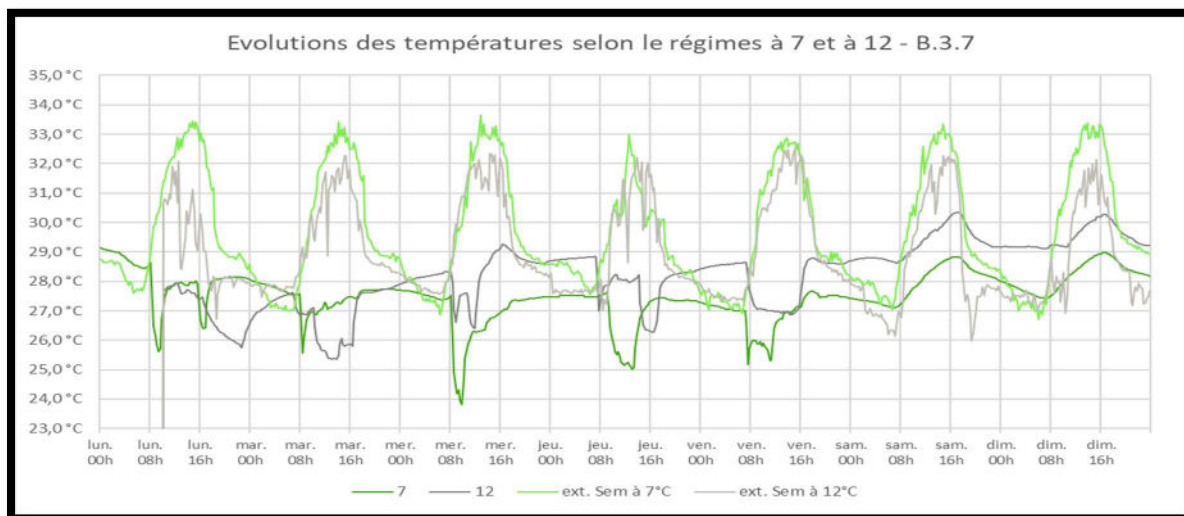
En période de climatisation, l'hygrométrie intérieure varie entre 45 et 65%.



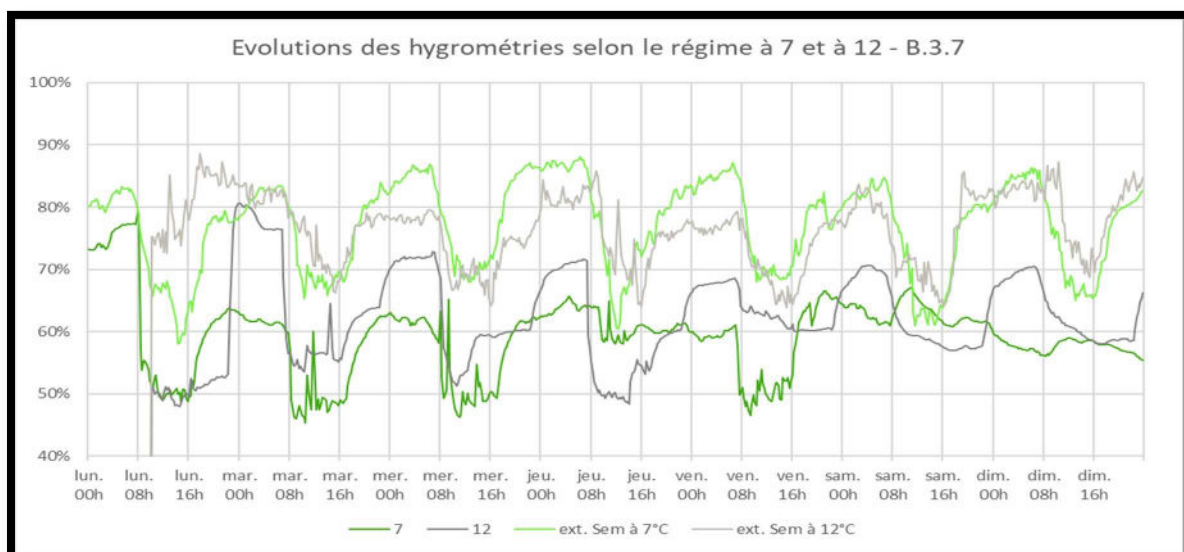
Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. Malgré des températures extérieures maximum variant entre 32 et 33.5 °C, la consigne intérieure est maintenue aux alentours de 26.5 °C.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 10°C. L'hygrométrie varie entre 45 et 60% en période de climatisation.



Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 12°C. Malgré des températures extérieures maximum variant entre 32 et 33.5 °C, la consigne intérieure est maintenue aux alentours de 26/27 °C.

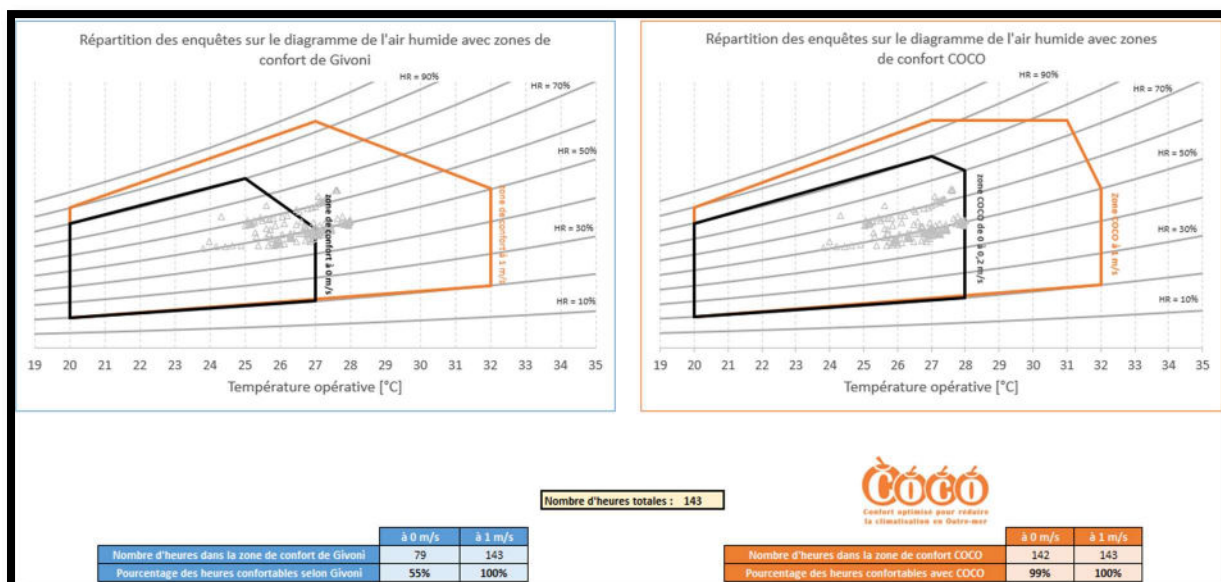


Pour plus de lisibilité du graphique, nous comparons les courbes pour les semaines d'essais avec l'eau glacée à 7 et à 12°C. L'hygrométrie varie entre 50 et 65% en période de climatisation.

Conditions de confort intérieur du bureau B.3.7 :

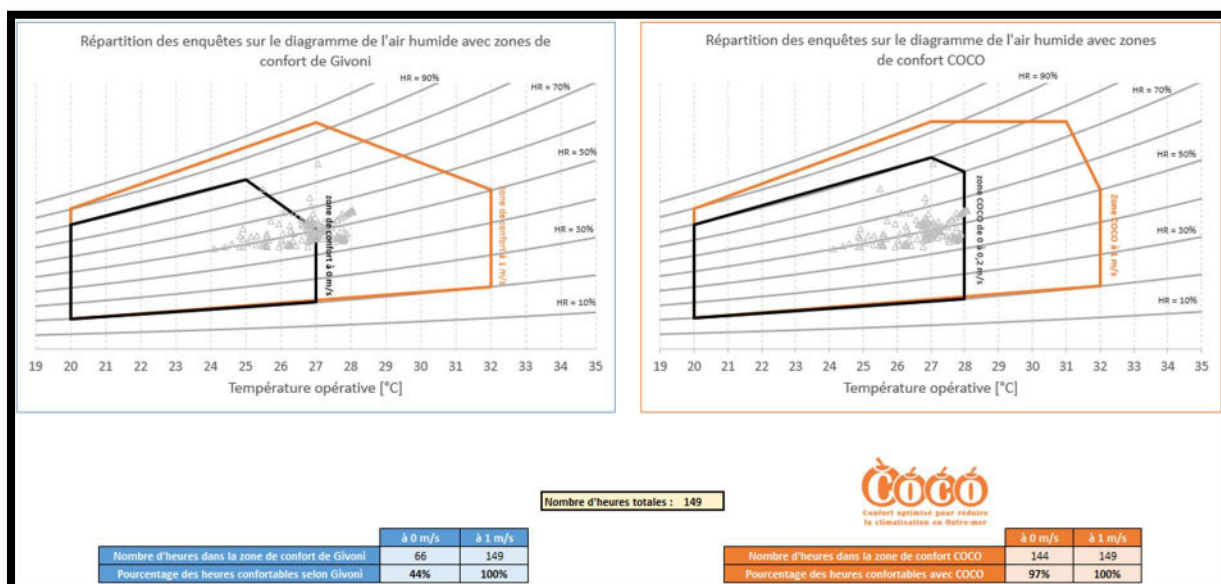
Nous vous proposons les diagrammes pour la saison intermédiaire, pour le bureau B.3.7, lors des semaines de 7 à 12°C.

Semaine à 7°C



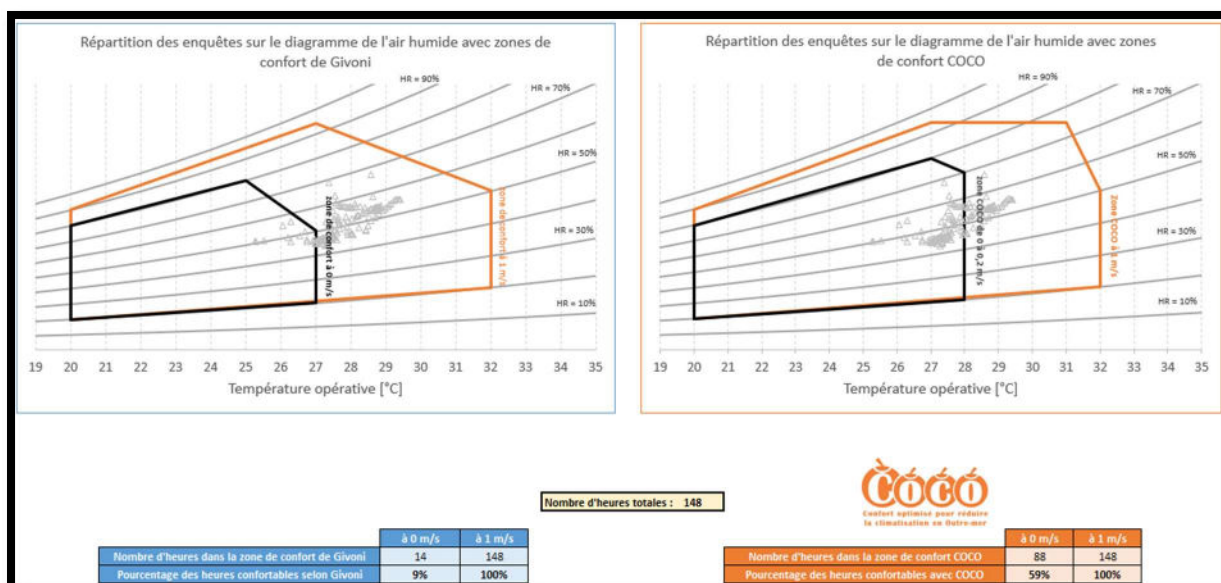
La totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 8°C



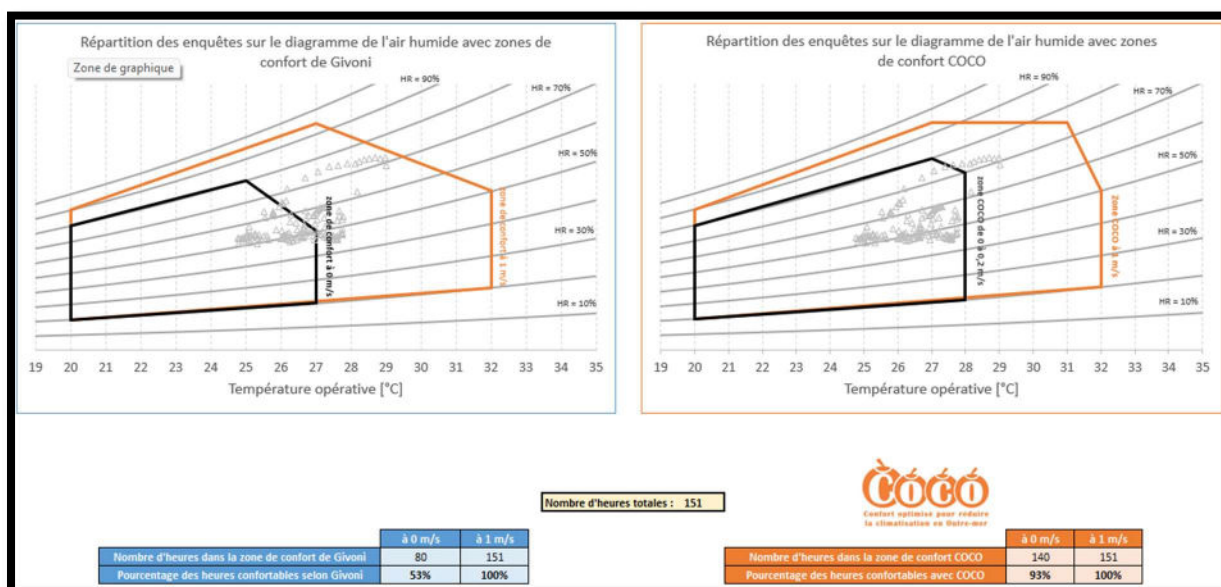
La quasi-totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 9°C



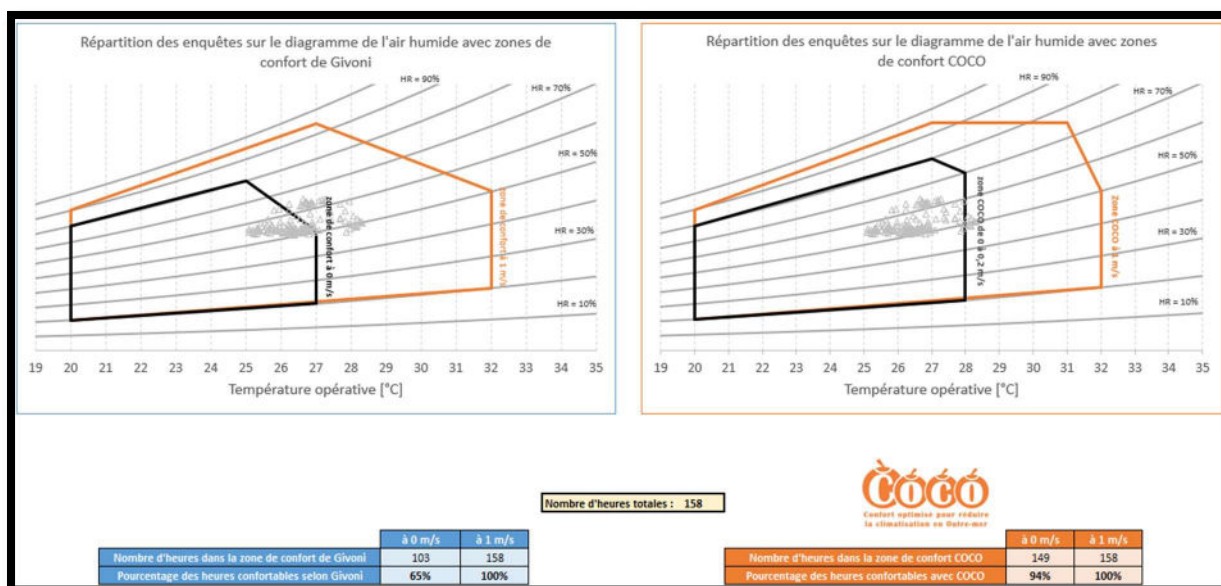
Pour la semaine de mesures à 9°C, on constate que le bureau n'a pas été occupé trois après-midis de la semaine. De ce fait, il n'était pas climatisé et les conditions intérieures se sont dégradées.

Semaine à 10°C



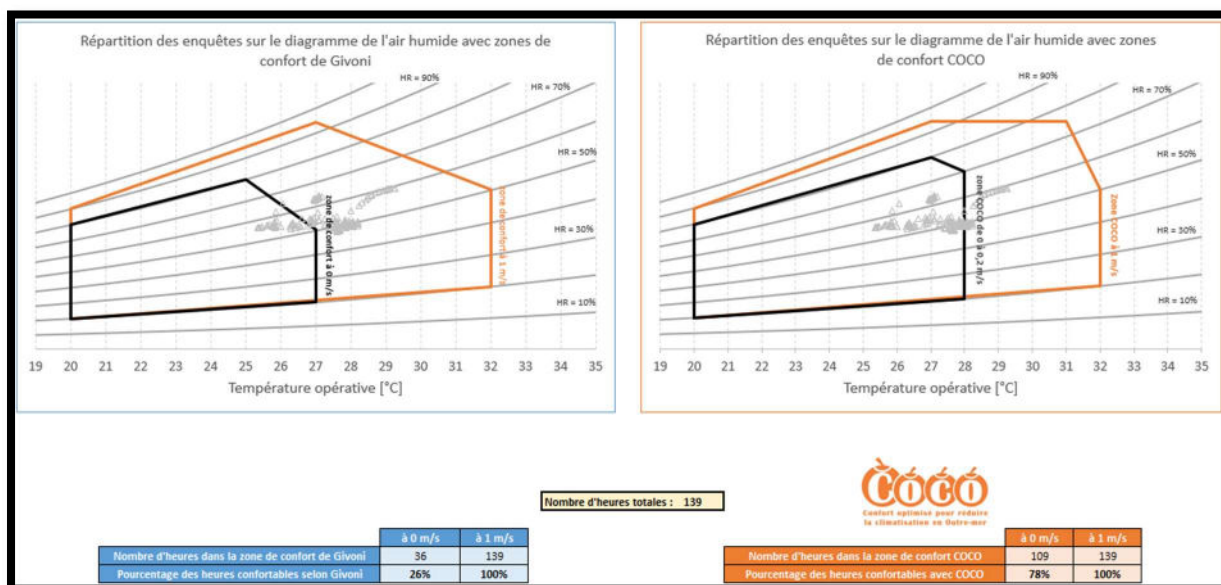
La quasi-totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 11°C



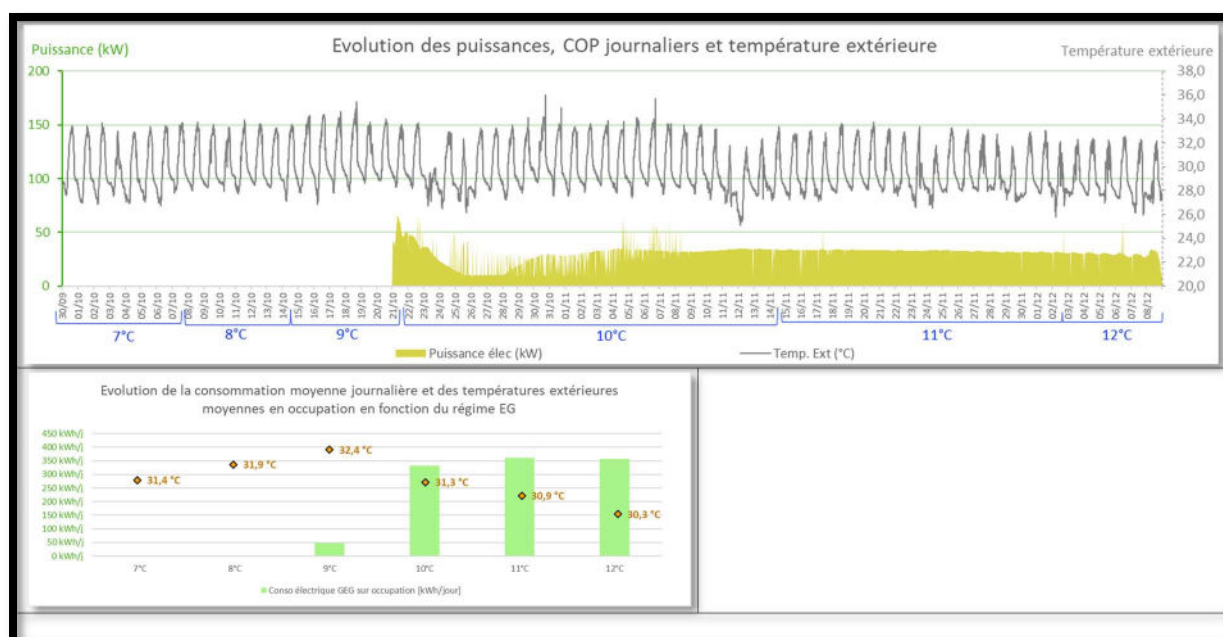
La quasi-totalité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Semaine à 12°C



Une majorité des points sont dans le diagramme de confort adapté aux climats tropicaux lors de cette période de mesures.

Consommation du groupe de production d'eau glacée :



Un défaut sur les remontées d'informations de la production pendant les semaines de mesures à 7, 8 et 9°C ne nous ont pas permis de récupérer les données de consommation électrique.

3.5.1.5 Conclusion essais et mesures sur l'université de GUYANE

Les deux périodes de mesures réalisés sur le bâtiment administratif de l'Université en Guyane nous apportent des enseignements à plusieurs niveaux :

1. En **saison sèche**, nous confirmons que les **conditions intérieures de confort** pour une zone géographique tropicale **sont atteintes quel que soit le régime d'eau glacée aller lors de nos essais : 7 à 12°C.**
2. Lors de cette période de mesures, le **gain énergétique** sur la production d'eau glacée est d'environ **2 à 3 % par degré d'élévation de la température de la boucle d'eau glacée.**
3. Par contre pour la **saison humide**, il semble qu'une **limite de température de boucle d'eau glacée à maximum 10°C est à retenir pour conserver les conditions de confort.**

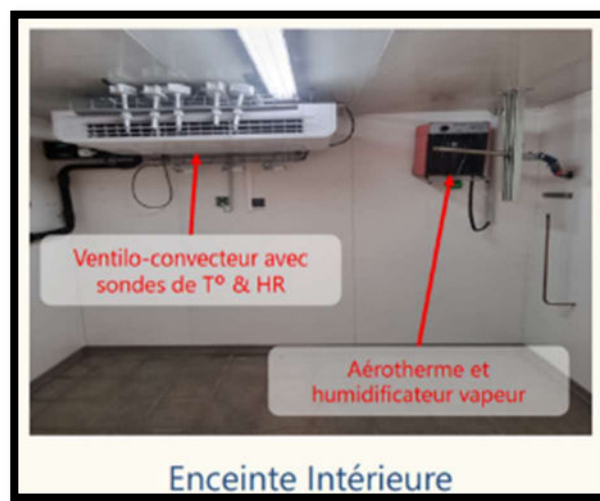
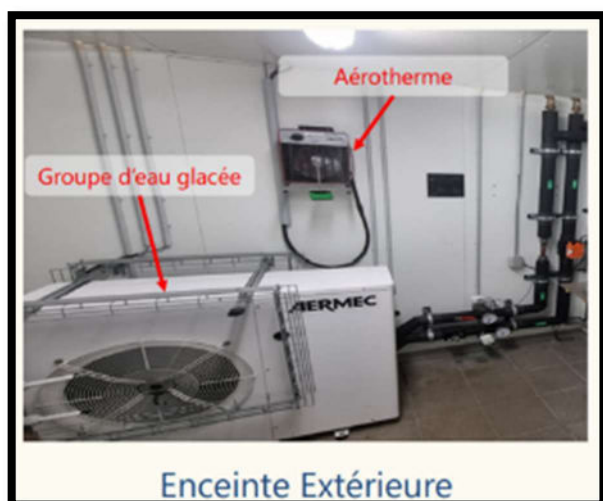
3.6 Phase 5 - Équipements, Instrumentations et Mesures sur le banc d'essai de l'Université de La Réunion – Laboratoire PIMENT

Afin de consolider les modèles obtenus avec les mesures réalisées sur sites existants et pour affiner nos recherches, nous avons équipé un banc d'essai à l'Université de La Réunion avec un groupe d'eau glacée et un ventilo-convecteur pour étudier les conditions intérieures et extérieures maîtrisées et consolider les gains énergétiques relevés lors des précédents essais.

3.6.1 Présentation du banc d'essais

Le banc d'essai de l'Université de La Réunion était d'ores et déjà équipé de deux cellules et des équipements frigorifiques permettant de créer les conditions intérieures et extérieures que nous souhaitons dans chaque cellule. Nous l'avons équipé d'un mini groupe d'eau glacée (Puiss froid de 5,8kW), d'un ventilo-convecteur, de sondes de mesures raccordées sur la GTC. La société AERMEC, très intéressée par notre projet d'études, a généreusement fait don du matériel. L'entreprise TEKOA a fait l'installation du matériel et le raccordement au site existant.

Le banc d'essai nous permet d'enrichir les données obtenues sur site, en mettant en place des conditions statiques que nous n'avons pas forcément obtenues lors des mesures sur site mais aussi de conforter les différents couples de conditions intérieures/extérieures.



Pour rappel, nous avons complété les équipements d'instrumentation existants du banc d'essai avec les points de mesure suivants afin de mesurer les points nécessaires au projet :

- Compteur électrique raccordé à la GTC Schneider Electric, pour le groupe froid.
- Compteur électrique raccordé à la GTC Schneider Electric, pour la pompe du groupe froid.
- Compteur d'énergie raccordé à la GTC Schneider Electric, sur le départ du groupe froid.

- 2 sondes de température à mettre en place au soufflage du ventilo-convecteur, raccordées à la GTC Schneider Electric.

La GTC existante est de marque Schneider Electric type SMARTX CONTROLLER. Les points suivants sont remontés sur automate existant.

- Un débitmètre à installer sur le réseau d'eau glacée (précision de la mesure 5%) à raccorder sur la GTC.
- 4 sondes de température eau glacée (Type PT100 installée en contact avec l'eau, sans doigt de gant) à mettre en place sur réseaux eau glacée, raccordées à la GTC Schneider Electric.
- 9 sondes T°/HR de l'air (de type « S+S REGELTECHNIK GMBH KTF MODBUS-T3 sans affichage » ou équivalent) à mettre en place en entrée d'air ventilo convecteur (x3), en sortie d'air ventilo convecteur (x3), dans l'enceinte conditions extérieures (x3), à raccorder sur la GTC.
- 3 sondes de vitesse d'air (de type « S+S REGEL TECHNIK GMBH RHEASREG KLGf – 1 » ou équivalent) à mettre en place en sortie d'air ventilo convecteur (x2) et dans l'enceinte extérieure sur le groupe d'eau glacée, à raccorder sur la GTC.
- Compteur électrique raccordé à la GTC Schneider Electric, pour le ventilo convecteur.

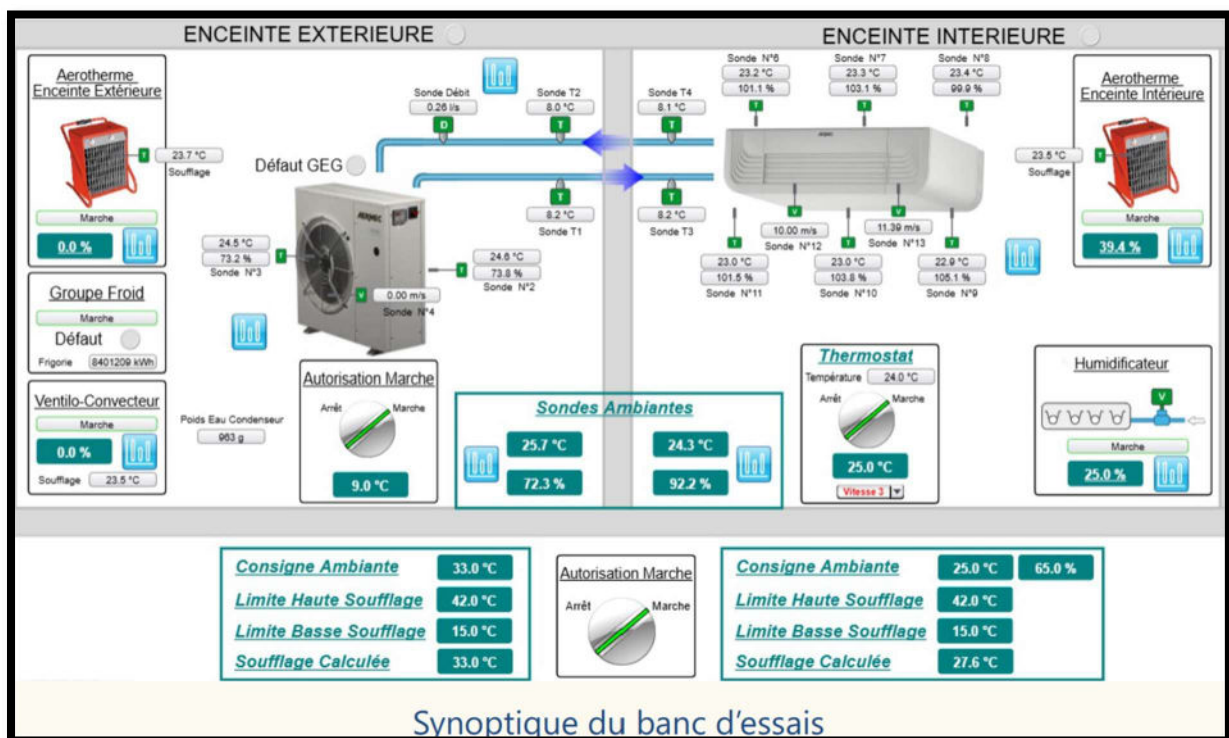
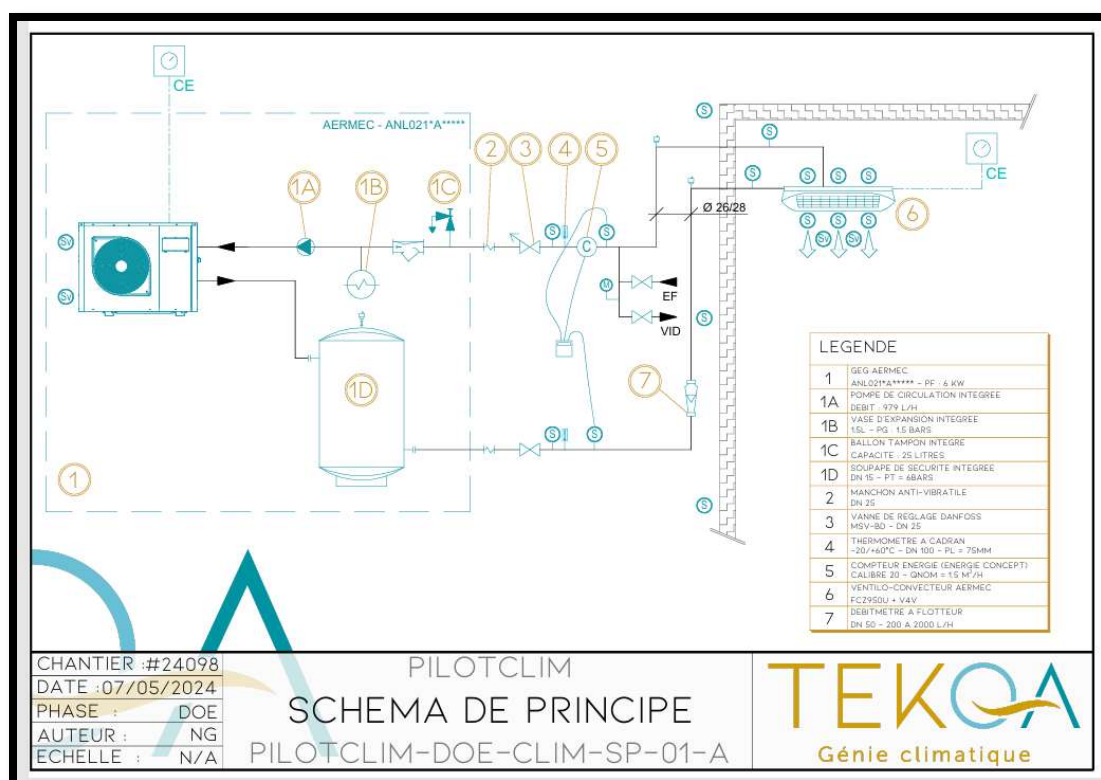


Schéma de principe – installation eau glacée du banc d'essai



3.6.2 Essais programmés :

Nous utilisons le banc de tests équipé de deux enceintes maîtrisées (intérieure et extérieure). Le banc est utilisé avec à l'interface le système à tester (eau glacée). Le programme d'essais décrit dans ce document, doit définir le protocole de mesures à mettre en place pour tester le système eau glacée avec des consignes de température de départ eau glacée évoluant de 7 à 12° et avec les conditions extérieures représentant les trois périodes saisonnières différentes (hiver, saison intermédiaire et été) pour l'Océan indien et les deux périodes saisonnières sèche et humide pour La Guyane.

L'objectif étant d'évaluer les attentes des objectifs de confort hygrothermique à l'intérieur des locaux en fonction de l'environnement extérieur et de la charge interne ainsi que les performances énergétiques du système eau glacée.

Définition du protocole expérimental

	équivalent bureau 50m2 avec 5 pers			équivalent bureau 50m2 avec 5 personnes	
Régime d'eau glacée	7	7	7	7	7
Territoire / saison					
Conditions extérieures	32° / 60% hr	29° / 60% hr	30° / 60% hr	33° / 70% hr	33° / 70% hr
Température à maintenir dans la cellule ext	32°	29°	30°	33°	33°
Conditions intérieures de départ	25° / 60 hr	25° / 60 hr	25° / 60 hr	25° / 60 hr	25° / 60 hr
Apports internes et externes (charges)	5700 W	4200 W	2200 W	4700 W	5900 W
Apports latents totaux (en ge/s)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
On mesure					
Température extérieure					
Hygrométrie extérieure					
Température de soufflage					
Température intérieure					
Hygrométrie intérieure					
Vitesse d'air au soufflage					
Débit de condensats					
Compteur électrique groupe					
Compteur électrique pompe					
Compteur élec ventilo convecteur					
Température aller eau glacée					
Température retour eau glacée					
Débit eau glacée					
Energie groupe froid					

Tableau du protocole d'essais pour la consigne de d'aller eau glacée à 7°

Tableau identique pour chaque nouvelle consigne de température aller eau glacée de 7 à 12°.

Procédure d'essais pour un test type :

Dans un premier temps, les éléments de régulation du banc d'essai démarrent pour assurer les conditions fixées dans le tableau ci-dessus. Lorsque les conditions de température dans l'enceinte extérieure sont atteintes, l'installation d'eau glacée démarre ainsi que le système simulant la charge côté intérieur. Lorsque le régime permanent est atteint et stabilisé sur une période de 15 minutes, les points de mesure listés dans le tableau sont relevés au fil du temps avec un pas de temps de 10s.

Au final, il convient de réaliser 5 tests en régime permanent pour les 6 régimes d'eau glacée 7, 8, 9, 10, 11 et 12°.

Après les premiers essais, nous constatons qu'il faut laisser pour chaque point de mesure 4h le temps que les conditions extérieure et intérieure soient stabilisées et avoir assez de données pour mesurer les consommations électriques.

3.6.3 Résultats des essais

Dans un premier temps, nous indiquons ci-dessous la température moyenne du départ de la boucle d'eau glacée pour chaque phase d'essai.

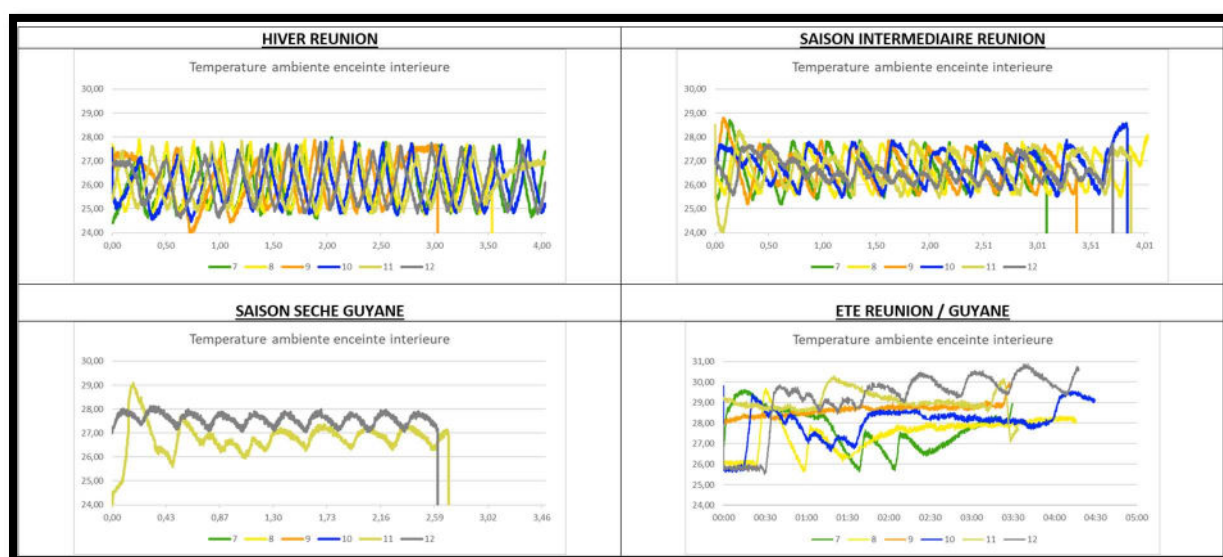
Consigne de température de boucle	7	8	9	10	11	12
Température moyenne essais Hiver Reunion	8.7	9.5	9.8	11.2	11.8	12.7
Température moyenne essais Intermédiaire Reunion	8.8	9.4	10.1	11.0	11.7	12.4
Température moyenne essais Eté Reunion / saison humide Guyane	9.4	9.2	10.2	10.7	11	12.6
Température moyenne essais Saison seche Guyane	10.1	9.5	9.8	10.3	12.1	12.5

On constate un **problème de tenue de la température de consigne demandée**, plus particulièrement pour les régimes à 7 et 8°C, et dans une moindre mesure pour les régimes à 9 et 10°C.

Cela révèle en réalité la **difficulté d'utiliser un mini groupe d'eau glacée** pour la réalisation de nos essais. Nous relevons que le groupe n'a **pas suffisamment de réserve de puissance** et que l'installation n'a pas suffisamment **d'inertie** et donc de volume d'eau pour amortir les variations de température.

Ci-dessous les résultats obtenus lors des essais :

Conditions de confort intérieur

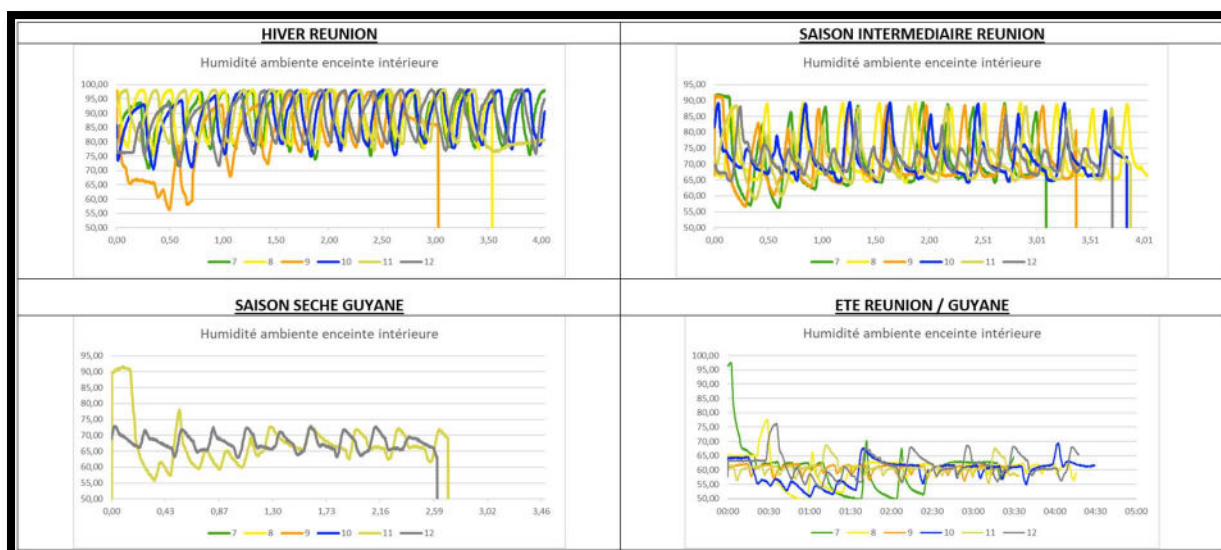


On constate que pour les périodes Hiver et saison intermédiaire Réunion, la consigne de température intérieure a du mal à être maintenue. Cependant, nous constatons ce phénomène identique quelque soit la température de boucle d'eau glacée.

La difficulté vient en partie que des conditions maximales extérieures sont mises en place en statique. D'autre part, nous avons identifié que la puissance froid développée par le groupe d'eau glacée est en réalité inférieure à celle annoncée par le fabricant.

Nous avons eu une période de non récupération des données au niveau de la GTC pour les essais de la saison sèche Guyane.

Pour la période été Réunion / saison humide Guyane, nous constatons l'incapacité de l'installation à maintenir la consigne intérieure et que la température maintenue est plus élevée quand la température de boucle augmente.



On constate que pour la période Hiver Réunion, l'hygrométrie intérieure a du mal à être maîtrisée. Cependant, nous constatons ce phénomène identique quel que soit la température de boucle d'eau glacée.

Pour la saison intermédiaire Réunion, l'hygrométrie oscille entre 60 et 90%, elle ne reste pas suffisamment maintenue. Le phénomène identique quel que soit la température de boucle d'eau glacée.

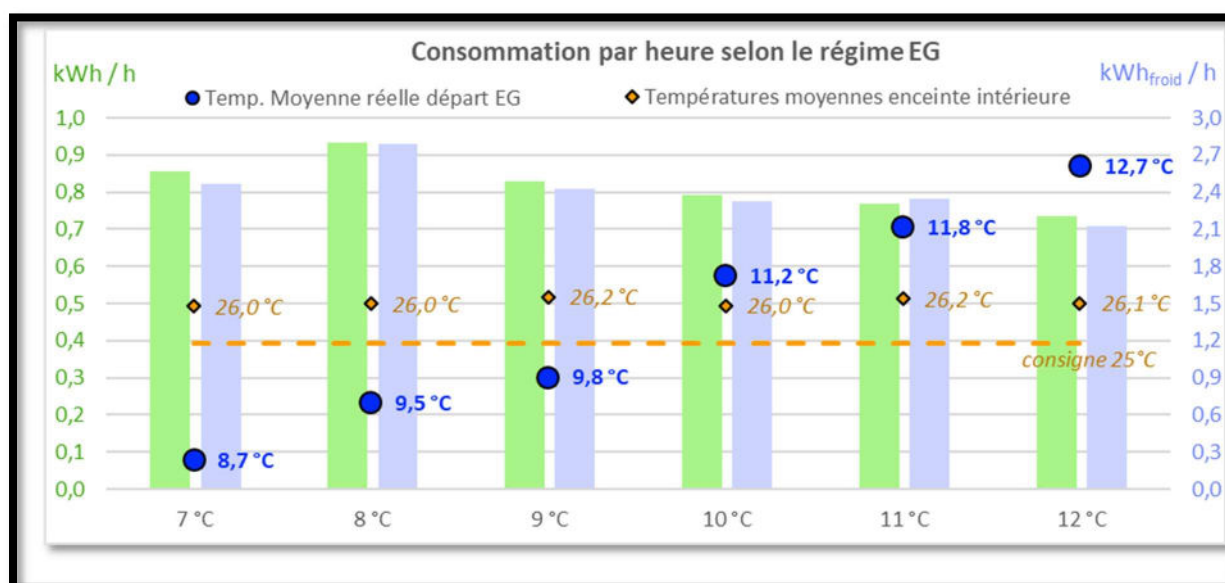
Nous avons eu une période de non récupération des données au niveau de la GTC pour les essais de la saison sèche Guyane.

Pour la période été Réunion / saison humide Guyane, nous constatons l'efficacité de l'installation à maintenir l'hygrométrie intérieure entre 50 et 70% quelle que soit la température de boucle d'eau glacée.

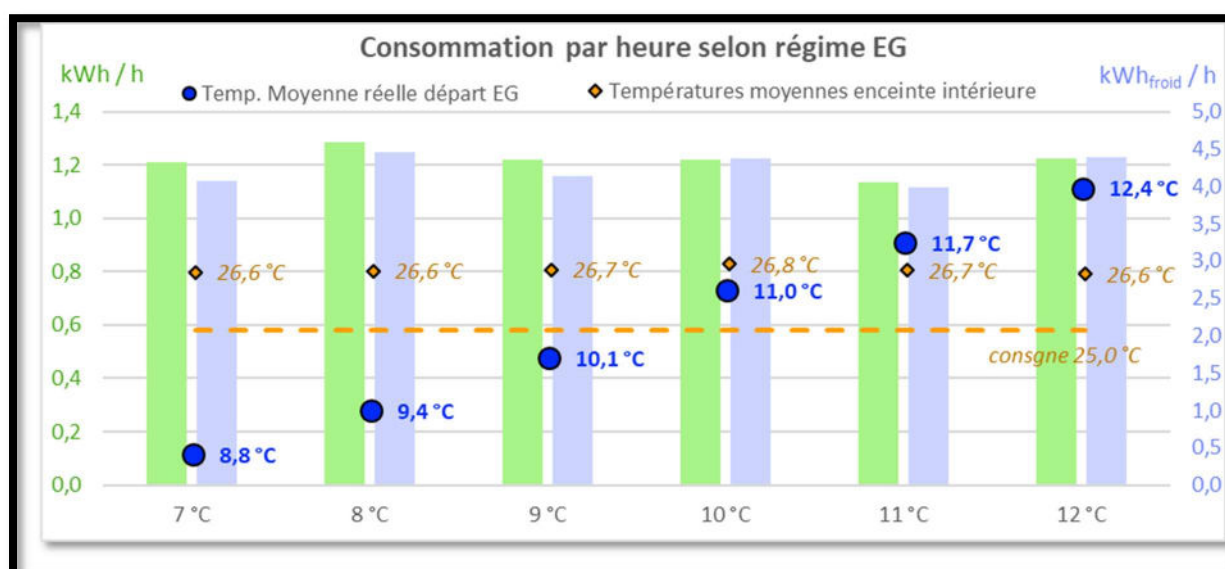
Nous indiquons ci-dessous les relevés des consommations énergétiques pendant les phases d'essai :

Consommations énergétiques

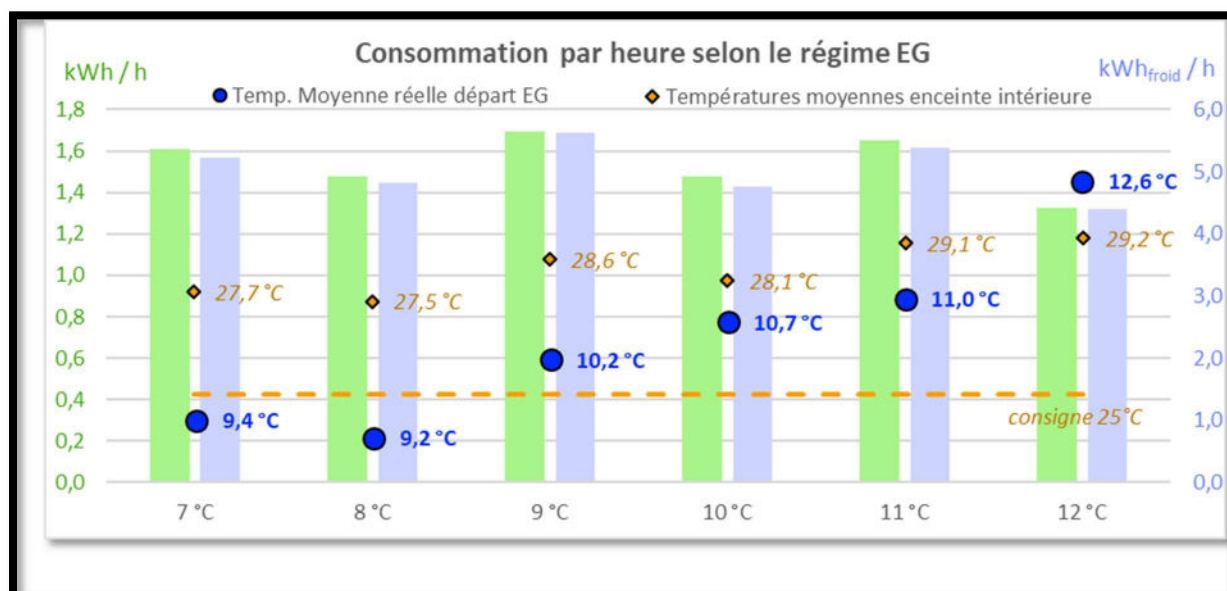
Hiver Réunion



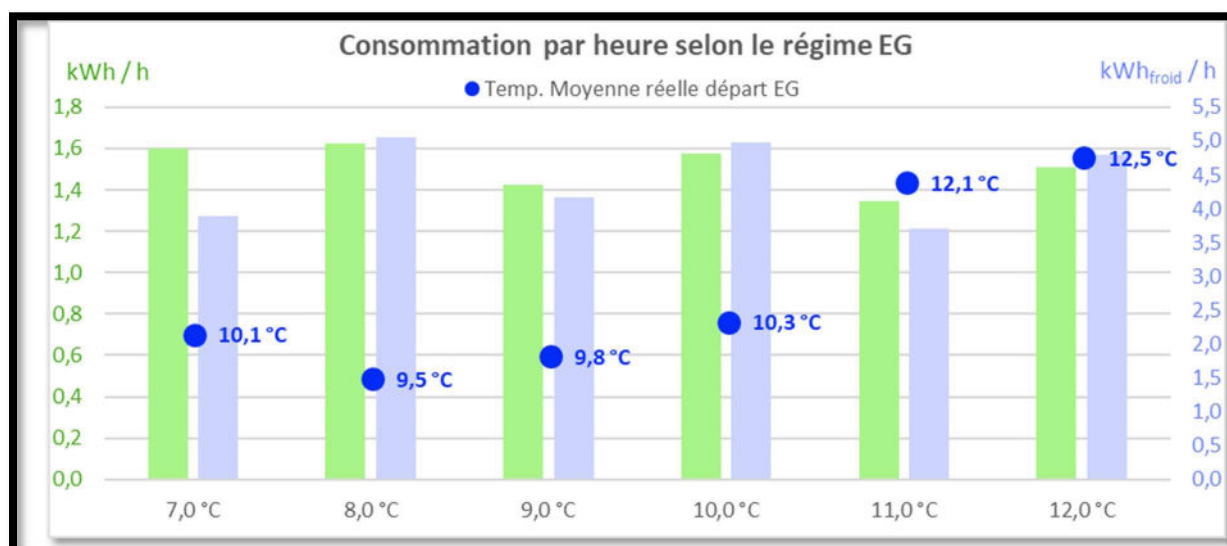
Intermédiaire Réunion



Eté Réunion / Saison humide Guyane



Saison sèche Guyane



Nous constatons des niveaux de consommation électrique équivalents quelle que soit le régime d'eau glacée. En réalité, dans la mesure où le groupe de production d'eau glacée a été sollicité pour des conditions maximales en statique, il a dû beaucoup fonctionner et peu réguler pour essayer de maintenir les conditions intérieures demandées.



3.6.4 Conclusion essais et mesures sur le banc d'essai

Après analyse de ces résultats, nous considérons que ces essais ne reflètent pas la vie de la climatisation d'un bâtiment sur une certaine durée, avec des besoins qui évoluent au cours d'une même journée et au fil des semaines. Ces données pourraient être représentatives d'un rendement à 100% de l'installation mais elles ne sont pas significatives.

Nous considérons par conséquent que ces résultats ne sont pas utilisables dans le cadre de notre projet.

Les problématiques que nous identifions sont les suivantes :

- trop petite taille de l'installation, pas d'inertie, trop de variation de la température de boucle.
- problème de régulation de l'unité intérieure qui n'était pas assez fine pour les mesures souhaitées.
- étude de points en statique et aux conditions les plus défavorables (conditions extérieures maximales et apports internes/externes maximum également) => en conséquence cela ne reflète en aucune façon la climatisation de la vie d'un bureau au cours d'une journée, ou d'une période quelle qu'elle soit.

Finalement pour ce genre de projet il faut privilégier des instrumentations de sites réels d'une certaine taille avec toute la difficulté néanmoins d'appréhender la vie du bâtiment (occupation, usage, consigne de température, ...).



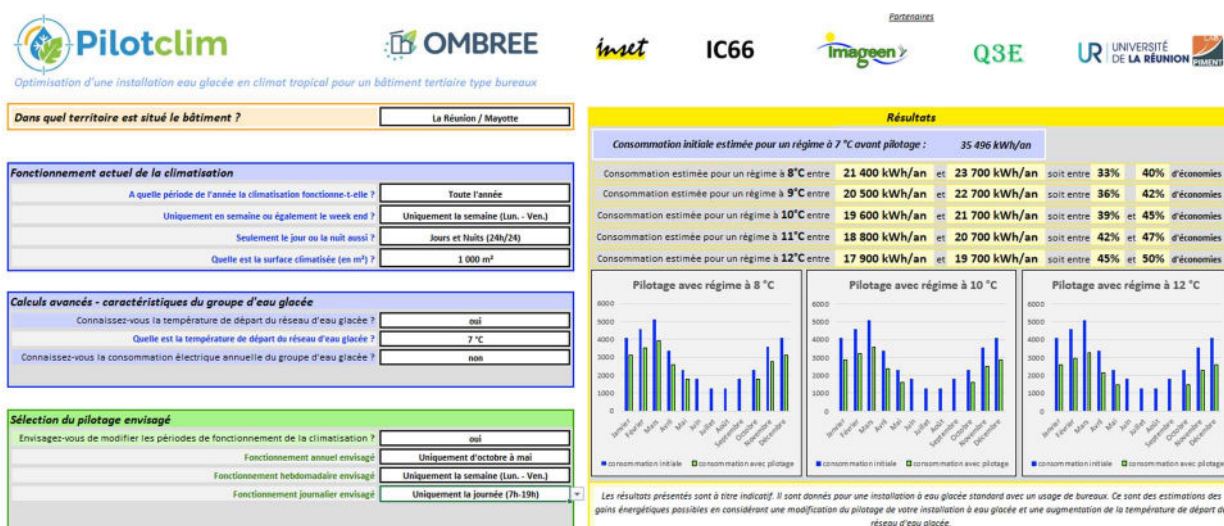
3.7 Phase 6 - Outil de calcul et d'aide à la décision

Suite aux résultats obtenus sur sites réels, nous avons développé un outil permettant à un maître d'ouvrage, un installateur ou un bureau d'études d'estimer rapidement :

Les gains de consommation énergétique possibles en faisant évoluer la conduite de son installation d'eau glacée en considérant deux niveaux d'intervention : le premier en agissant sur la température de la boucle d'eau glacée, le deuxième en agissant sur la période de fonctionnement de la climatisation.

Cet outil est disponible en téléchargement sur le site du bureau d'études INSET : <https://www.inset.fr> ou sur le site PERGOLA du programme OMBREE <https://www.pergola-outremer.fr/ombree/>

Il s'agit d'une feuille de calcul Excel.



Partenaires

Logos des partenaires : Pilotclim, OMBREE, inset, IC66, imageen, Q3E, UR UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION, PMET

Dans quel territoire est situé le bâtiment ? La Réunion / Mayotte

Fonctionnement actuel de la climatisation

A quelle période de l'année la climatisation fonctionne-t-elle ?

Uniquement en semaine ou également le week-end ?

Uniquement le jour ou la nuit aussi ?

Quelle est la surface climatisée (en m²) ?

Calculs avancés - caractéristiques du groupe d'eau glacée

Connaissez-vous la température de départ du réseau d'eau glacée ?

Quelle est la température de départ du réseau d'eau glacée ?

Connaissez-vous la consommation électrique annuelle du groupe d'eau glacée ?

Sélection du pilotage envisagé

Envisagez-vous de modifier les périodes de fonctionnement de la climatisation ?

Fonctionnement annuel envisagé

Fonctionnement hebdomadaire envisagé

Fonctionnement journalier envisagé

Résultats

Consommation initiale estimée pour un régime à 7 °C avant pilotage : 35 496 kWh/an

Régime	Consommation initiale (kWh/an)	Consommation avec pilotage (kWh/an)	Soit entre	Gains
8 °C	21 400	23 700	33% et 40%	d'économies
9 °C	20 500	22 700	36% et 42%	d'économies
10 °C	19 600	21 700	39% et 45%	d'économies
11 °C	18 800	20 700	42% et 47%	d'économies
12 °C	17 900	19 700	45% et 50%	d'économies

Pilotage avec régime à 8 °C

Pilotage avec régime à 10 °C

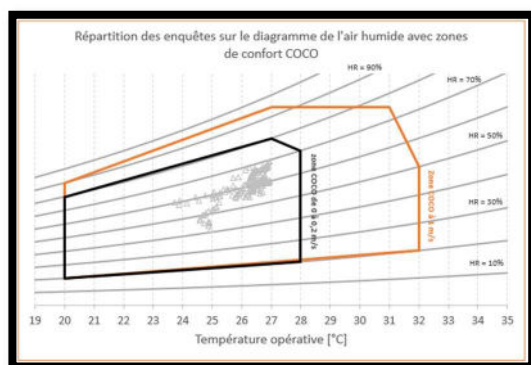
Pilotage avec régime à 12 °C

Les résultats présentés sont à titre indicatif. Ils sont donnés pour une installation à eau glacée standard avec un usage de bureaux. Ce sont des estimations des gains énergétiques possibles en considérant une modification du pilotage de votre installation à eau glacée et une augmentation de la température de départ du réseau d'eau glacée.

3.8 Phase 7 – Conclusion générale

Le projet PILOTCLIM nous permet de transmettre des préconisations en termes de conduite d'installation à plusieurs niveaux :

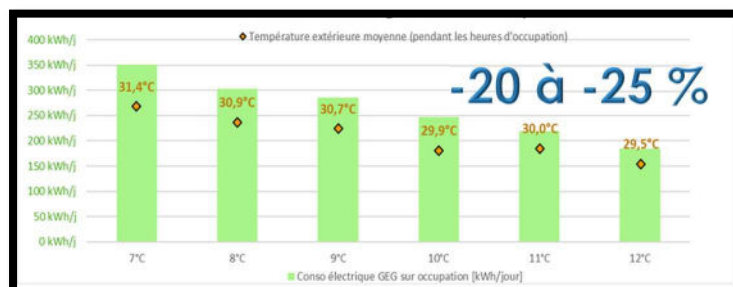
Pilotage de la température de boucle d'eau glacée :



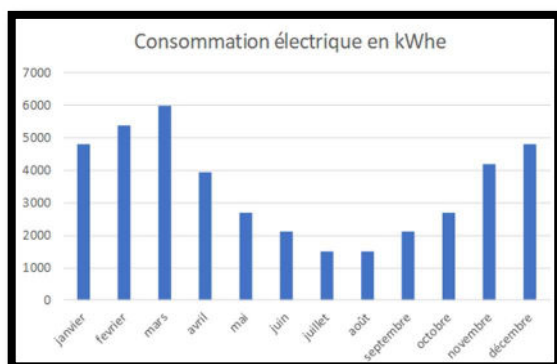
Nous sommes en mesure de confirmer la **possibilité technique d'augmenter la consigne de température aller de la boucle d'eau glacée : jusqu'à 12°C dans les Dom Tom** en toutes saisons sauf en saison humide en Guyane où cette consigne doit être limitée à 10°C.

Avec ces consignes de température, **les conditions de confort en zones tropicales sont maintenues à l'intérieur des locaux.**

Les **possibles gains d'énergie sur l'année, par degré d'augmentation de la boucle d'eau glacée, sont de l'ordre de 3 à 5% pour les territoires La Réunion, Mayotte, Guadeloupe et Martinique et de l'ordre de 2 à 3 % pour la Guyane** qui a des conditions extérieures plus contraignantes.



Pilotage de la plage de fonctionnement de la climatisation :




Les essais et mesures réalisés permettent de confirmer **qu'en hiver et en saison intermédiaire, notamment à La Réunion, il est possible de se passer de la climatisation** et rester en zone de confort à l'intérieur des locaux. D'autre part, des **gains énergétiques importants sont possibles en coupant la climatisation les week end et les nuits**, en fonction de la possibilité et de l'usage des locaux. Ces **pilotages** peuvent permettre **plus de 50% d'économie** sur le poste climatisation.


Outil de simulation des gains possibles :


Avec les résultats obtenus, nous avons développés un **outil de calcul**, simple d'utilisation, pour que chacun puisse **identifier les gains possibles** selon différents scénarii d'utilisation de son installation de **climatisation à eau glacée**.


Cet outil a pour intérêt d'inciter les usagers à modifier leur pilotage d'installation, en faisant appel à leur société d'entretien et de maintenance, dans le but de limiter les consommations énergétiques liées à la climatisation.





Optimisation d'une installation eau glacée en climat tropical pour un bâtiment tertiaire type bureaux














Dans quel territoire est situé le bâtiment ? La Réunion / Mayotte

Fonctionnement actuel de la climatisation

A quelle période de l'année la climatisation fonctionne-t-elle ? Toute l'année

Uniquement en semaine ou également le week-end ? Uniquement la semaine (Lun. - Ven.)

Seulement le jour ou la nuit aussi ? Jours et Nuits (24h/24)

Quelle est la surface climatisée (en m²) ? 1 000 m²

Calculs avancés - caractéristiques du groupe d'eau glacée

Connaissez-vous la température de départ du réseau d'eau glacée ? oui

Quelle est la température de départ du réseau d'eau glacée ? 7 °C

Connaissez-vous la consommation électrique annuelle du groupe d'eau glacée ? non

Sélection du pilotage envisagé

Envisagez-vous de modifier les périodes de fonctionnement de la climatisation ? oui

Fonctionnement annuel envisagé Uniquement d'octobre à mai

Fonctionnement hebdomadaire envisagé Uniquement la semaine (Lun. - Ven.)

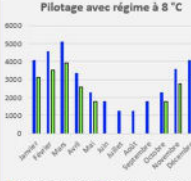
Fonctionnement journalier envisagé Uniquement la journée (7h-19h)

Résultats

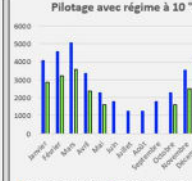
Consommation initiale estimée pour un régime à 7 °C avant pilotage : **35 496 kWh/an**

Régime	Consommation initiale (kWh/an)	Consommation avec pilotage (kWh/an)	Soit entre	Soit entre	Économies
8 °C	21 400	23 700	33%	40%	d'économies
9 °C	20 500	22 700	36%	42%	d'économies
10 °C	19 600	21 700	39%	45%	d'économies
11 °C	18 800	20 700	42%	47%	d'économies
12 °C	17 900	19 700	45%	50%	d'économies

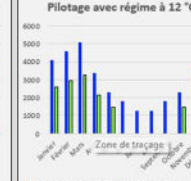
Pilotage avec régime à 8 °C



Pilotage avec régime à 10 °C



Pilotage avec régime à 12 °C

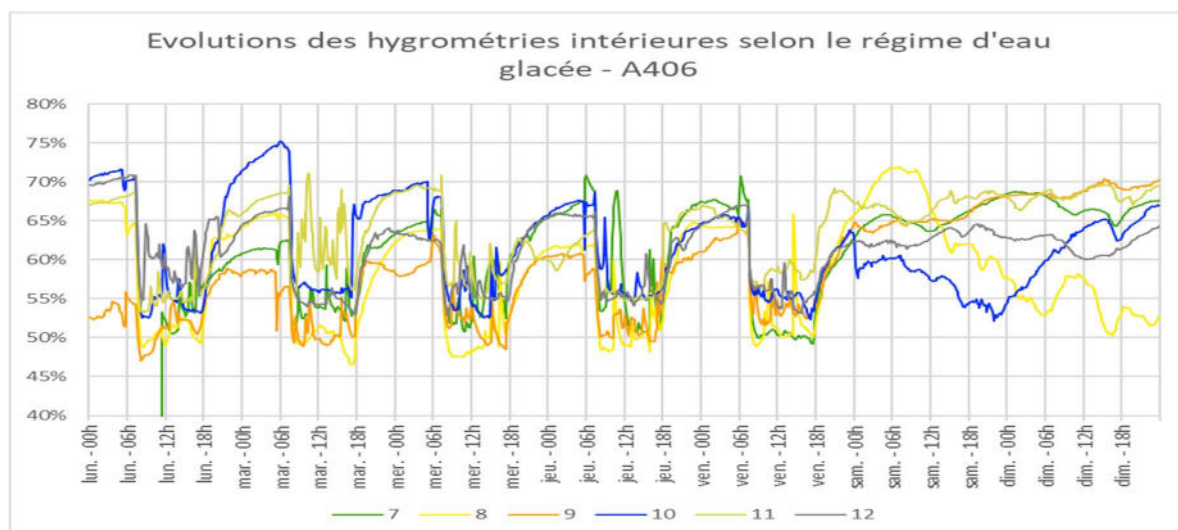
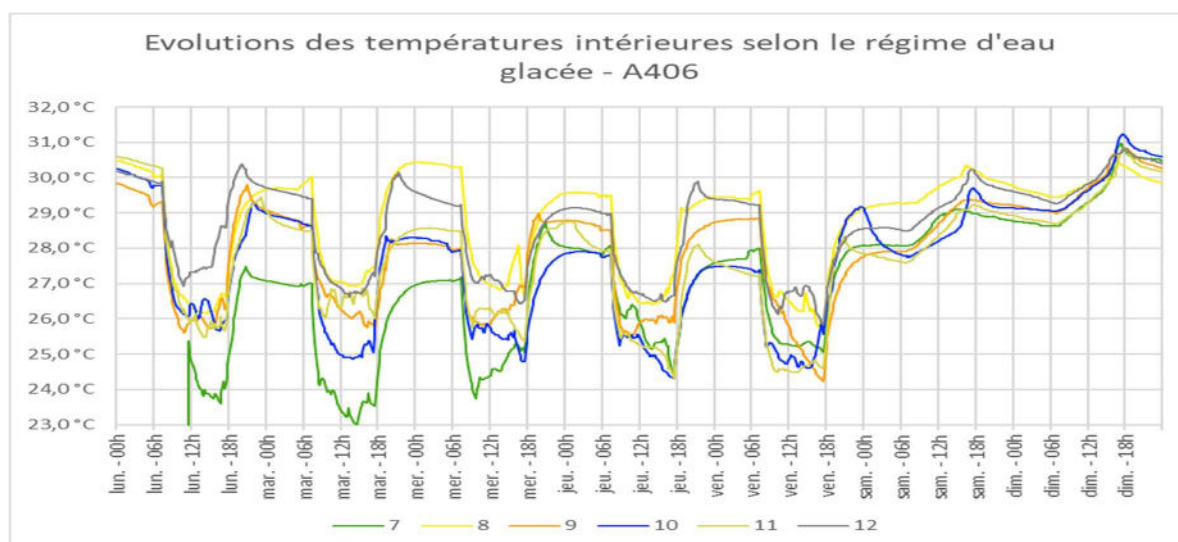


Les résultats présentés sont à titre indicatif. Ils sont donnés pour une installation à eau glacée standard avec un usage de bureaux. Ce sont des estimations des gains énergétiques possibles en considérant une modification du pilotage de votre installation à eau glacée et une augmentation de la température de départ du réseau d'eau glacée.

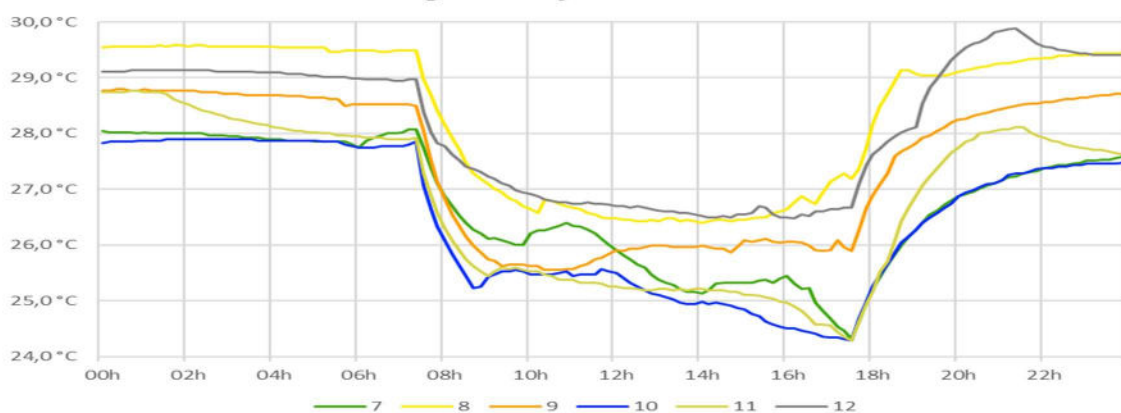
4 ANNEXES DU PROJET

4.1 ANNEXE 1 SAISON ETE REUNION – BEO Université

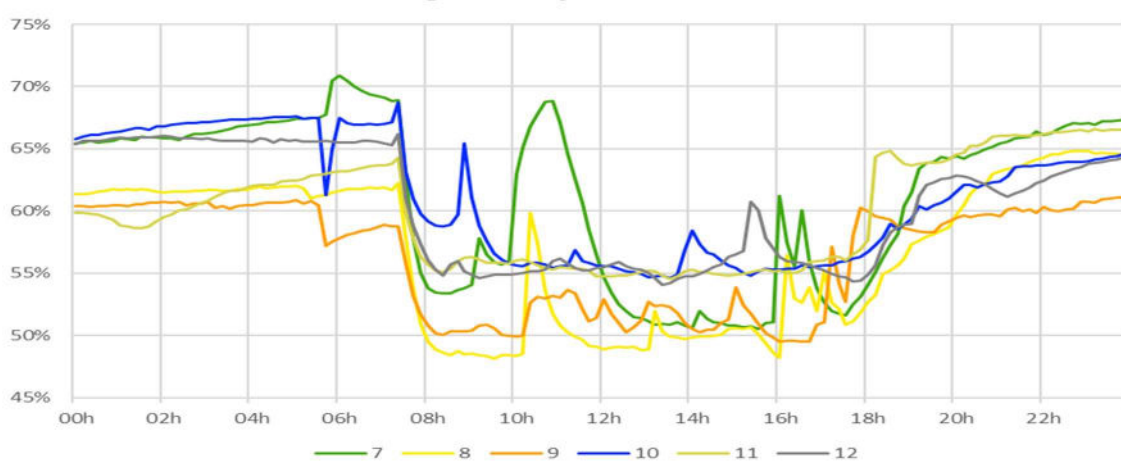
Bureau A406



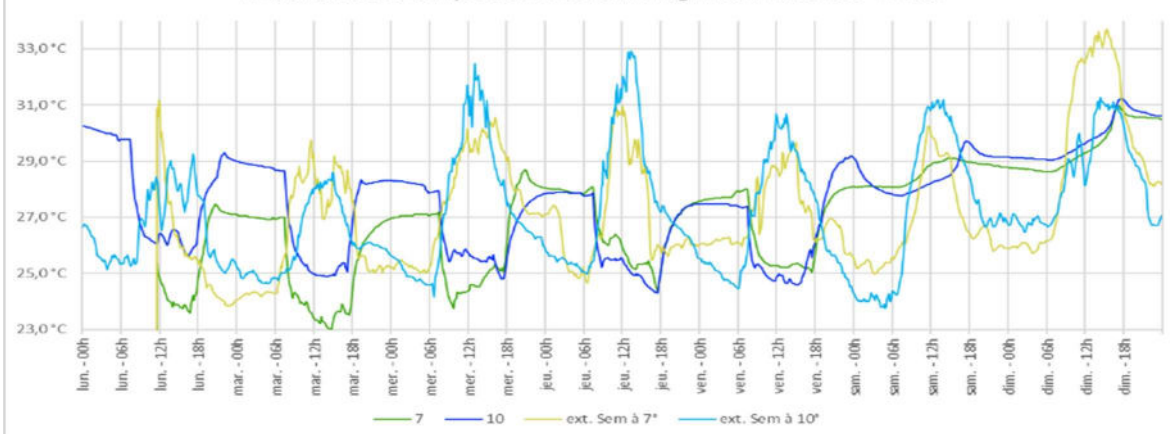
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le jeudi - A406



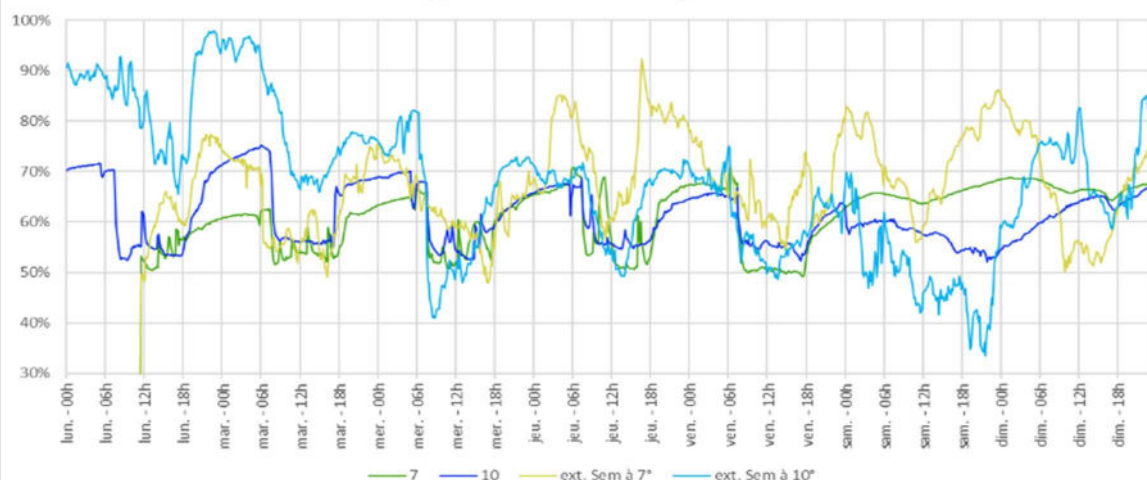
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le jeudi - A406



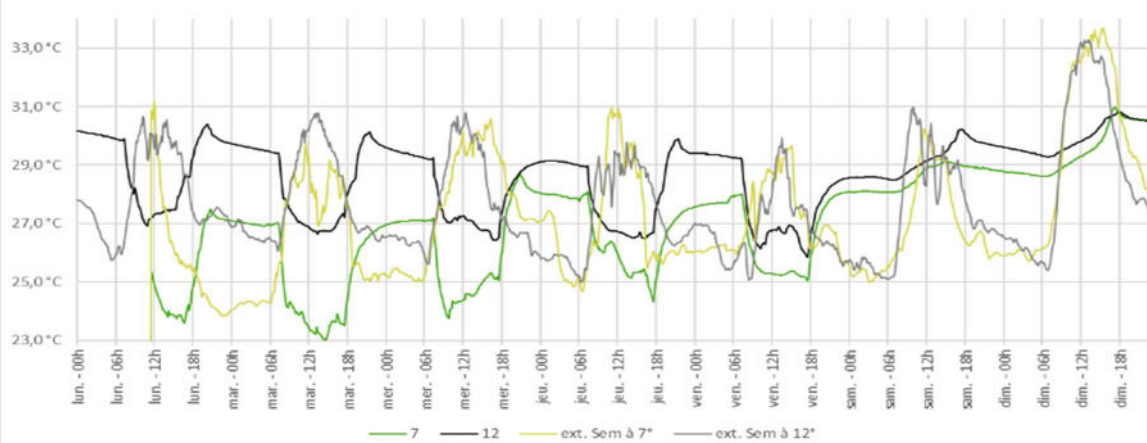
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 10 - A406



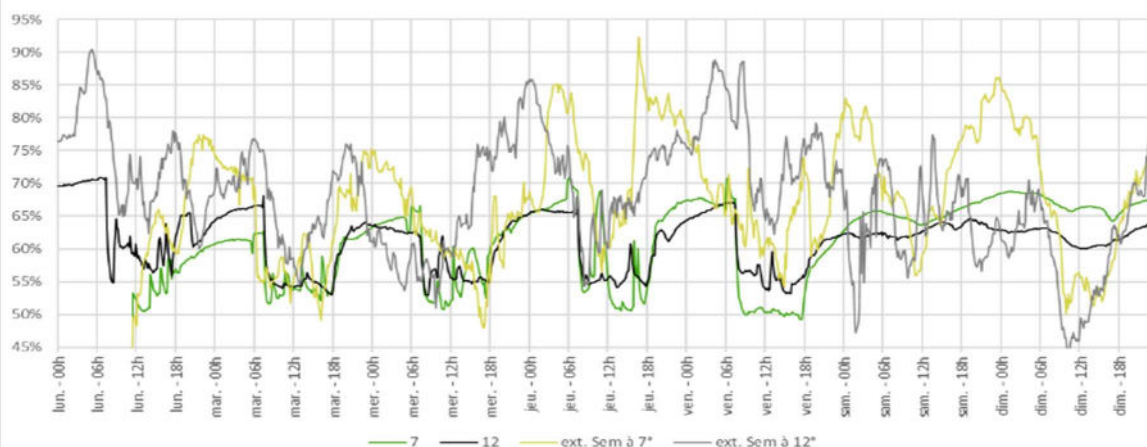
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - A406



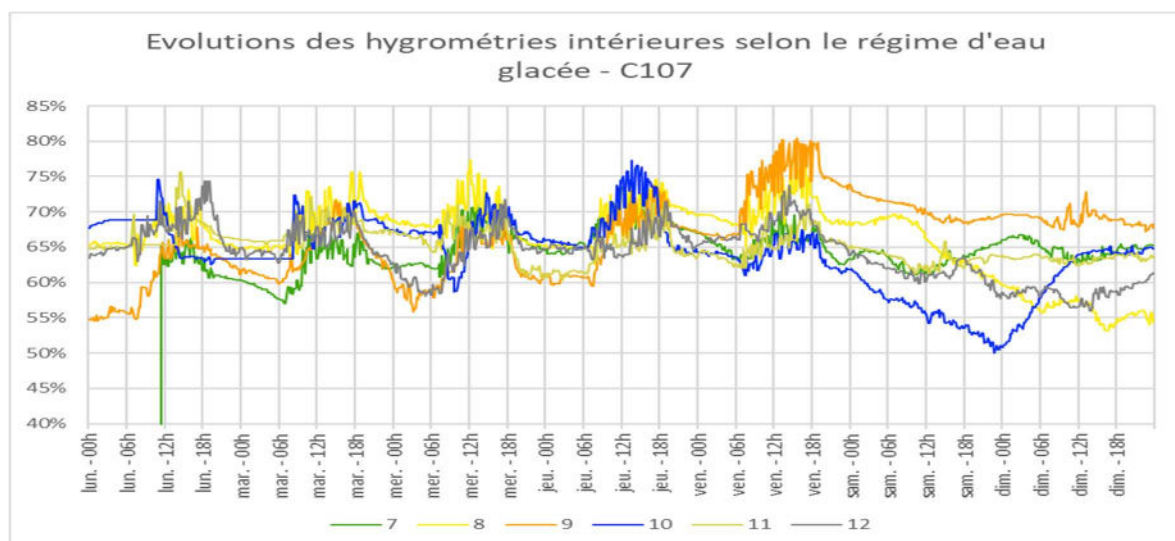
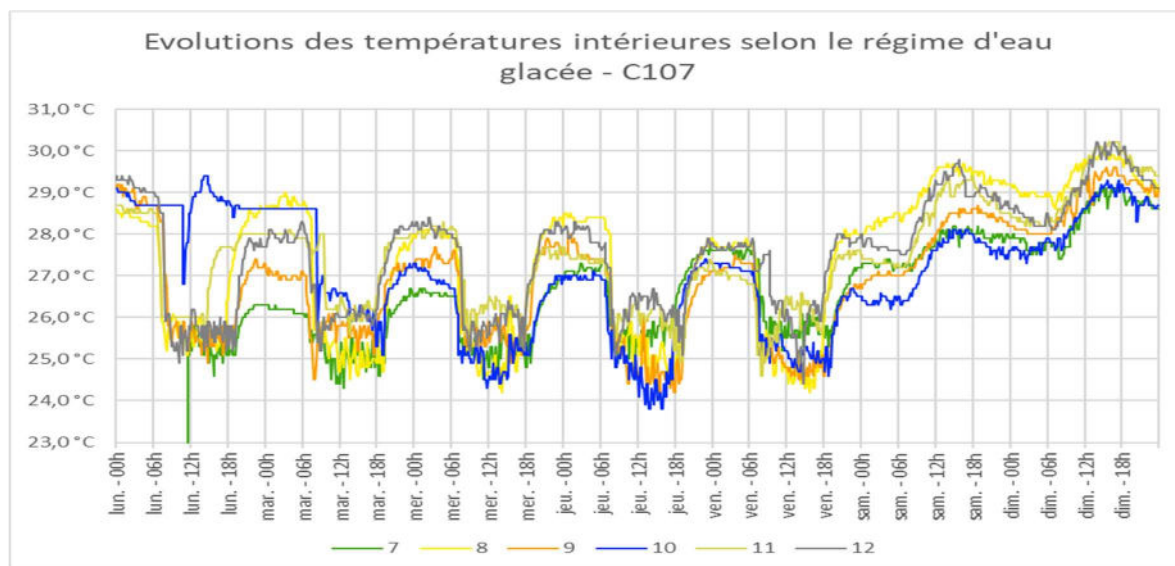
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 12 - A406



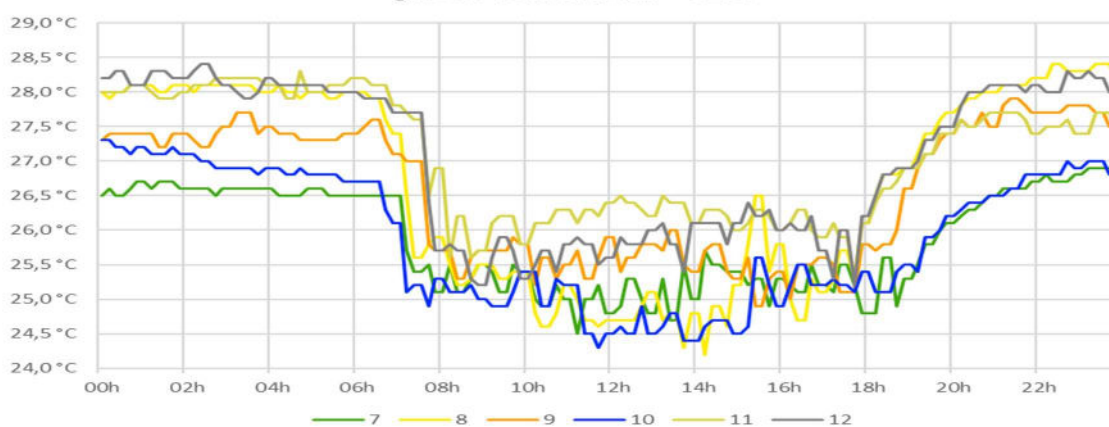
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 12 - A406



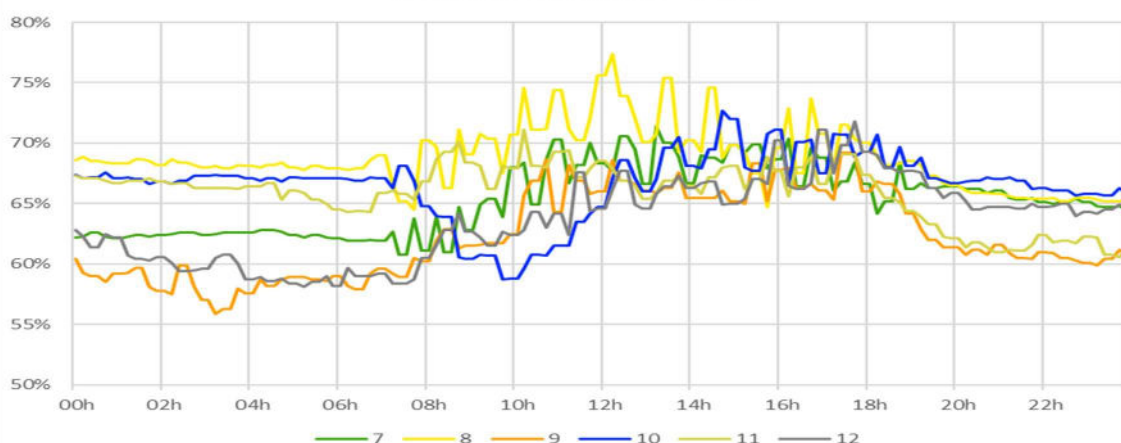
Bureau C107 :



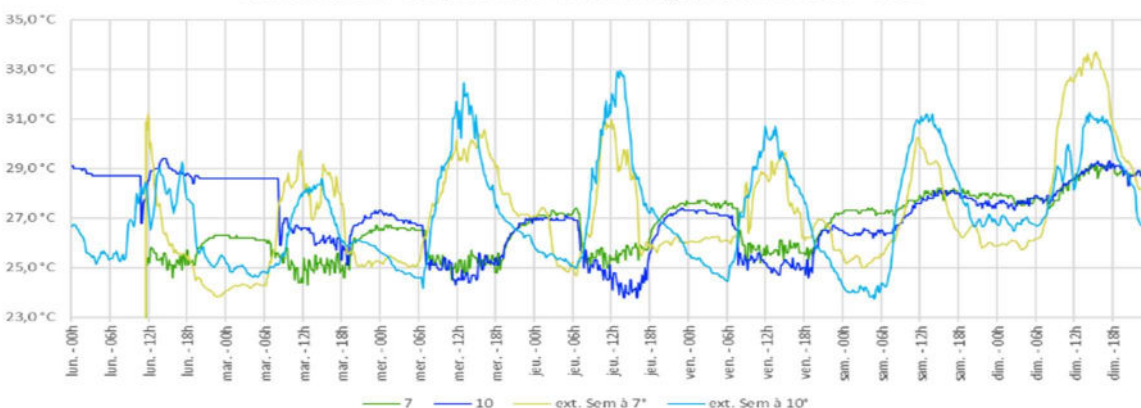
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le mercredi - C107



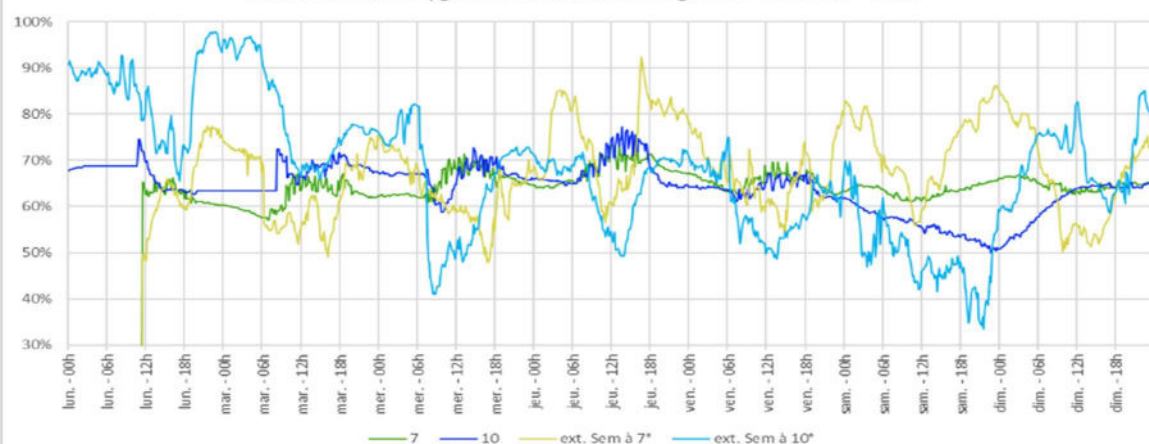
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le mercredi - C107



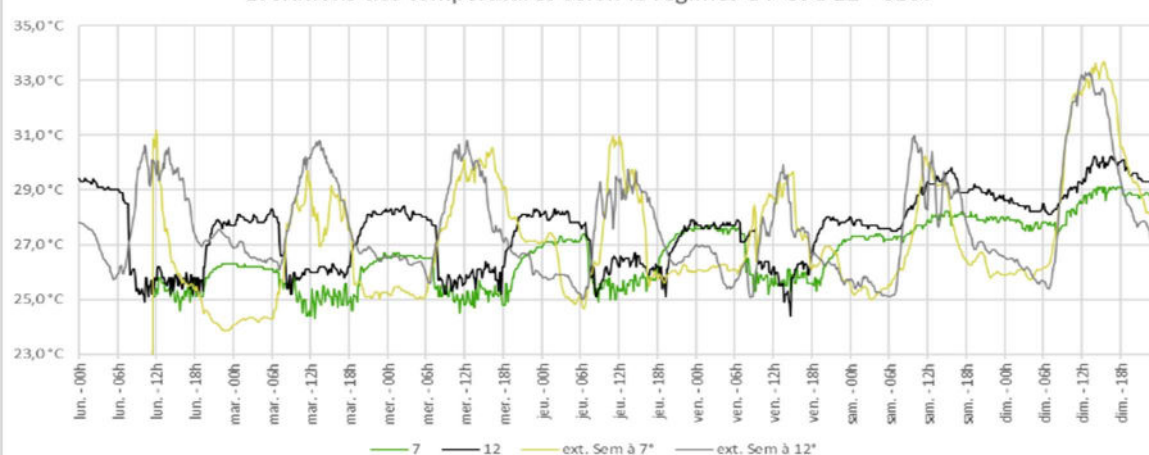
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 10 - C107



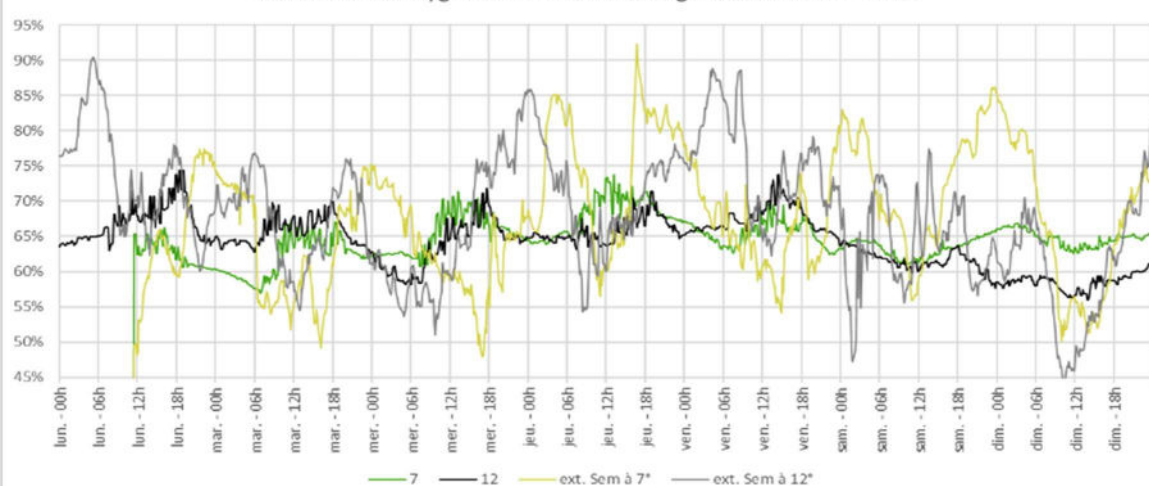
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - C107



Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 12 - C107

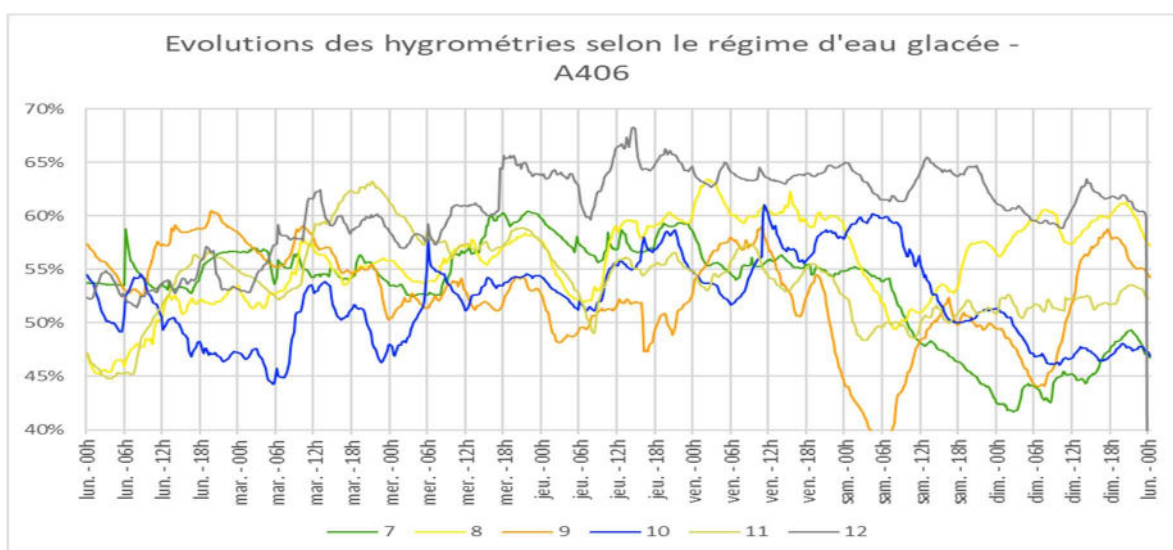
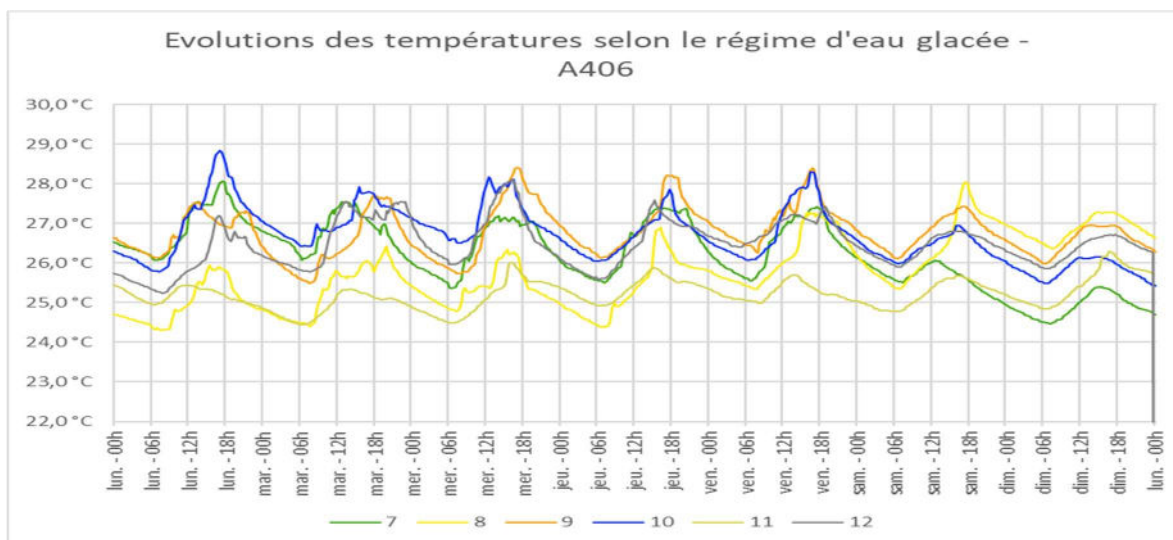


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 12 - C107

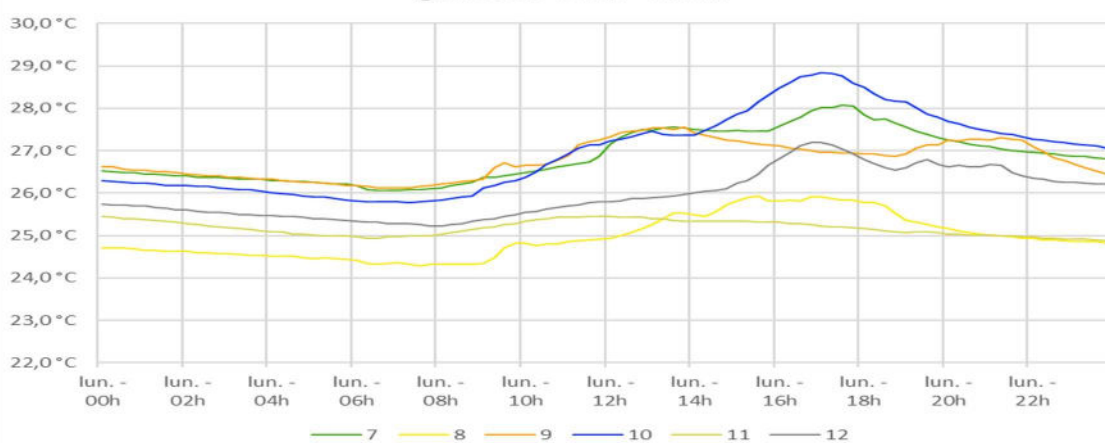


4.2 ANNEXE 2 SAISON INTERMEDIAIRE REUNION – BEO Université

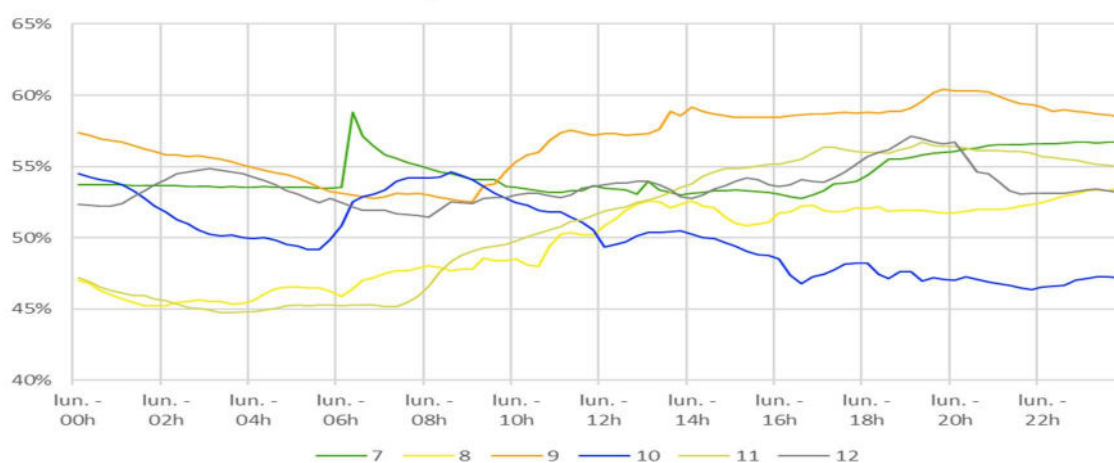
Bureau A406 :



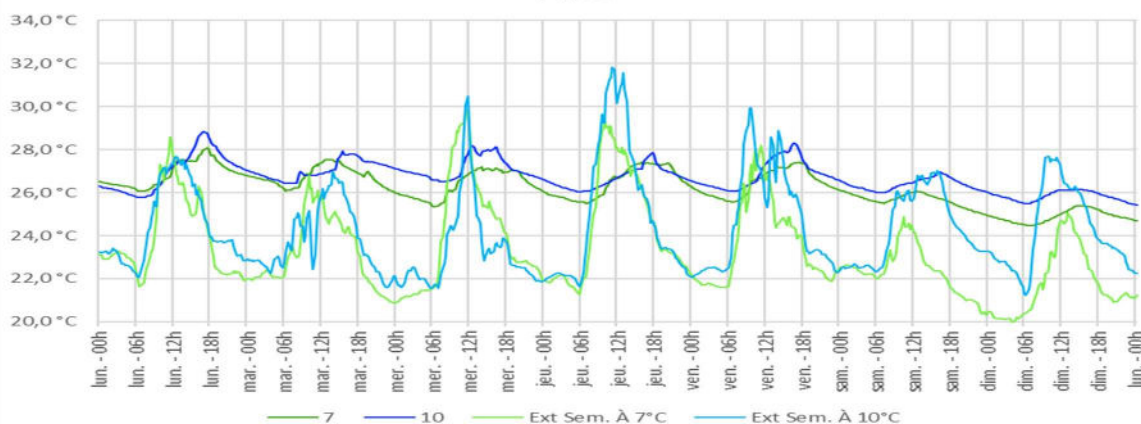
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - A406



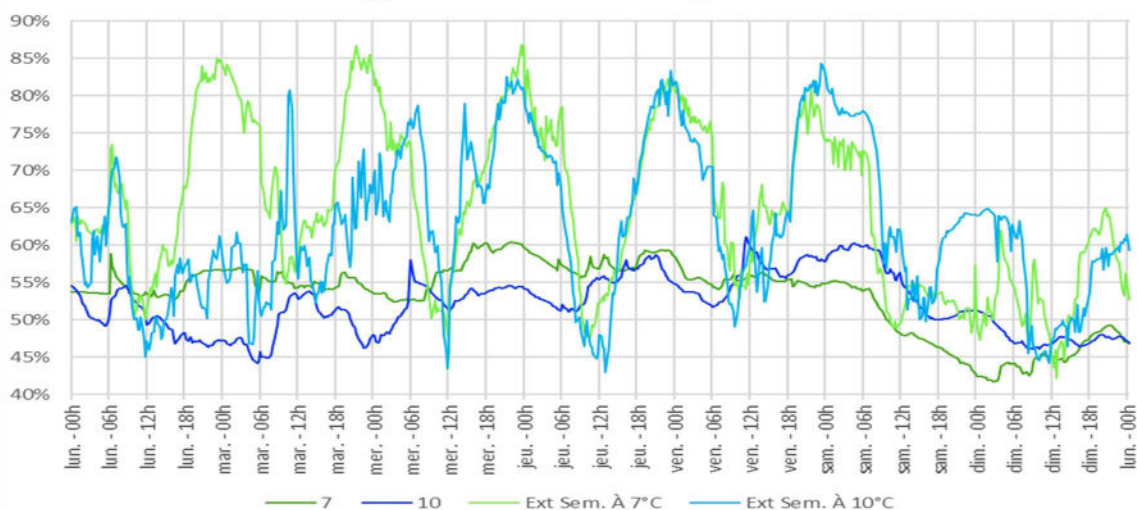
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - A406



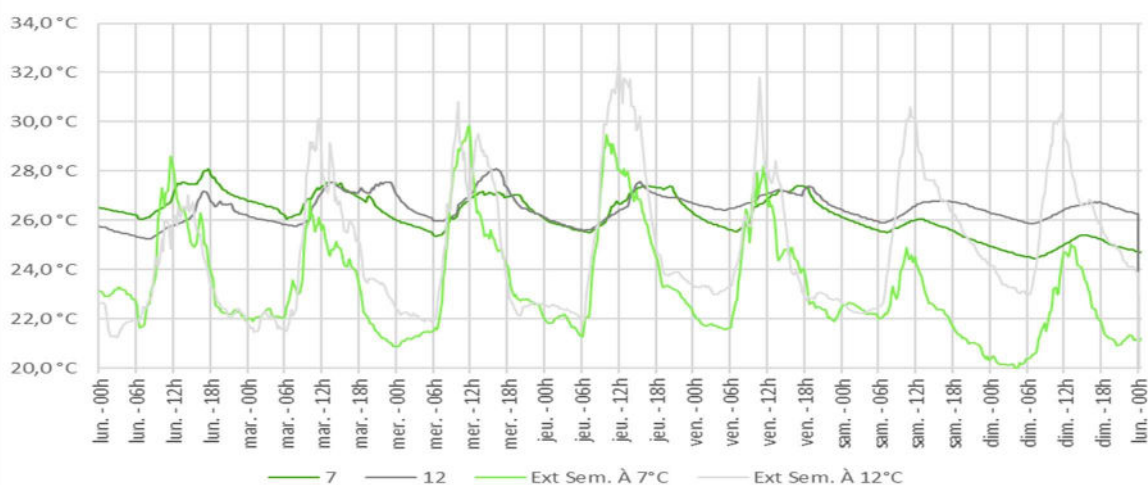
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 10 - A406

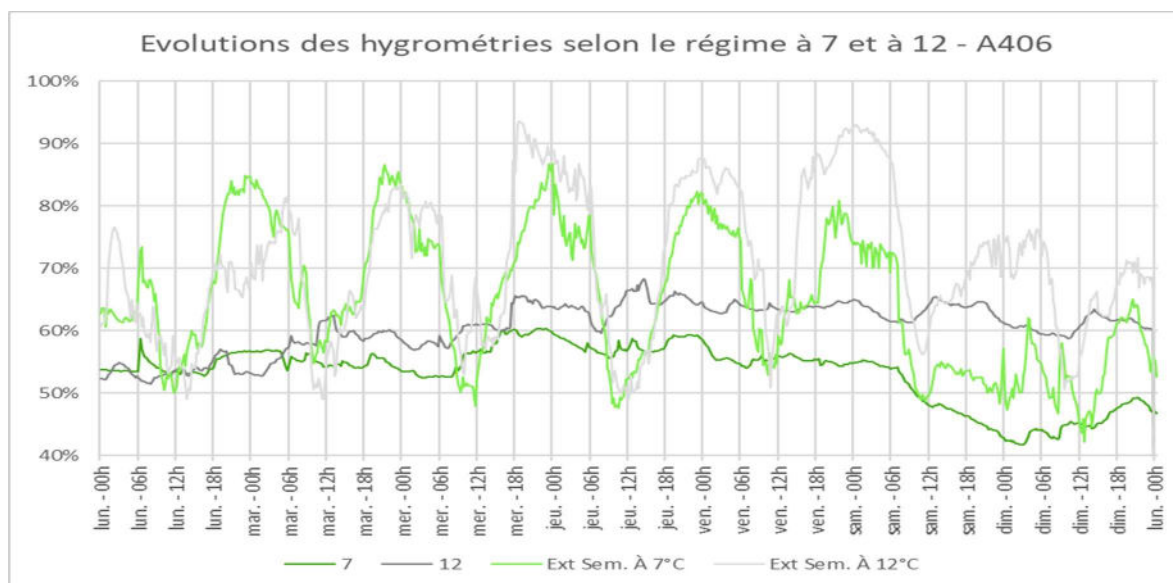


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - A406

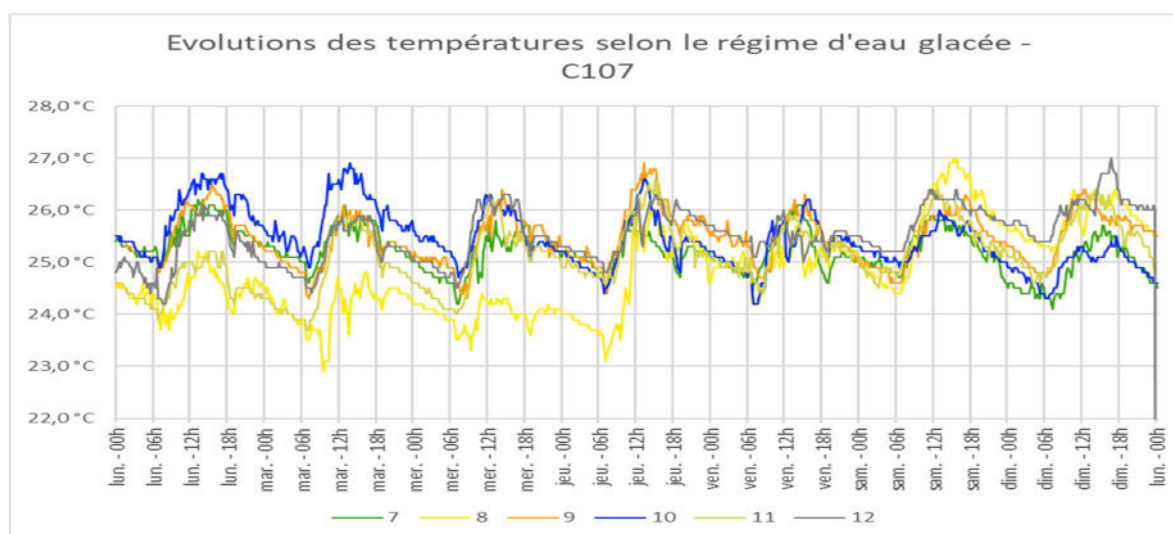


Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 12 - A406

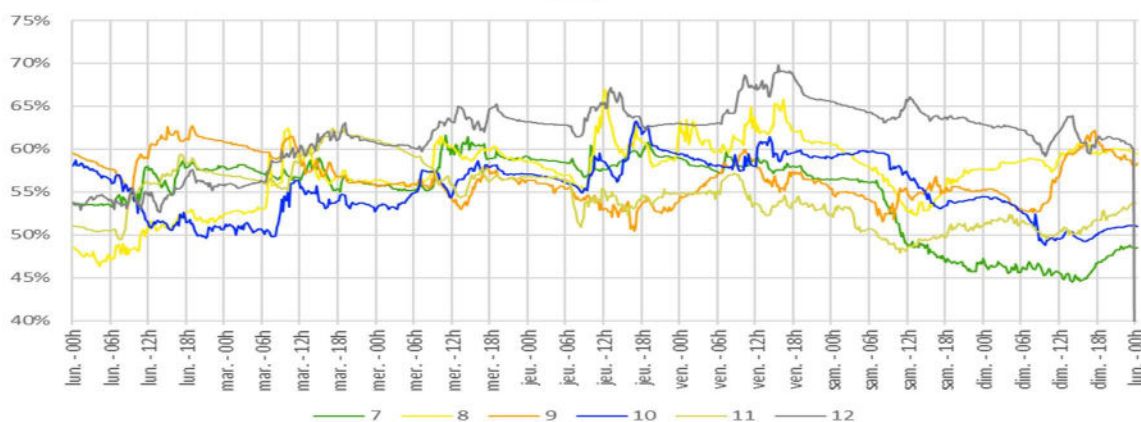




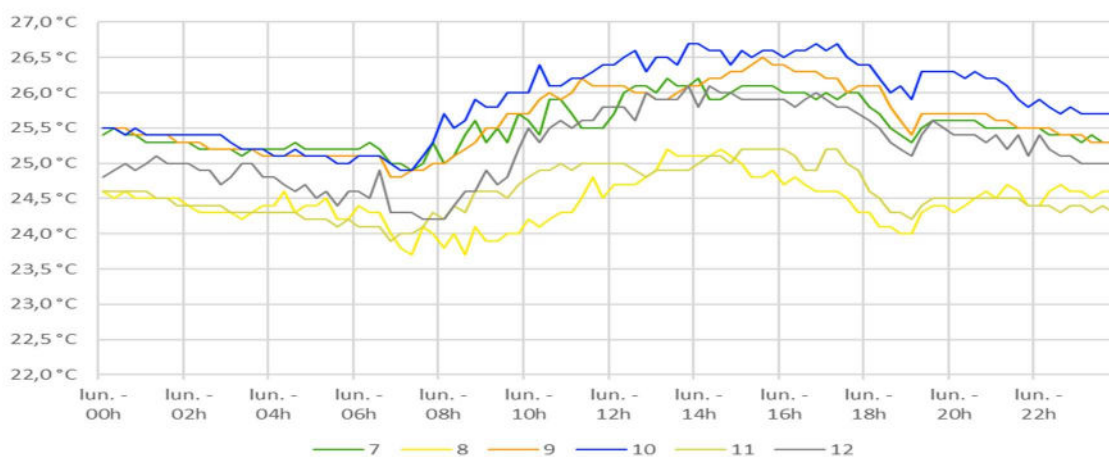
Bureau C107 :



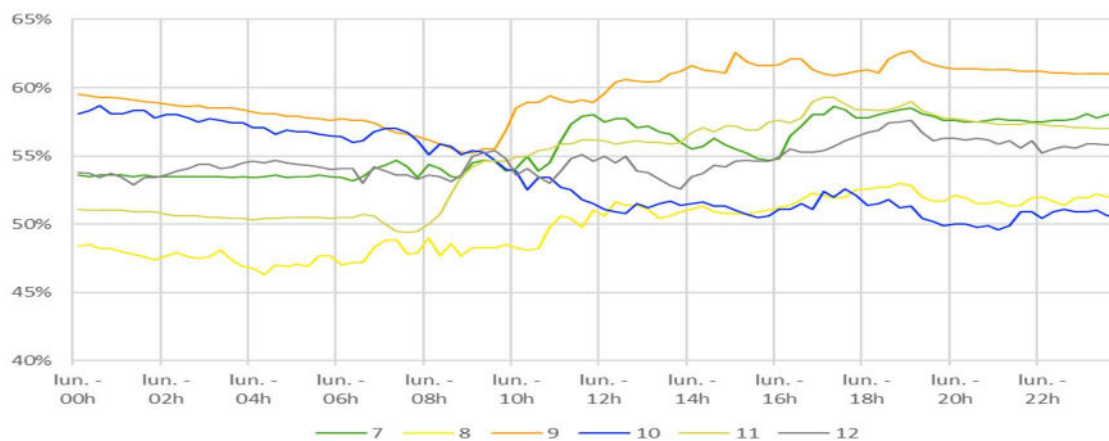
Evolutions des hygrométries selon le régime d'eau glacée - C107



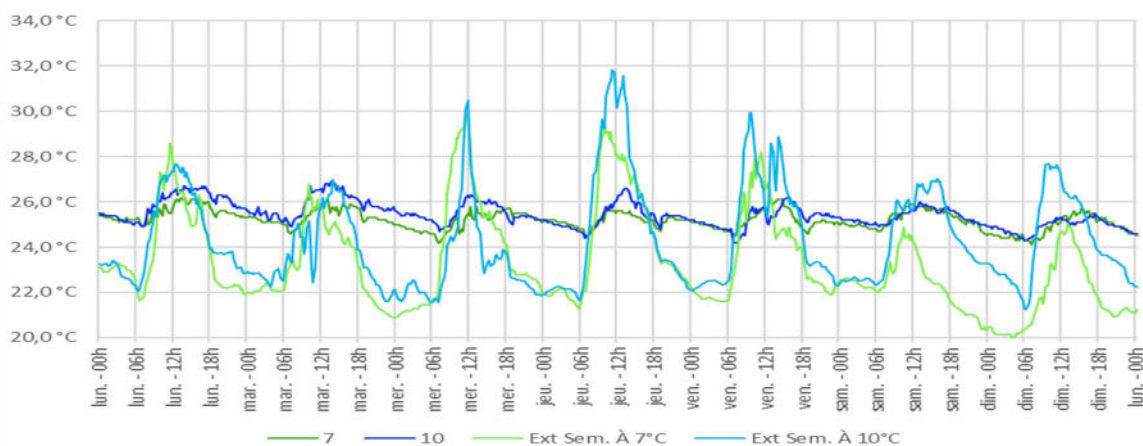
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - C107



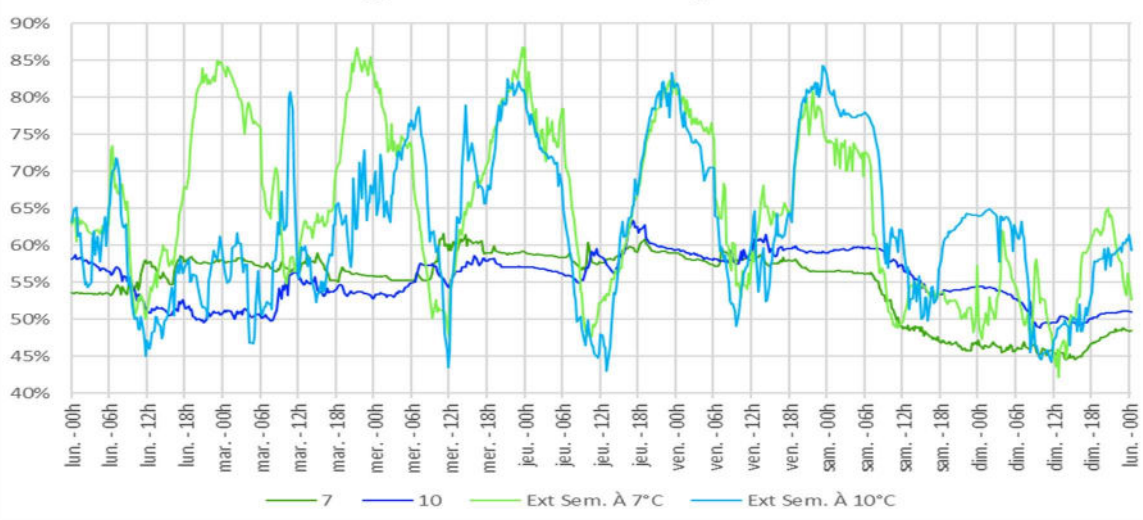
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - C107



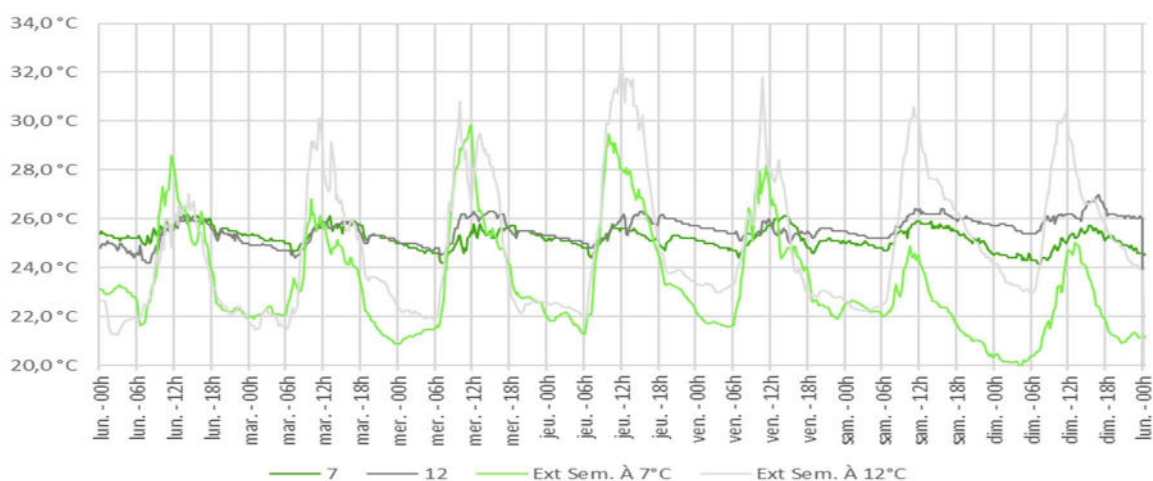
Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 10 - C107



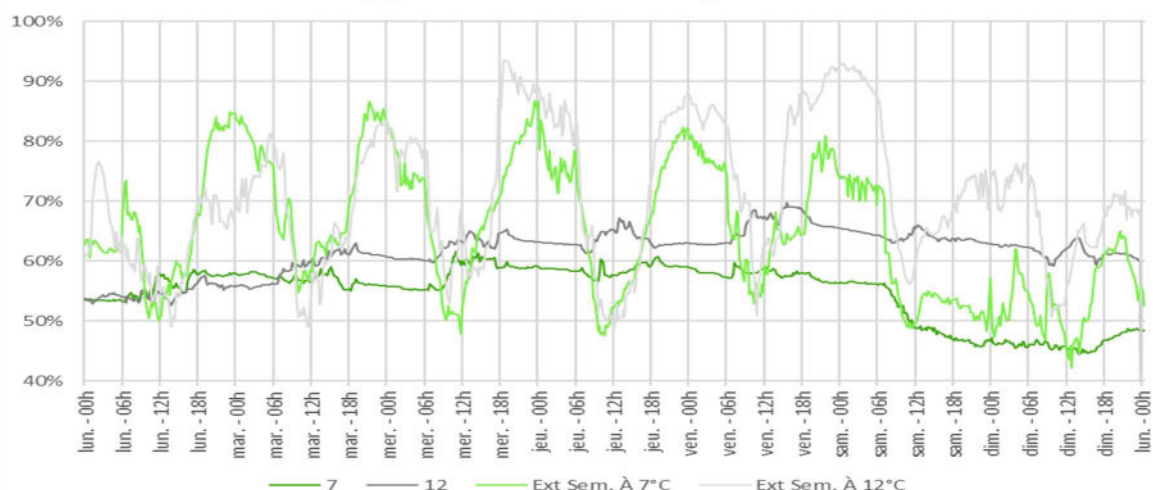
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - C107



Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 12 -
C107

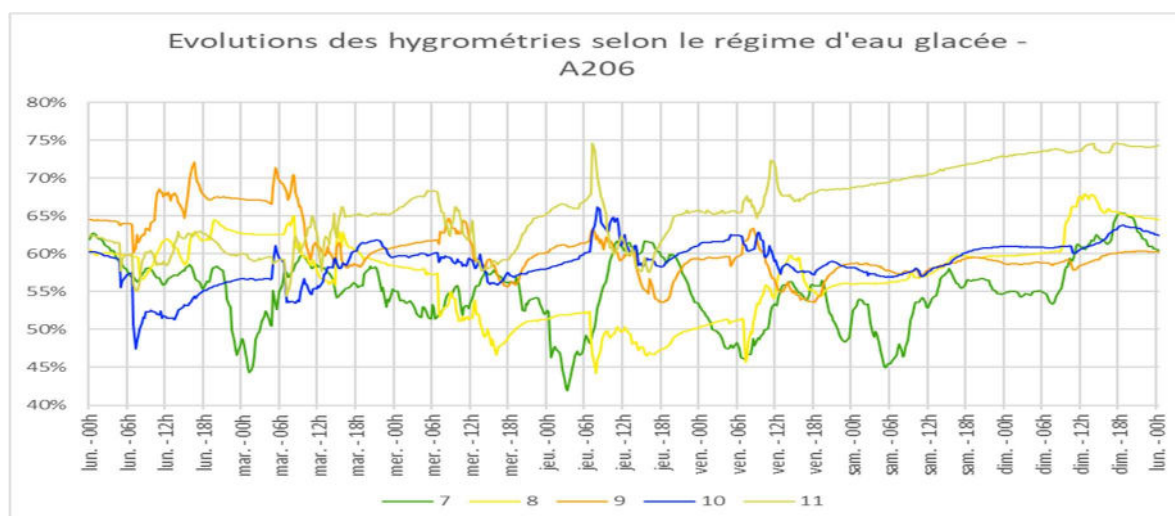
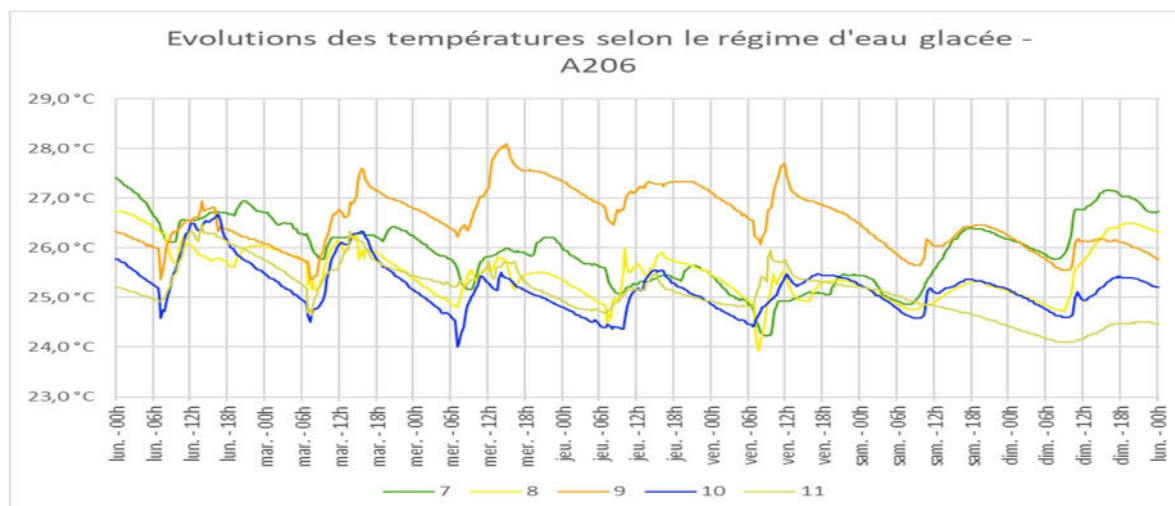


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 12 - C107

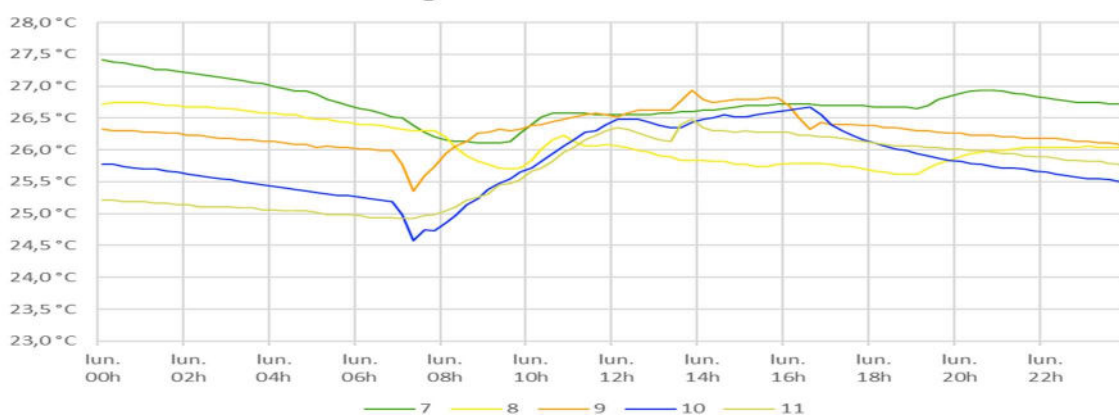


4.3 ANNEXE 3 SAISON HIVER REUNION – BEO Université

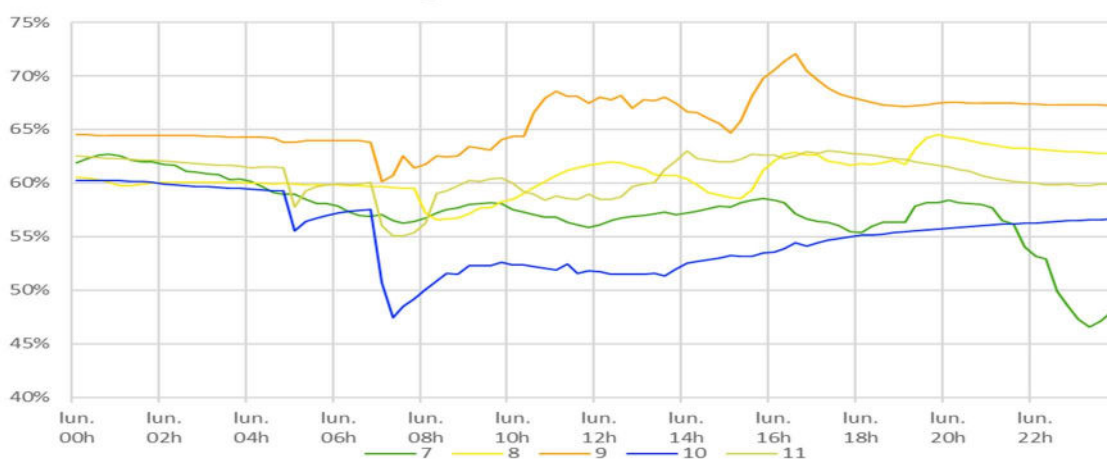
Bureau A206 :



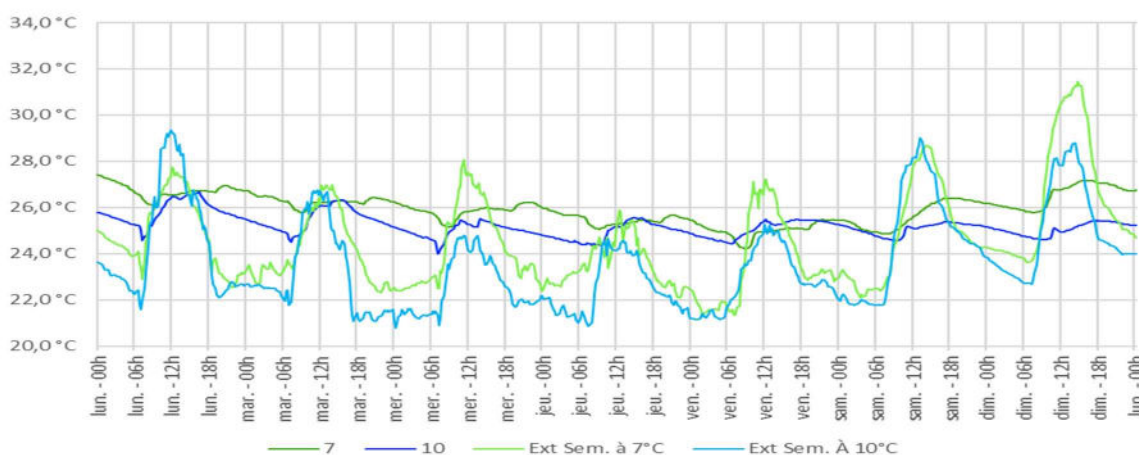
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - A206



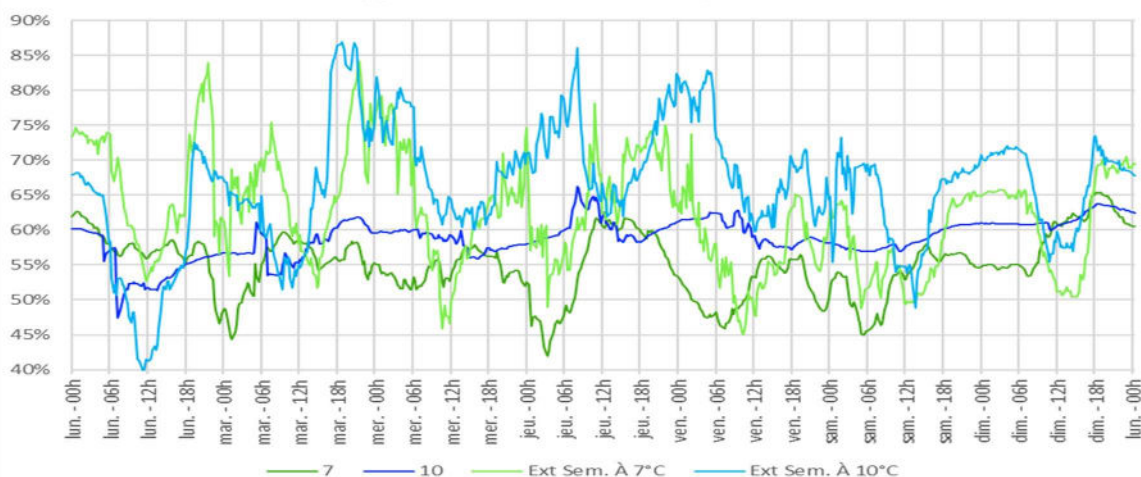
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - A206



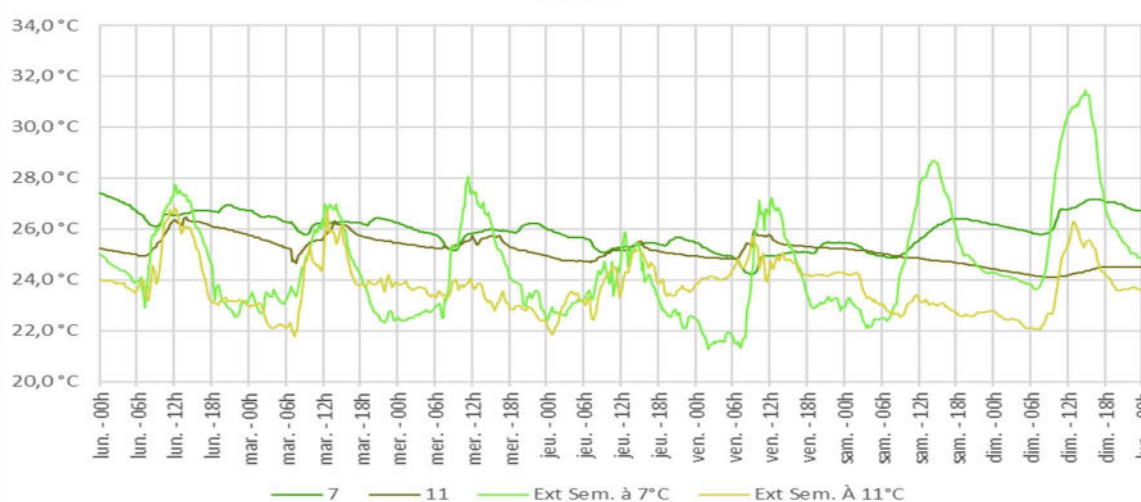
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 10 - A206

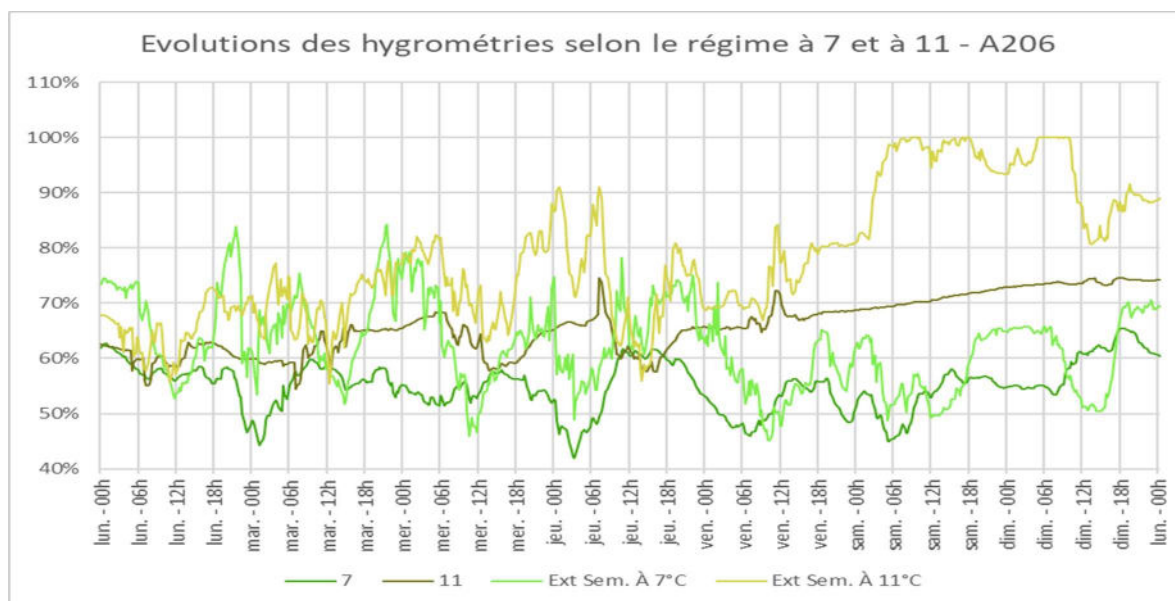


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - A206

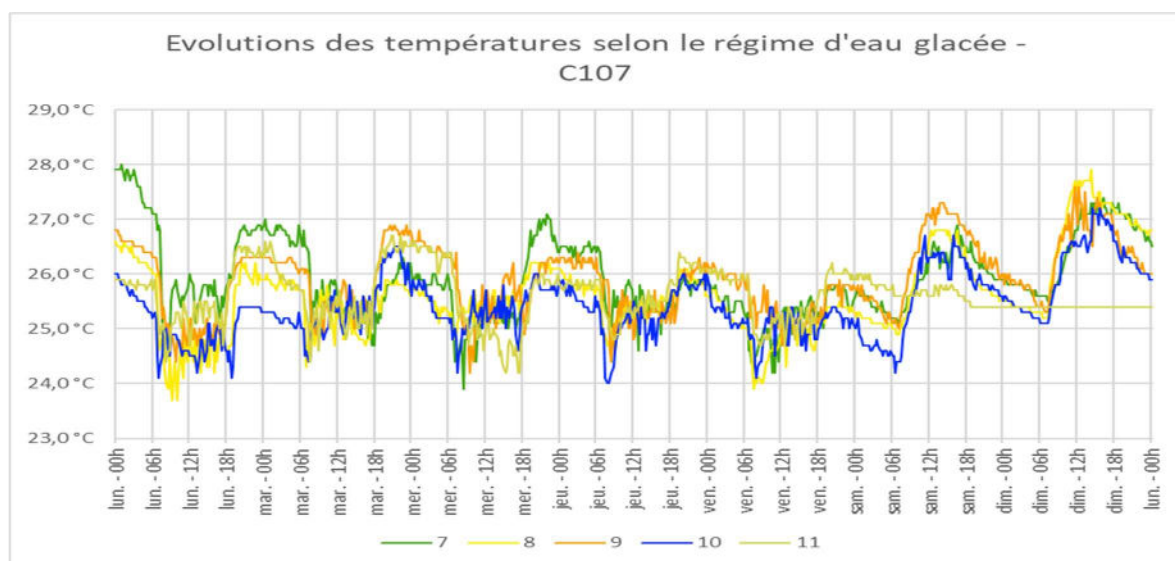


Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 11 - A206

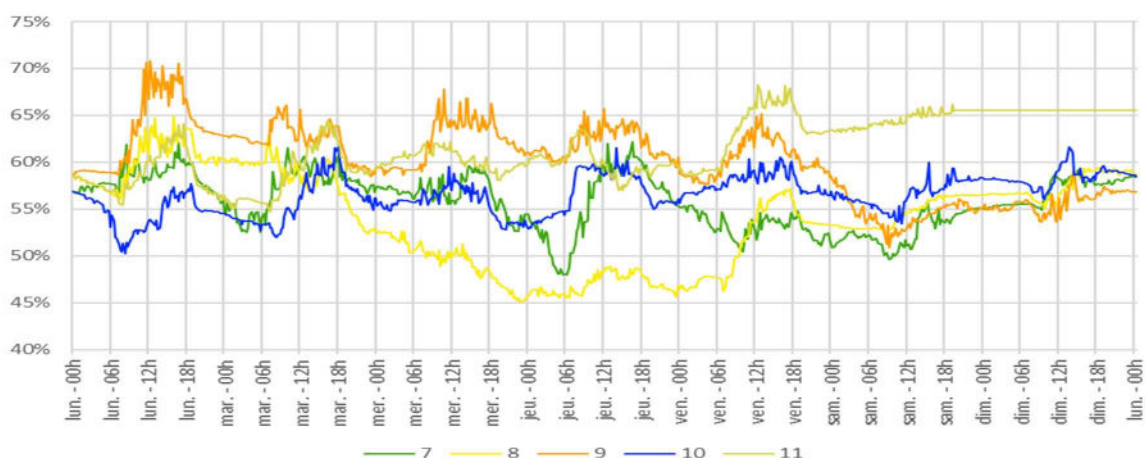




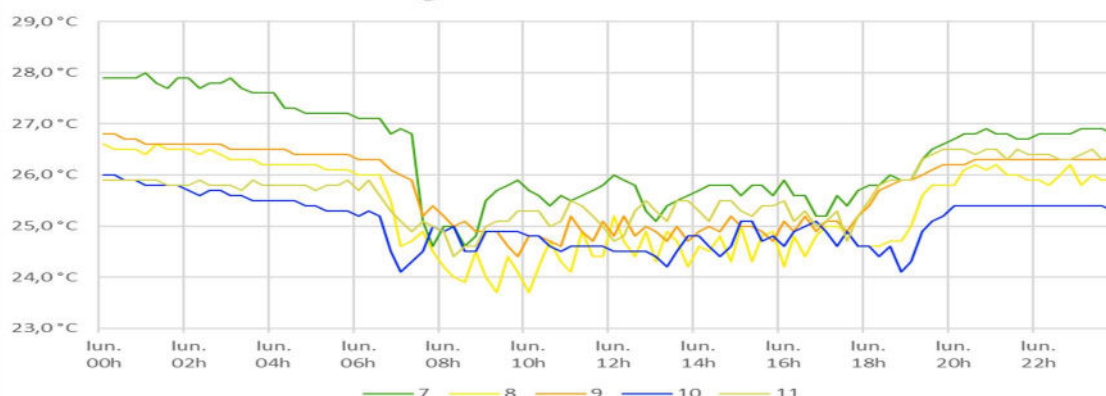
Bureau C107 :



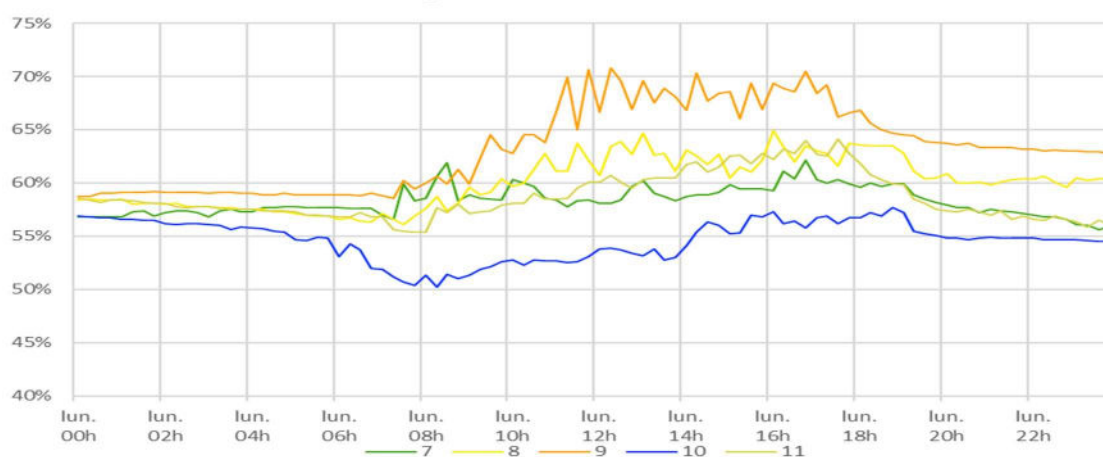
Evolutions des hygrométries selon le régime d'eau glacée - C107



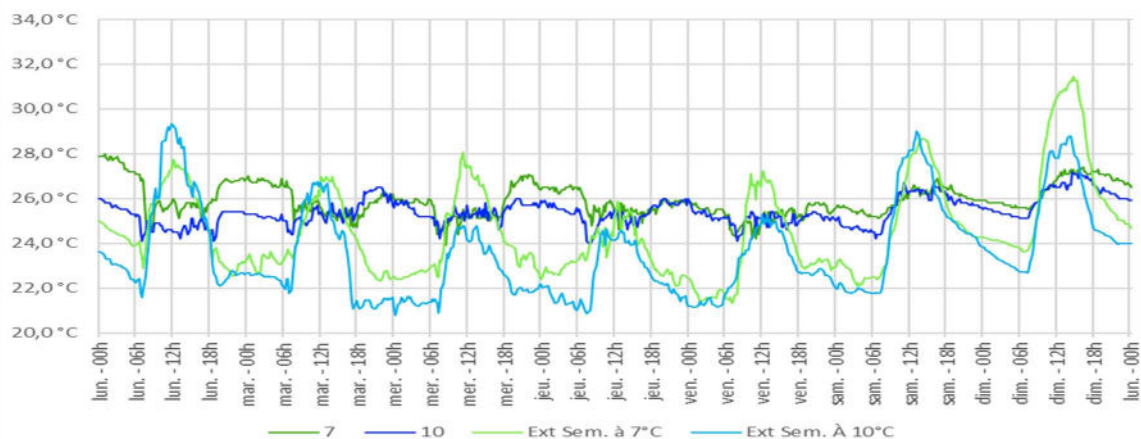
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - C107



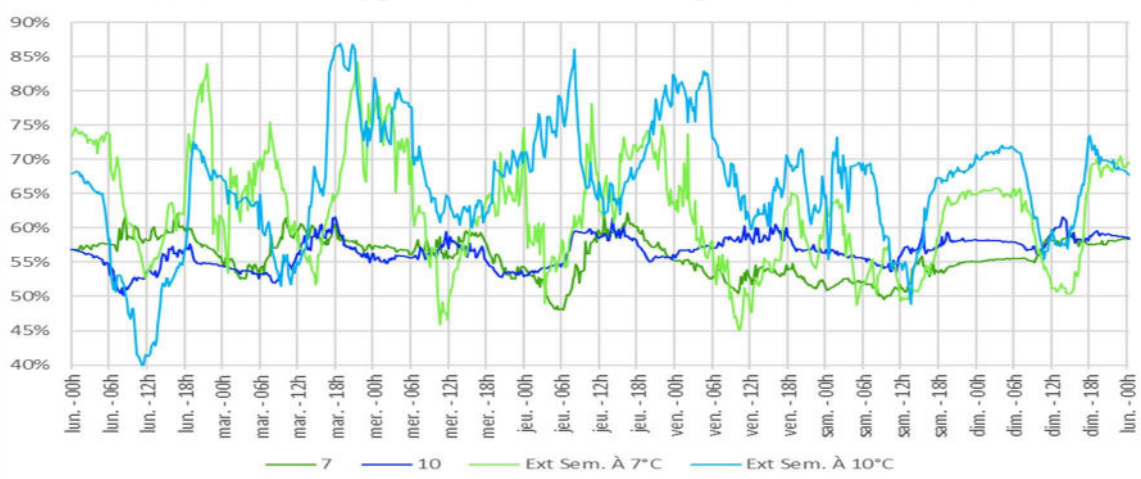
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - C107



Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 10 - C107



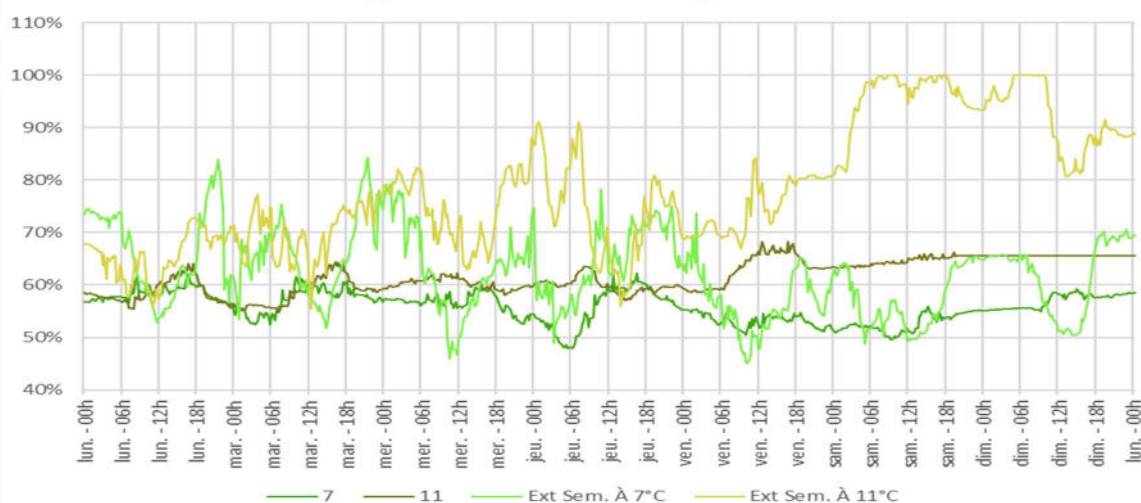
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - C107



Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 11 - C107

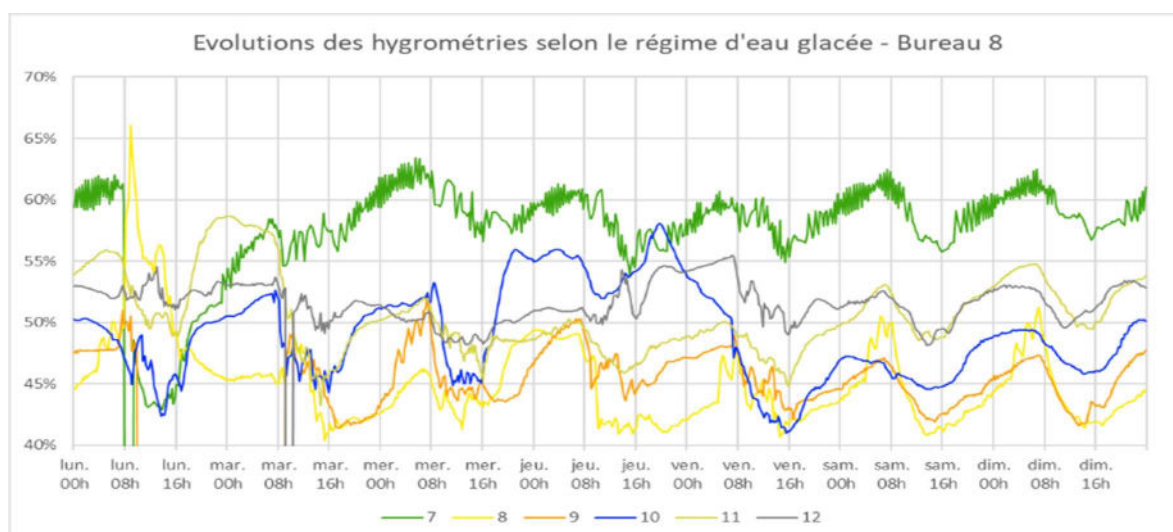
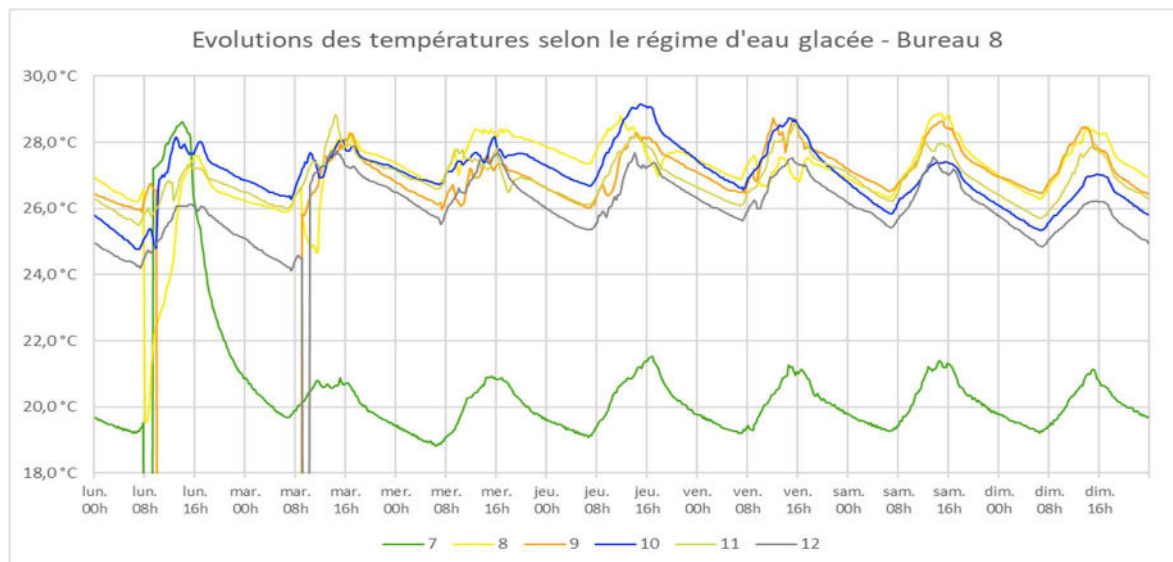


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 11 - C107

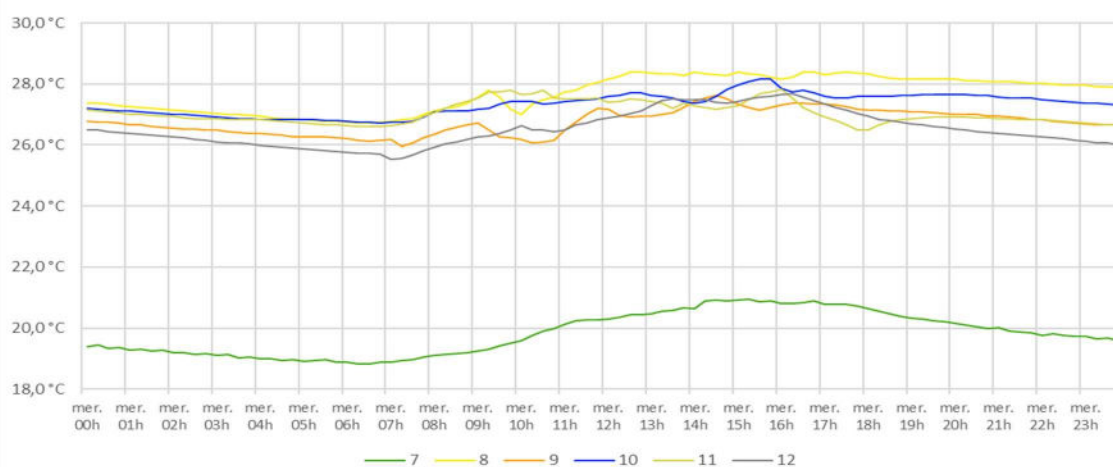


4.4 ANNEXE 4 SAISON INTERMEDIAIRE REUNION – EPSMR

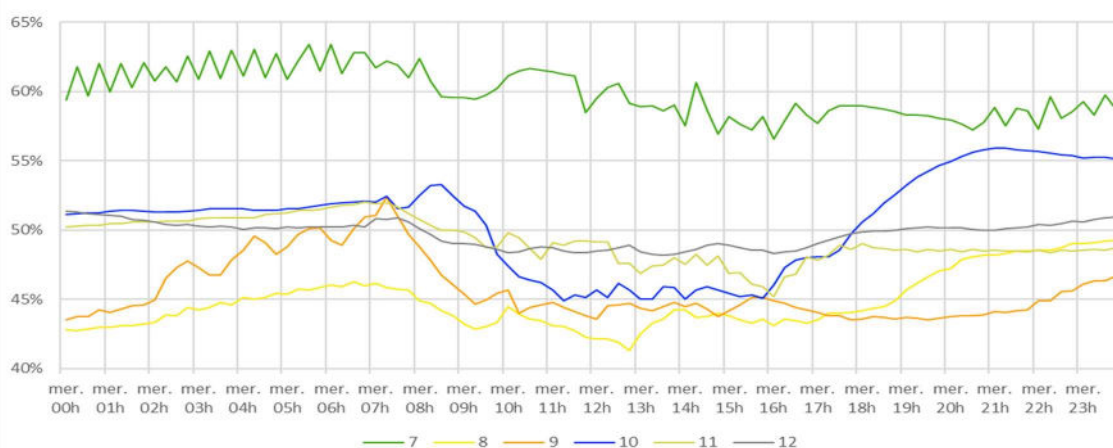
Bureau 8 :



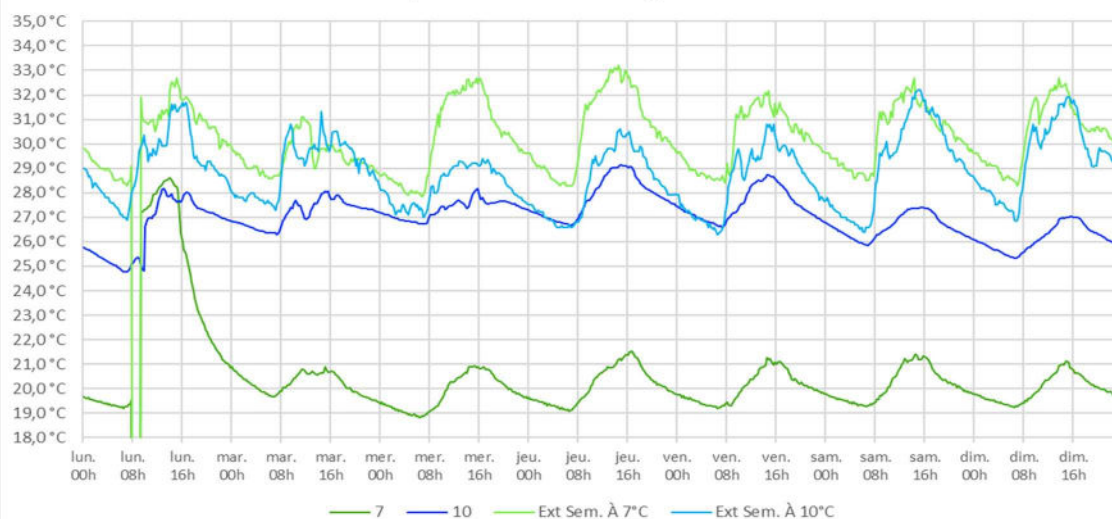
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le
mercredi - Bureau 8



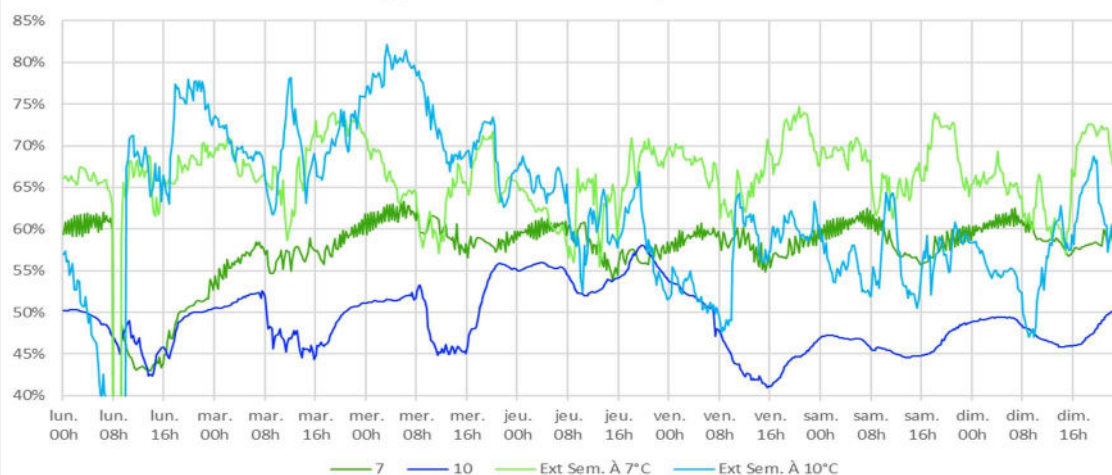
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le
mercredi - Bureau 8



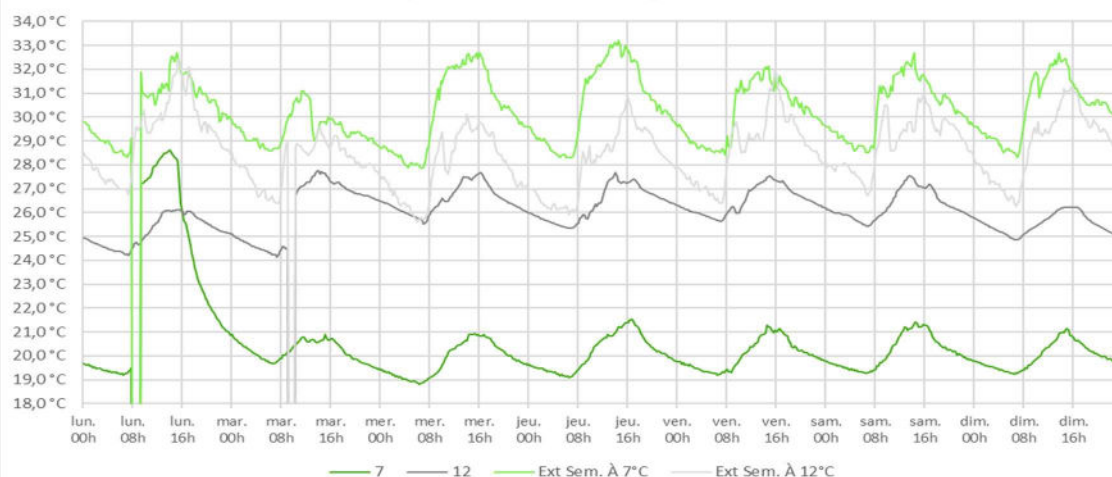
Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 10 - Bureau 8

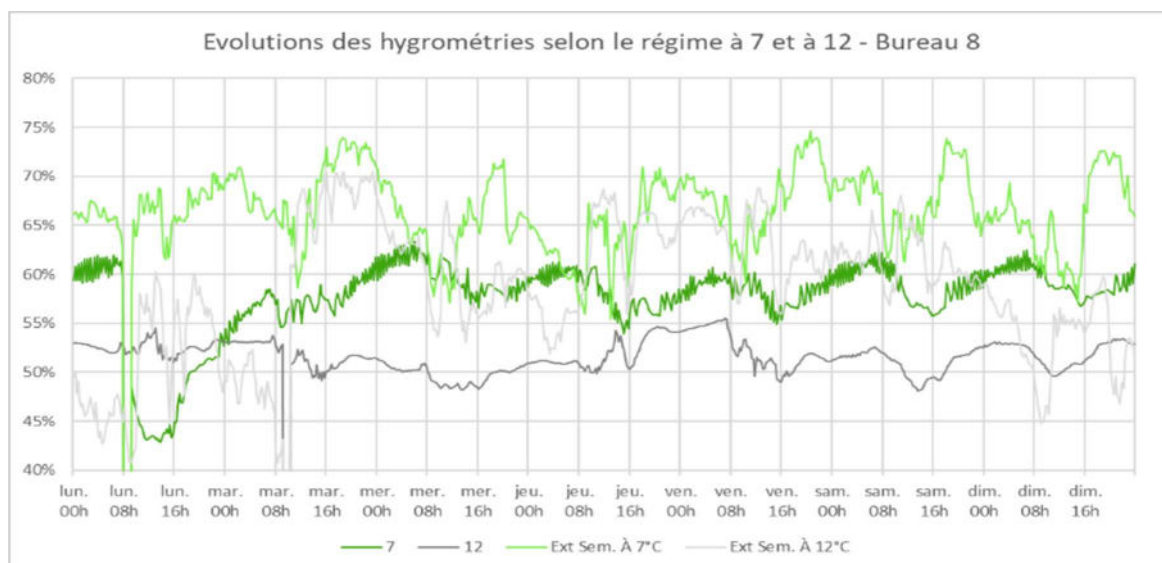


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - Bureau 8

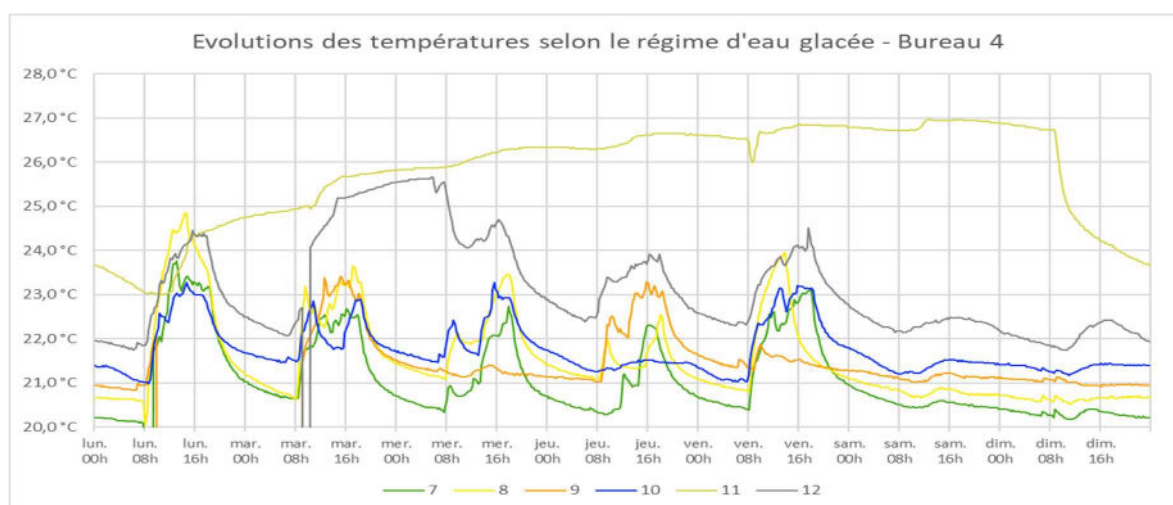


Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 12 - Bureau 8

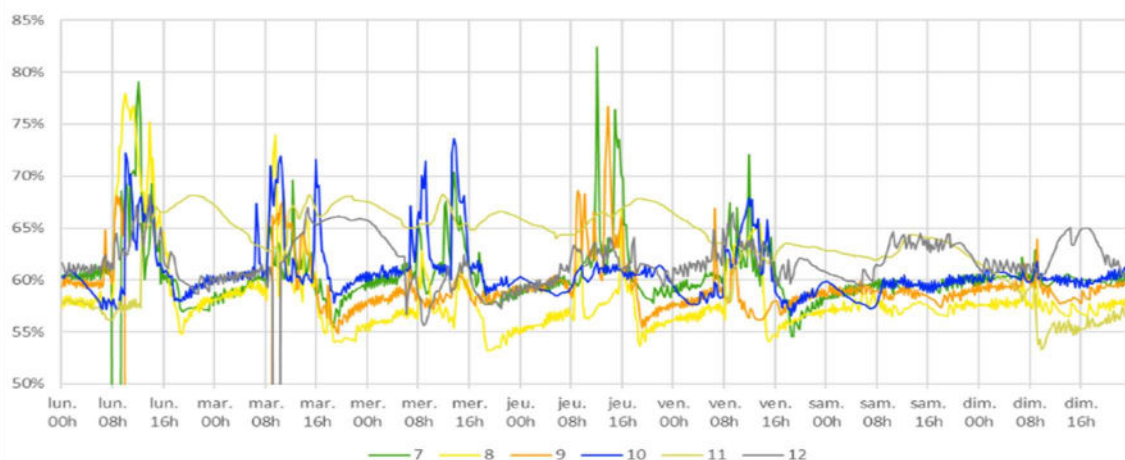




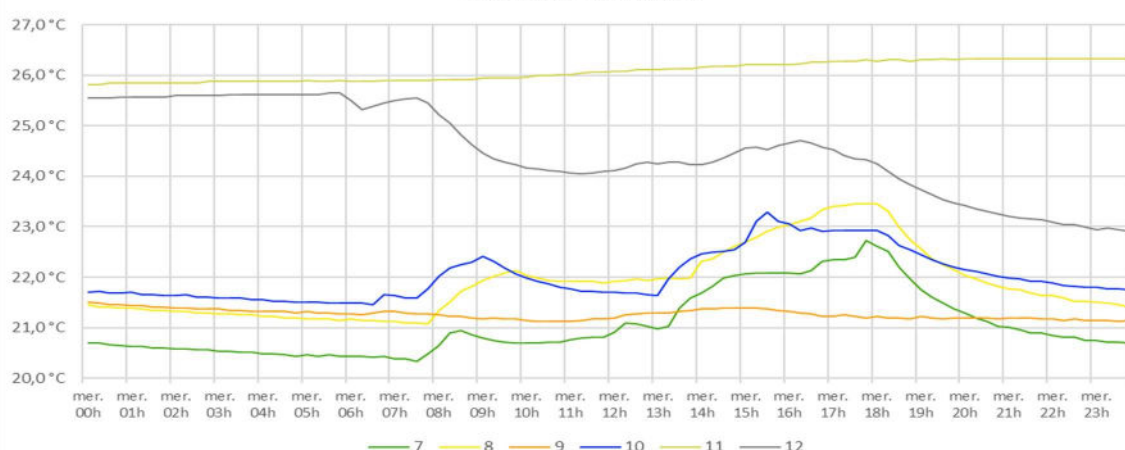
Bureau 4 :



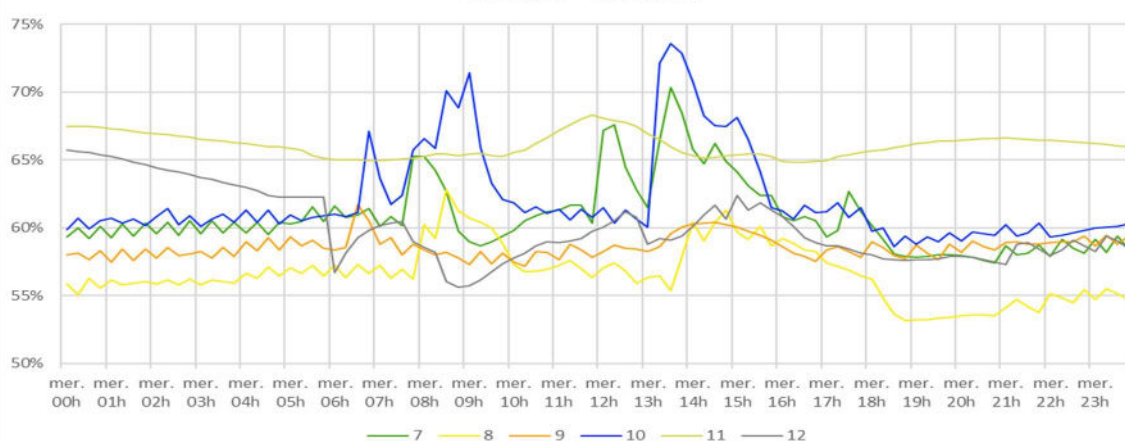
Evolutions des hygrométries selon le régime d'eau glacée - Bureau 4



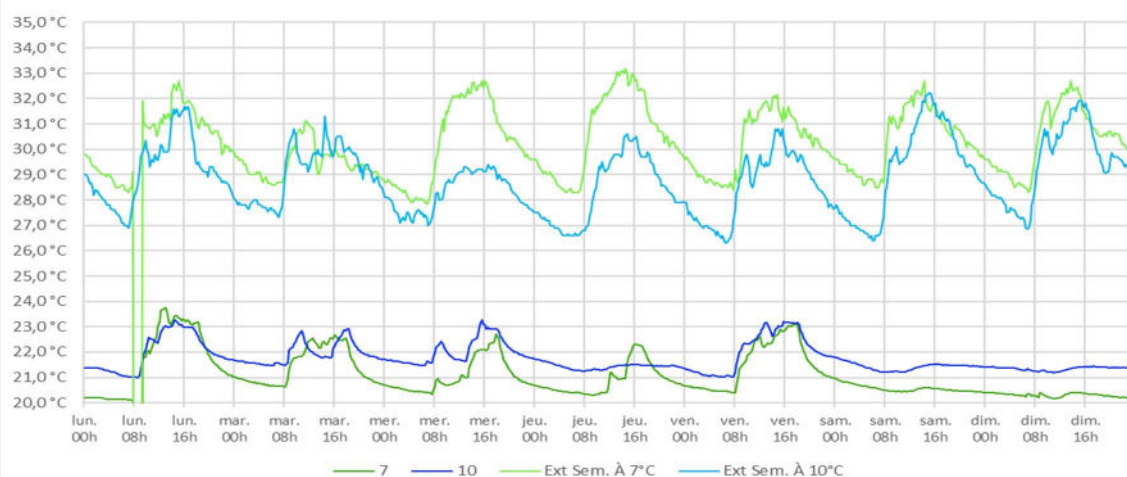
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le mercredi - Bureau 4



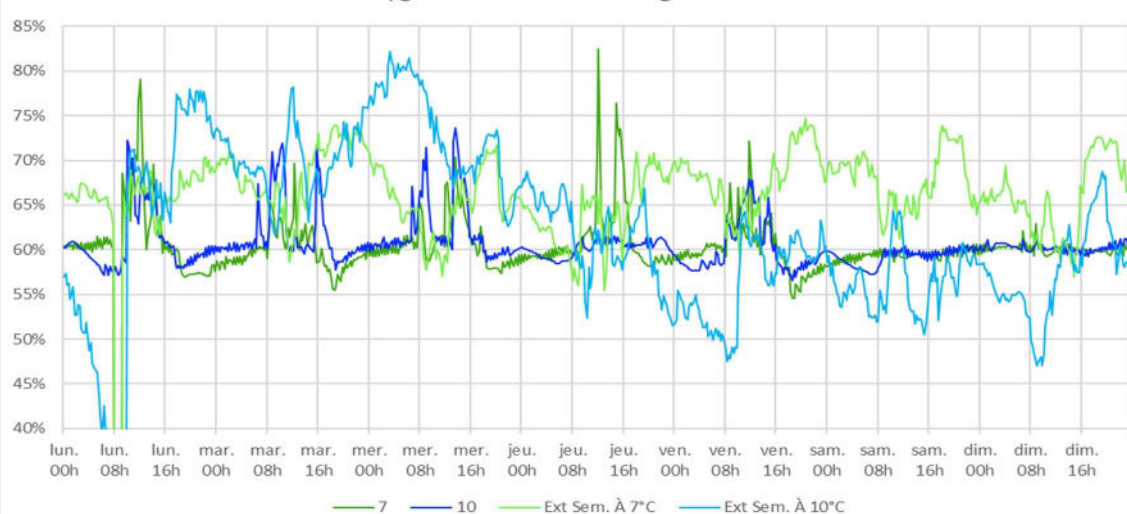
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le mercredi - Bureau 4



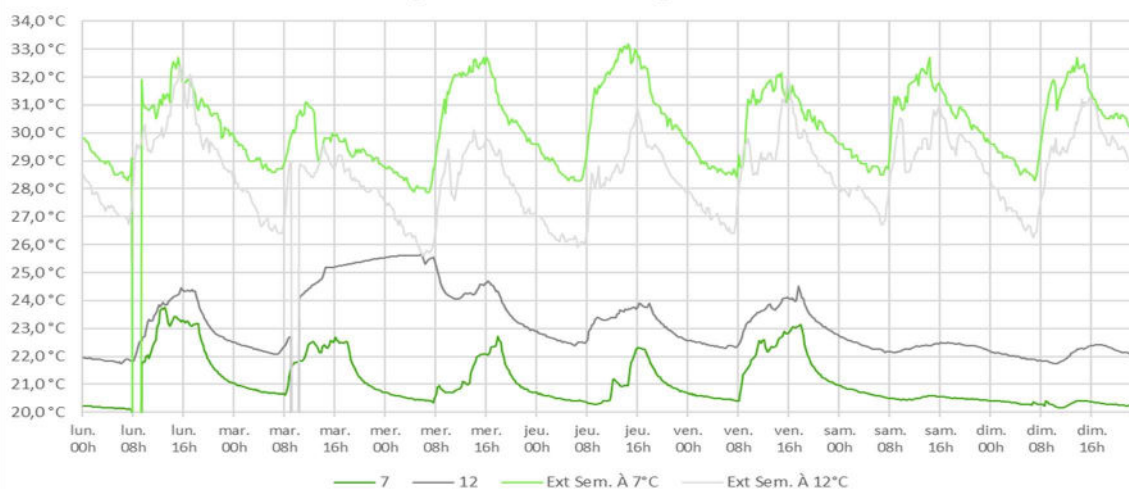
Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 10 - Bureau 4



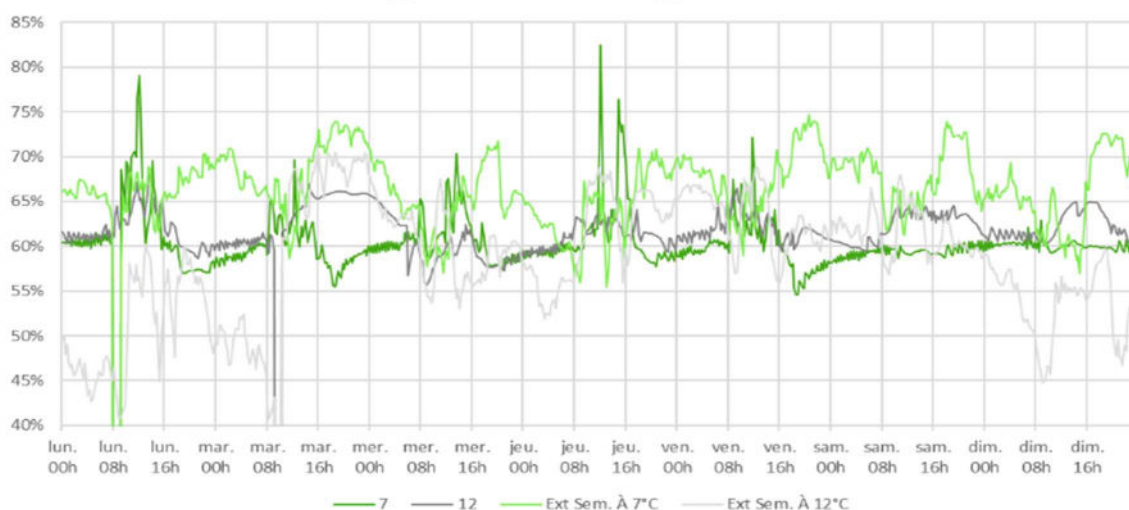
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - Bureau 4



Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 12 - Bureau 4

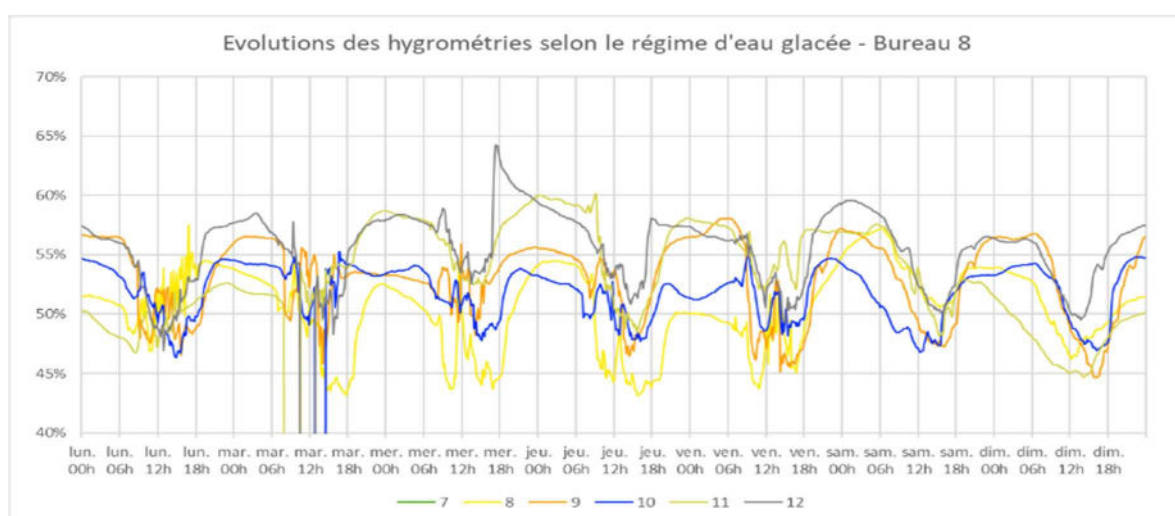
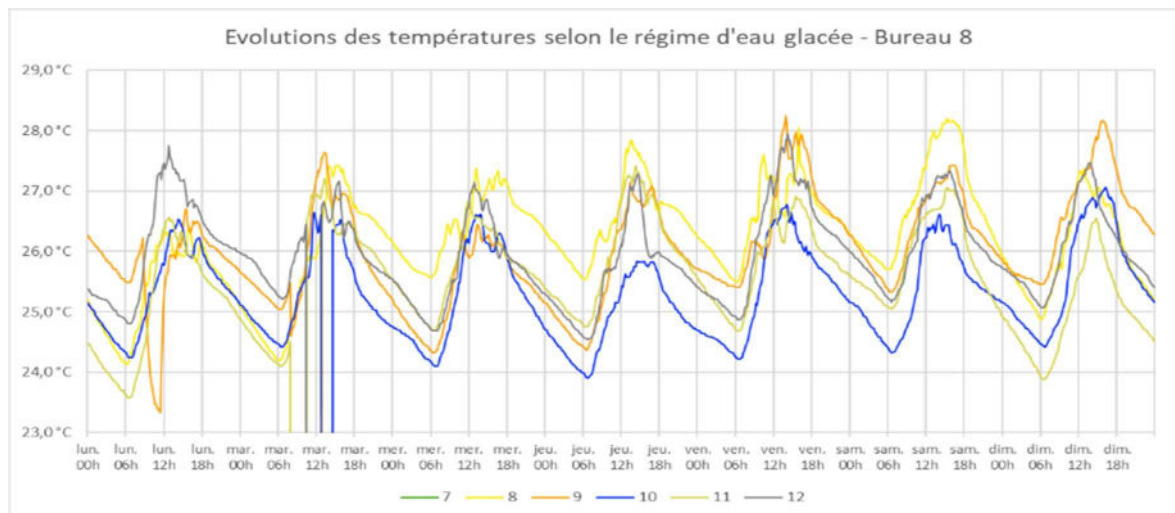


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 12 - Bureau 4

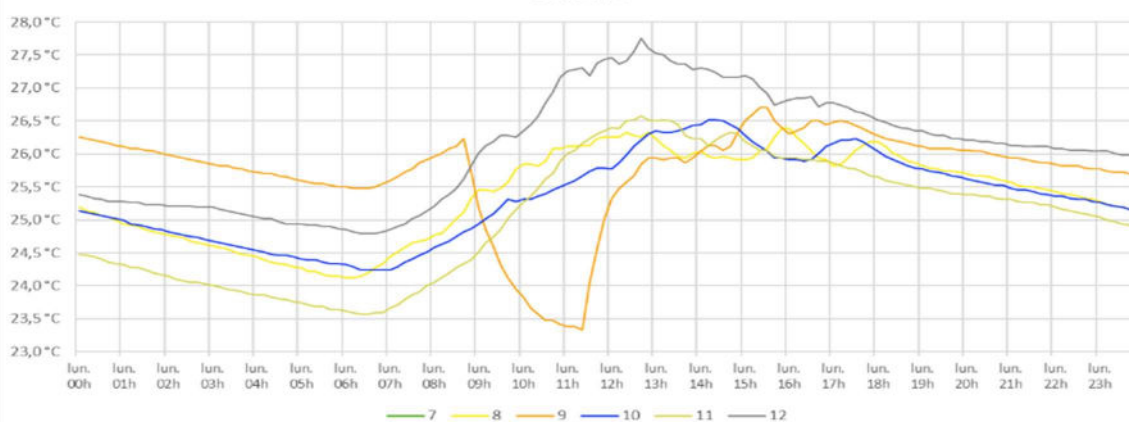


4.5 ANNEXE 5 SAISON HIVER REUNION – EPSMR

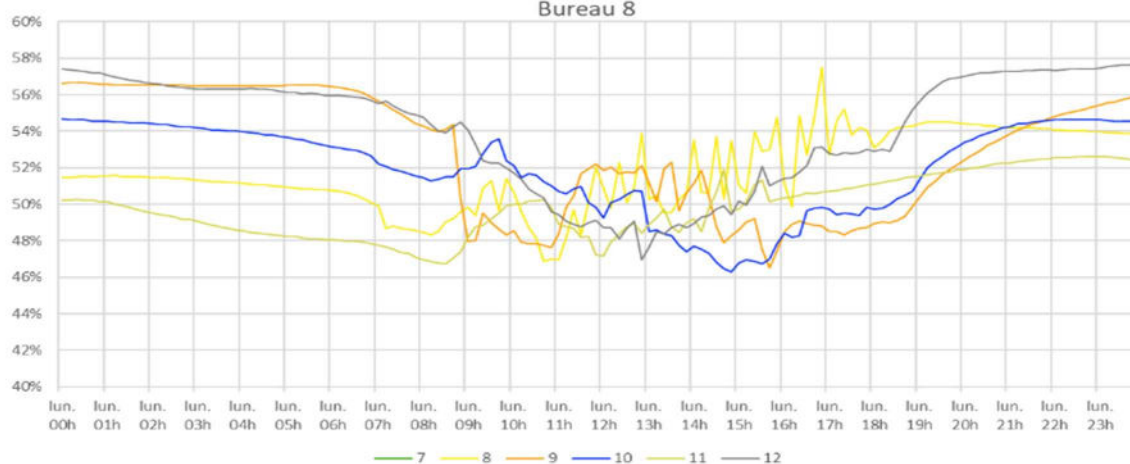
Bureau 8 :



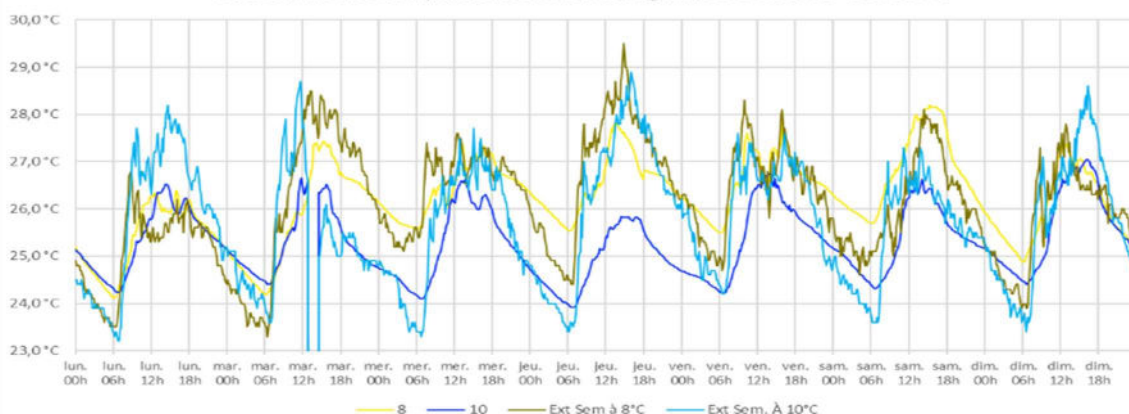
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi -
Bureau 8



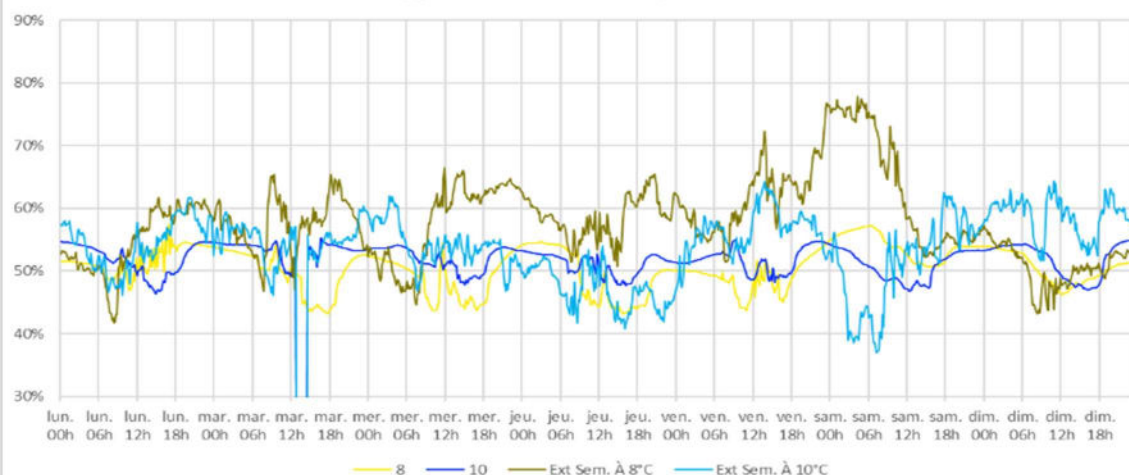
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi -
Bureau 8



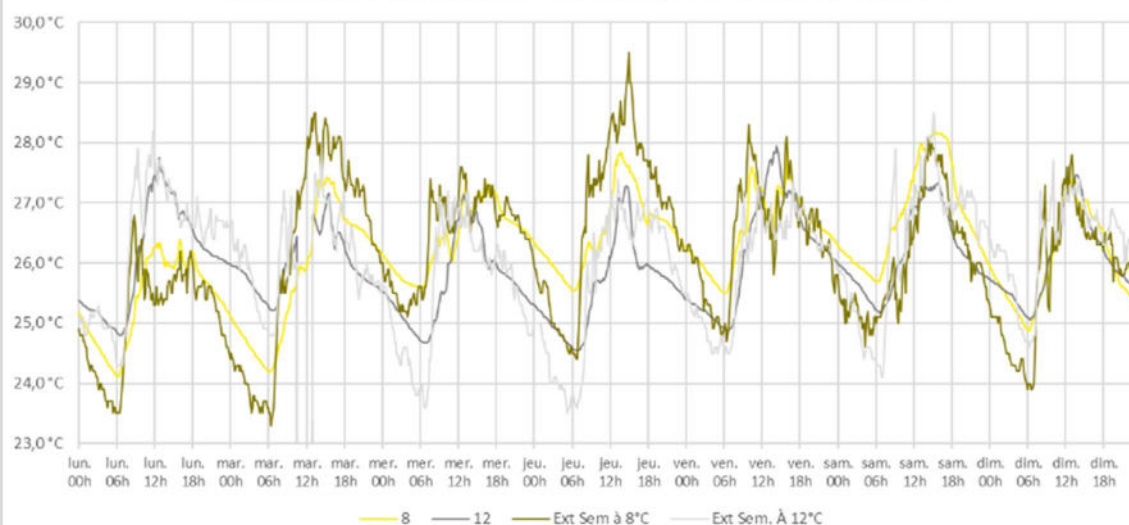
Evolutions des températures selon le régimes à 8 et à 10 - Bureau 8

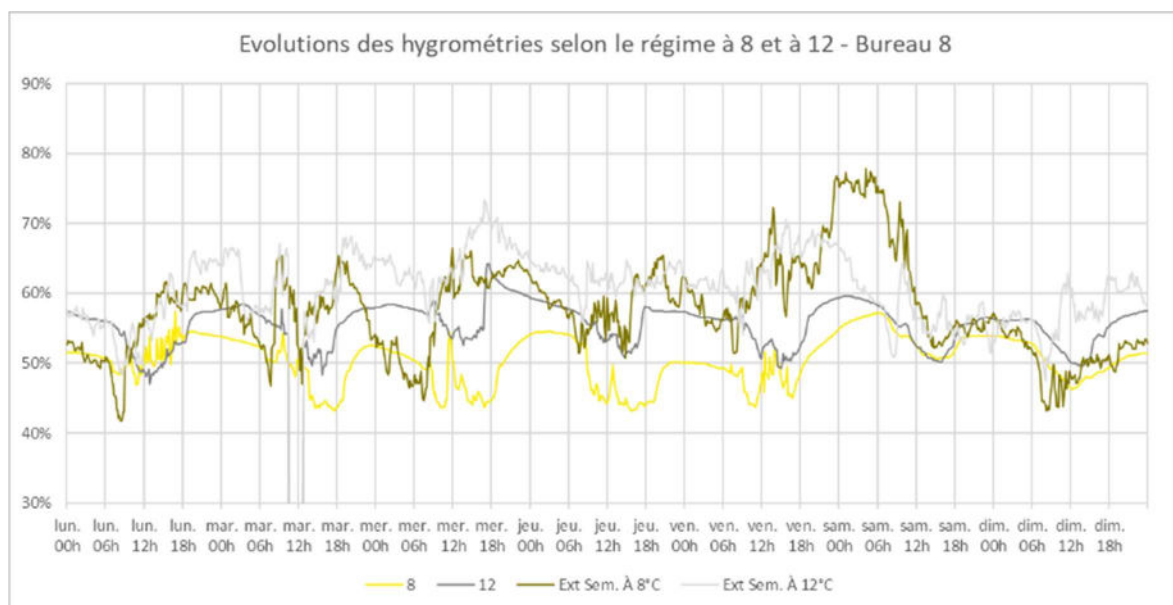


Evolutions des hygrométries selon le régime à 8 et à 10 - Bureau 8

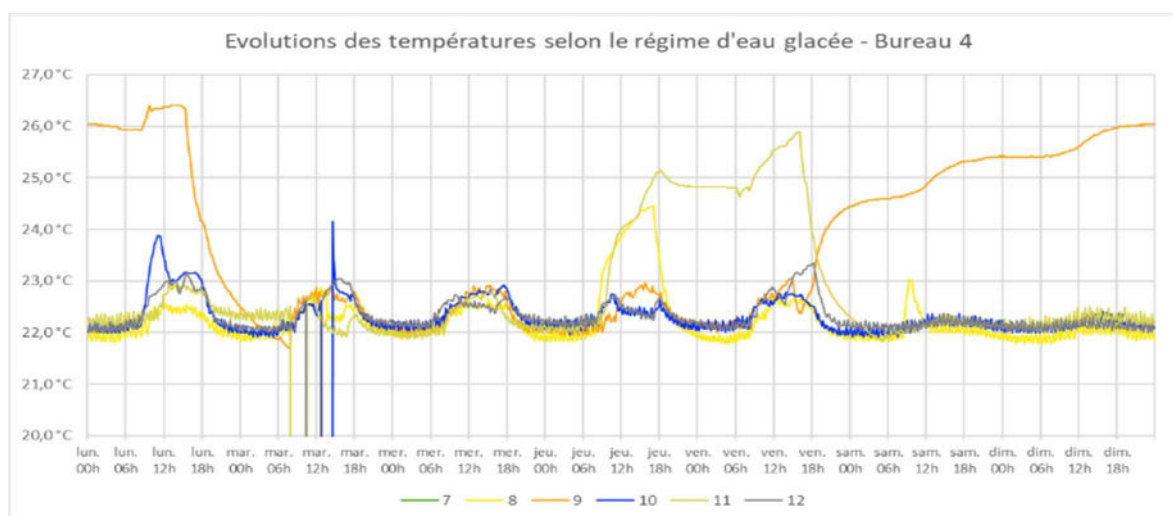


Evolutions des températures selon le régimes à 8 et à 12 - Bureau 8

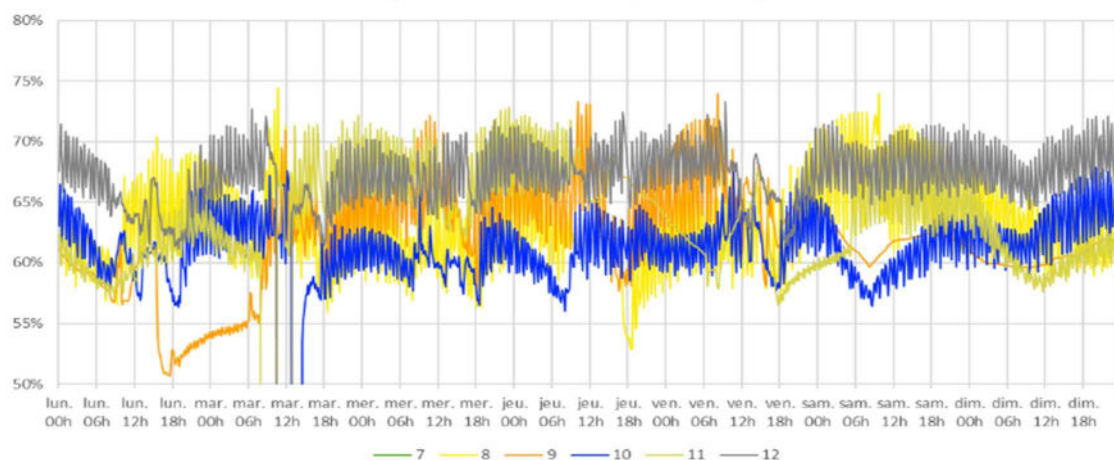




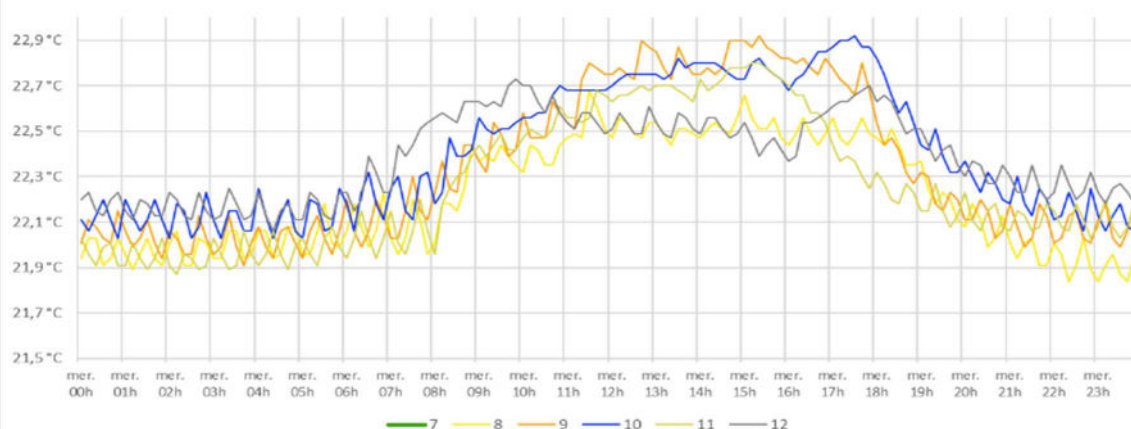
Bureau 4 :



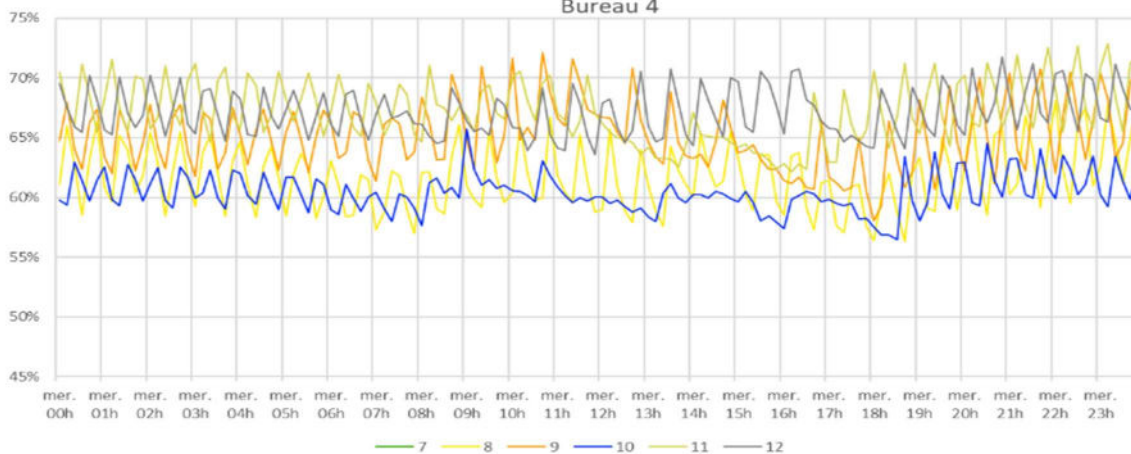
Evolutions des hygrométries selon le régime d'eau glacée - Bureau 4



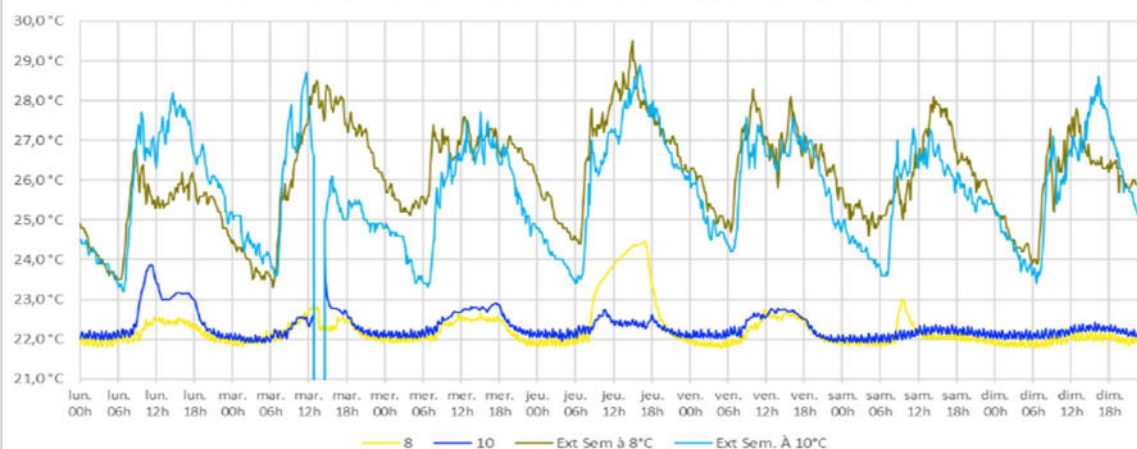
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le mercredi - Bureau 4



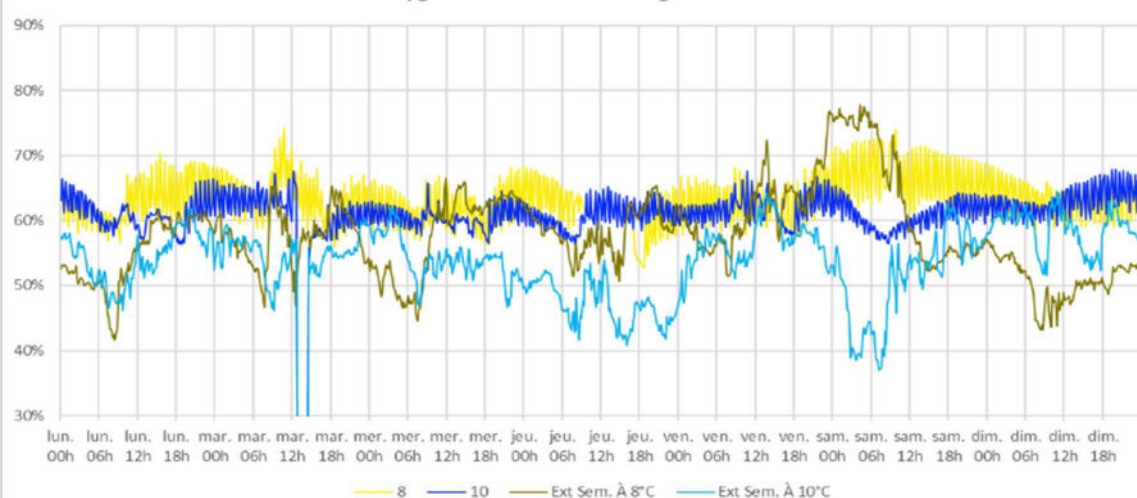
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le mercredi - Bureau 4



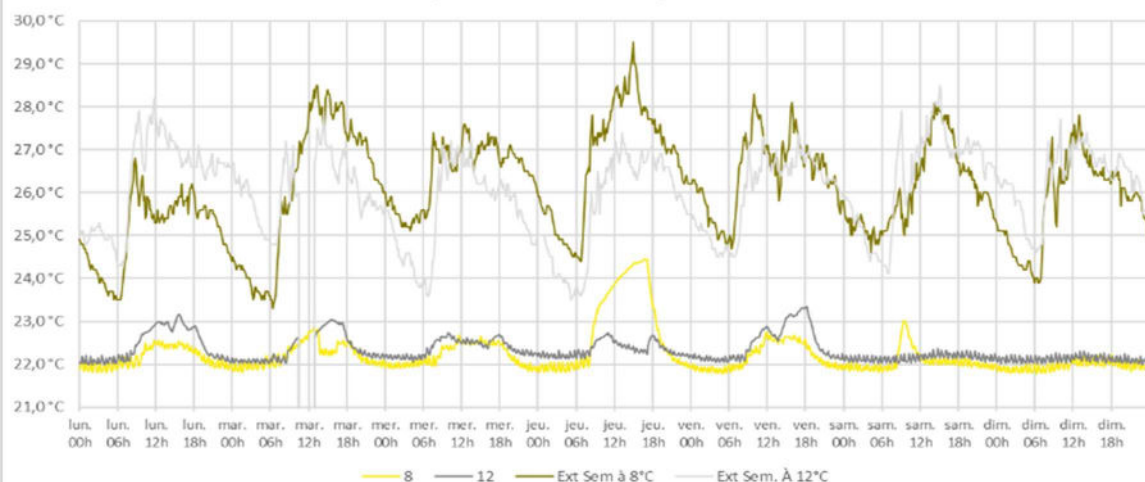
Evolutions des températures selon le régime à 8 et à 10 - Bureau 4



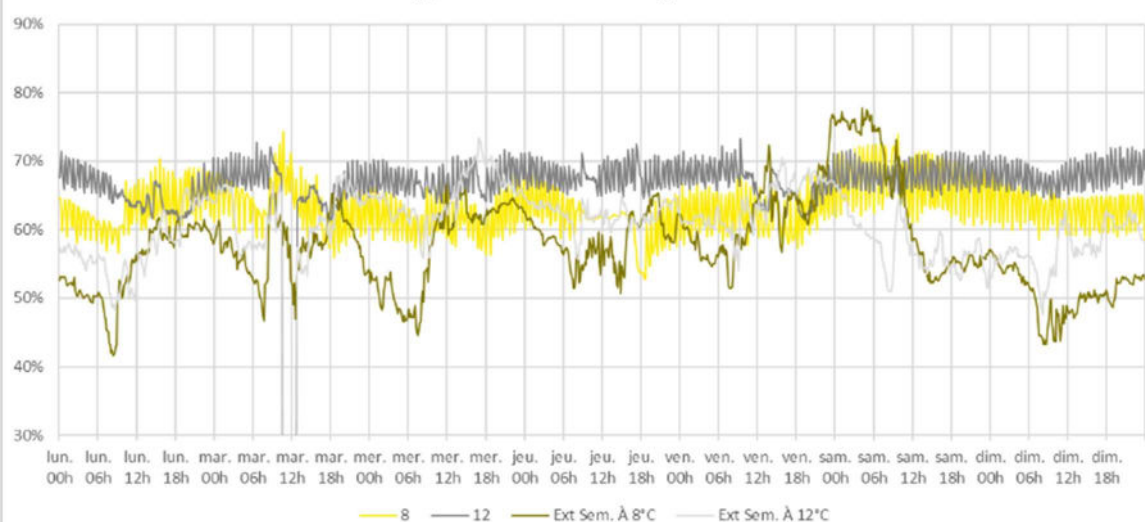
Evolutions des hygrométries selon le régime à 8 et à 10 - Bureau 4



Evolutions des températures selon le régime à 8 et à 12 - Bureau 4

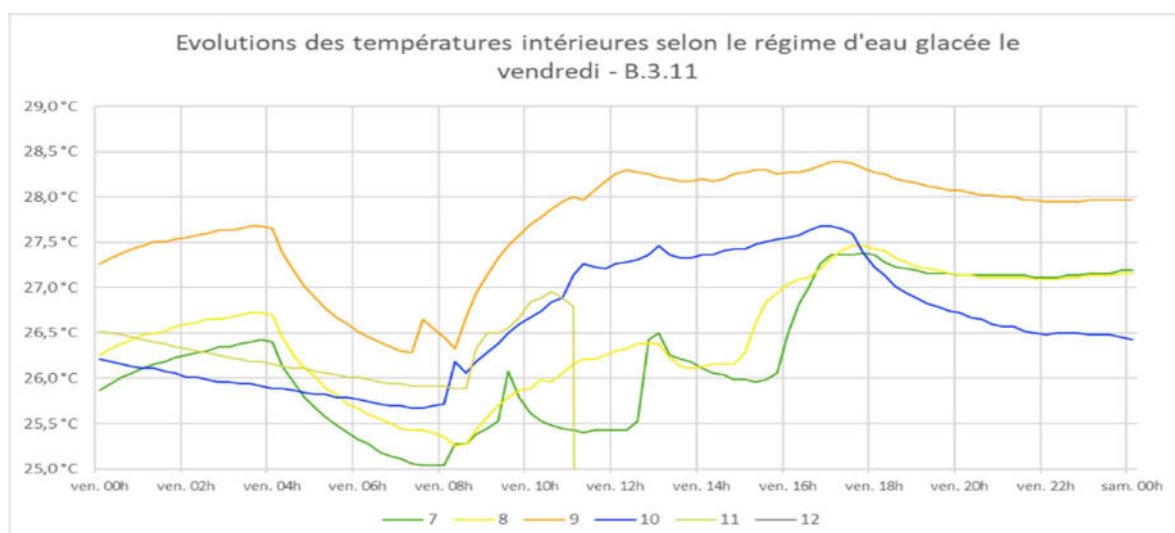
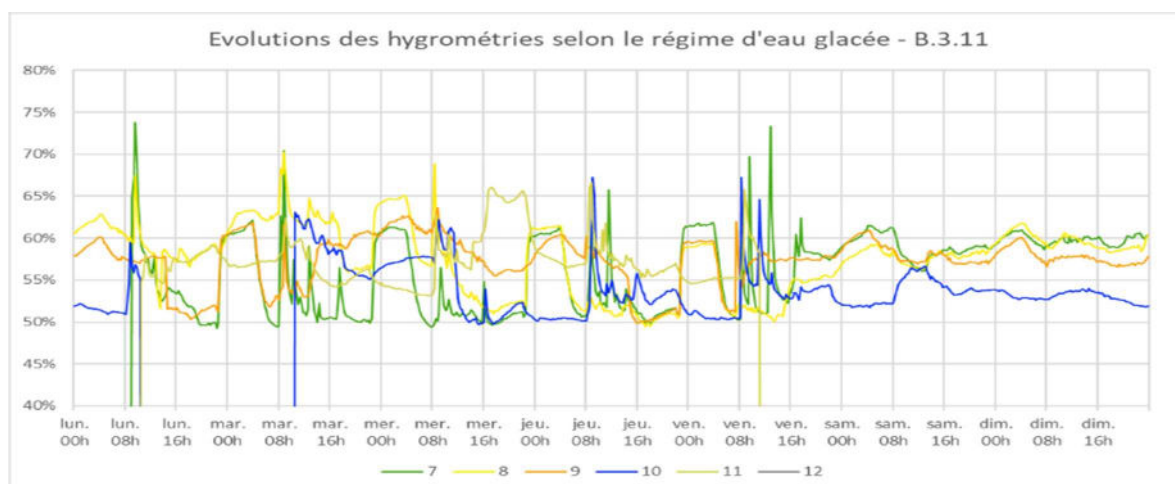
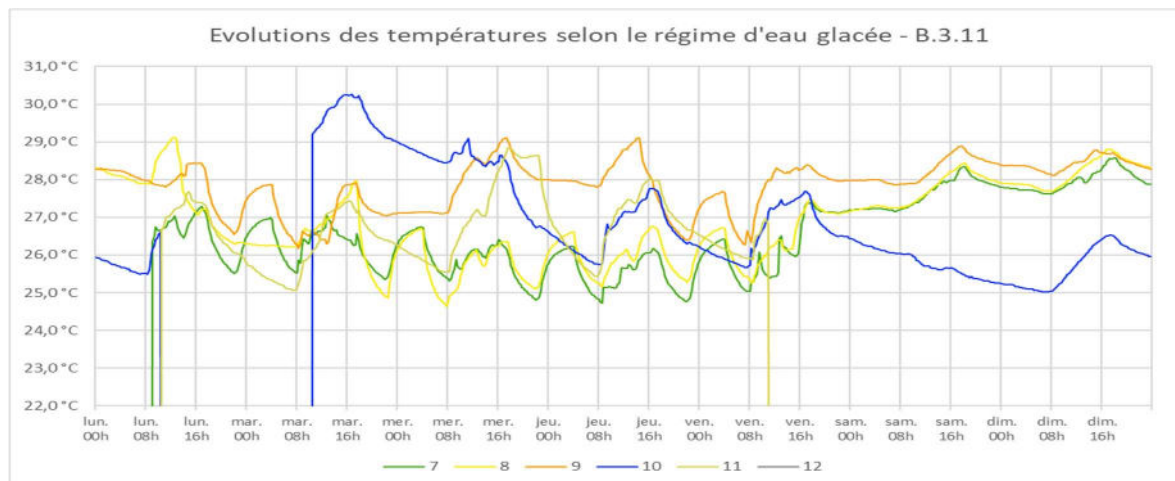


Evolutions des hygrométries selon le régime à 8 et à 12 - Bureau 4

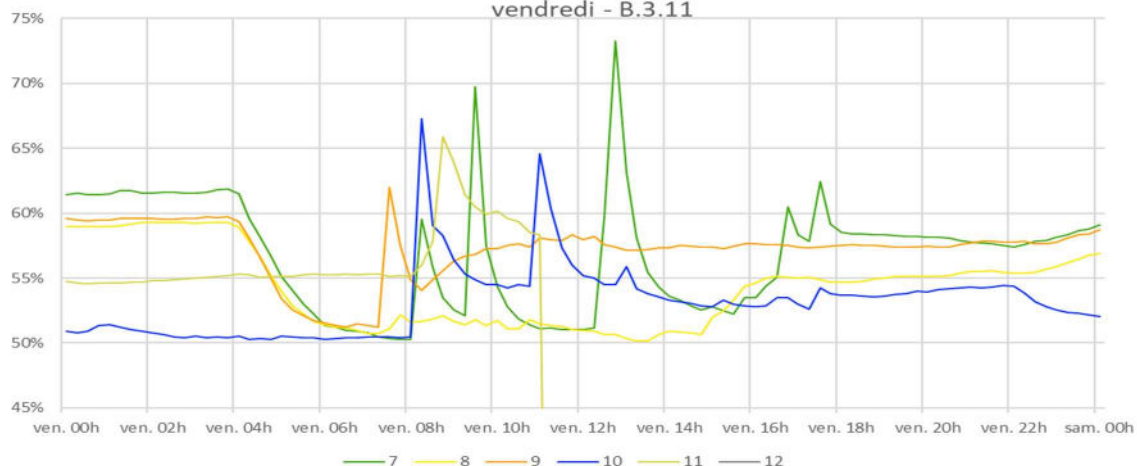


4.6 ANNEXE 6 SAISON SECHE GUYANE – Université de Cayenne

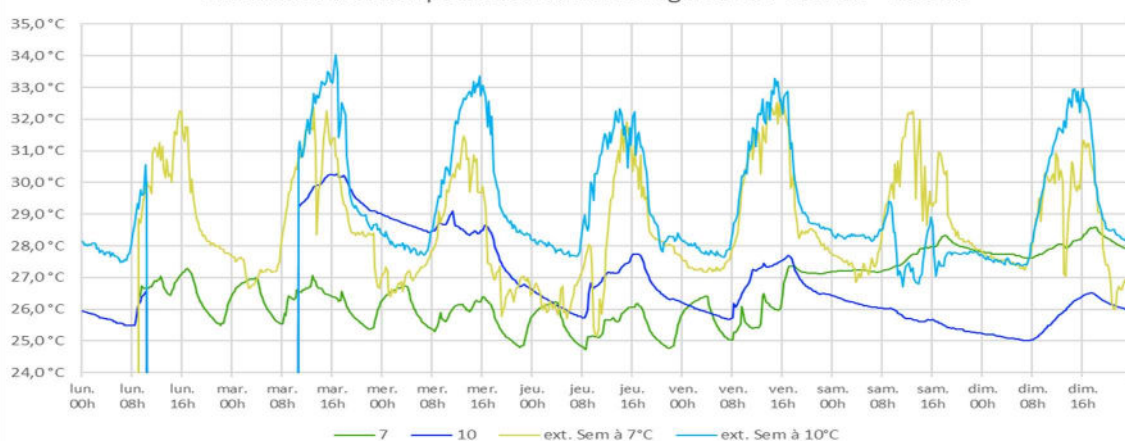
Bureau B.3.11 :



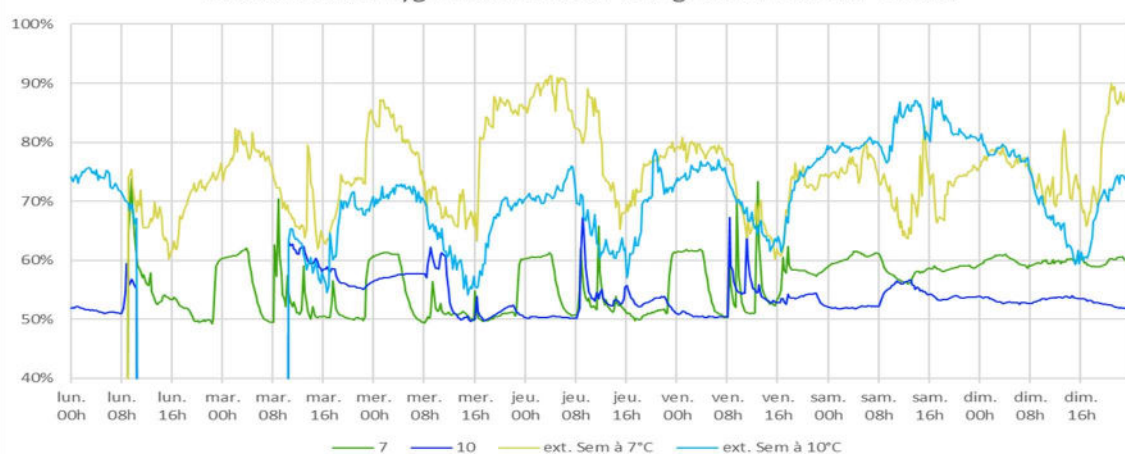
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le vendredi - B.3.11



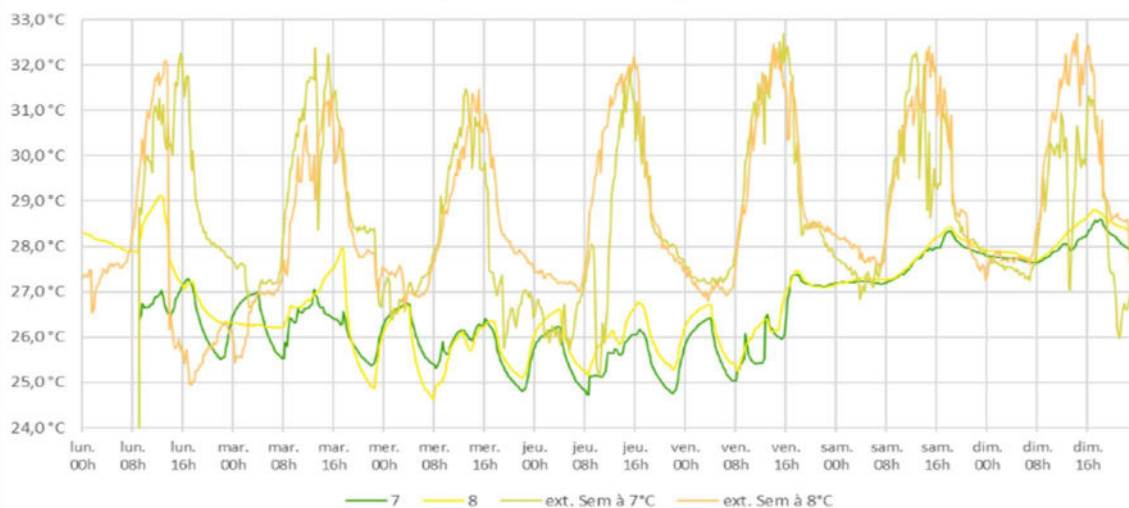
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 10 - B.3.11



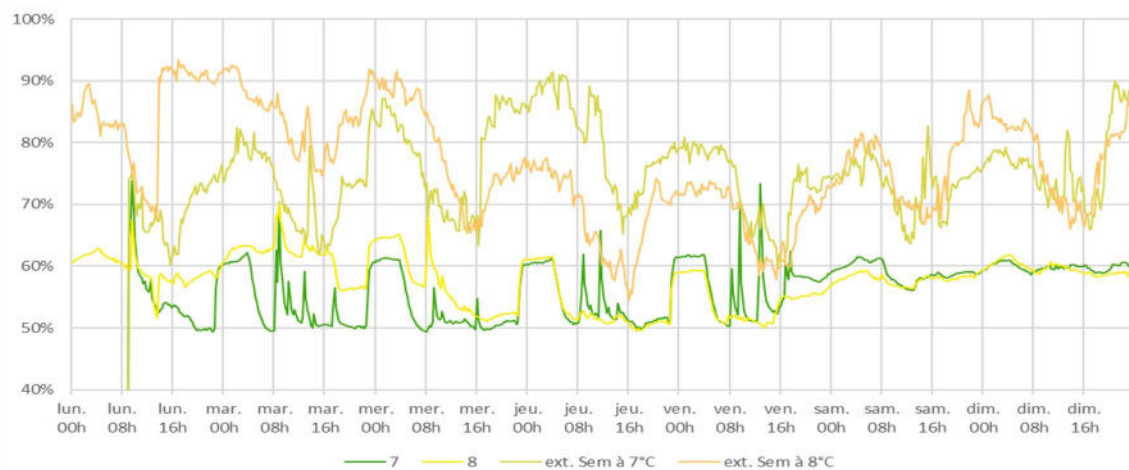
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - B.3.11



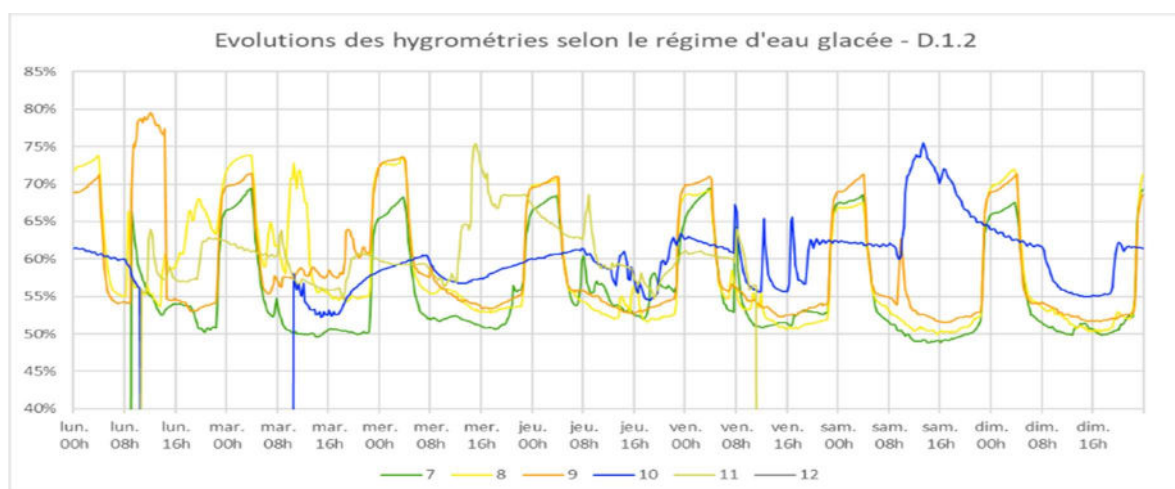
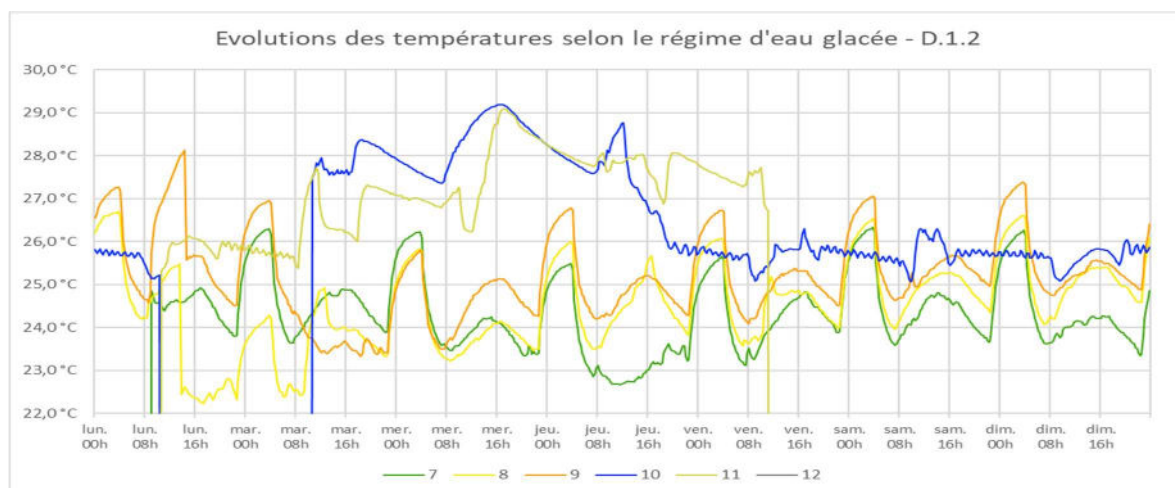
Evolutions des températures selon le régime à 7 et à 8 - B.3.11



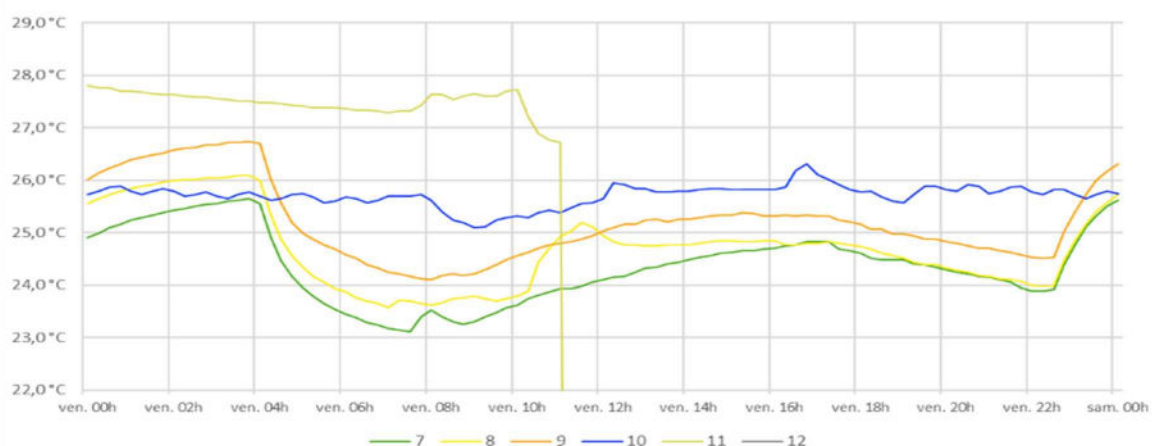
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 8 - B.3.11



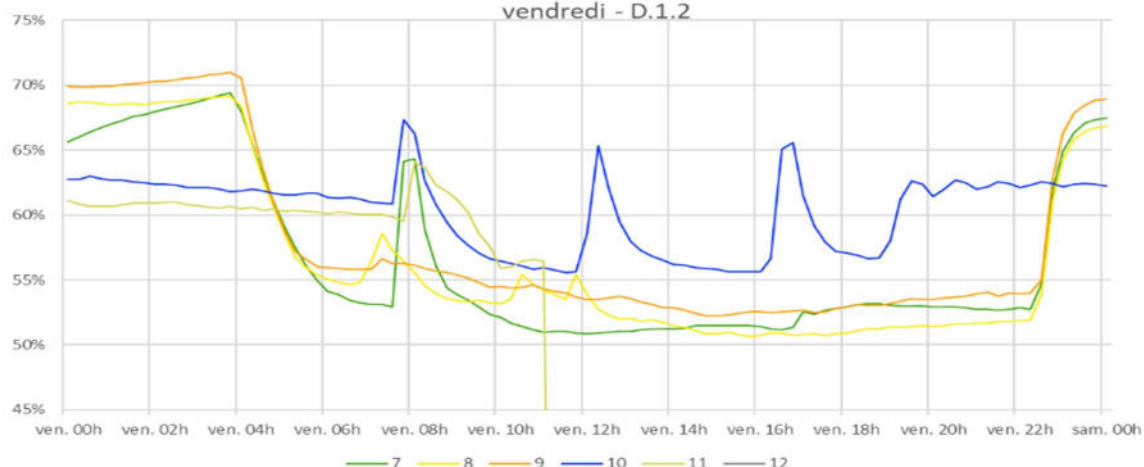
Bureau D.1.2 :



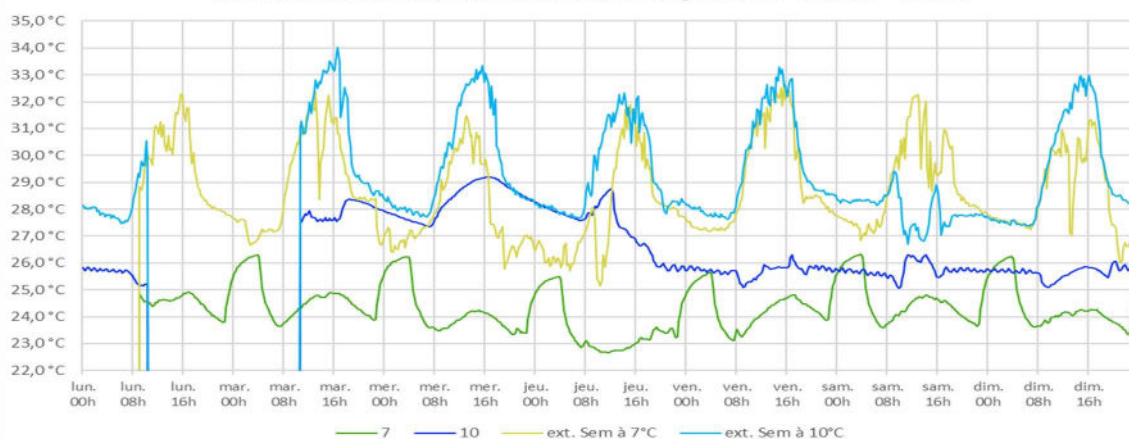
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le vendredi - D.1.2



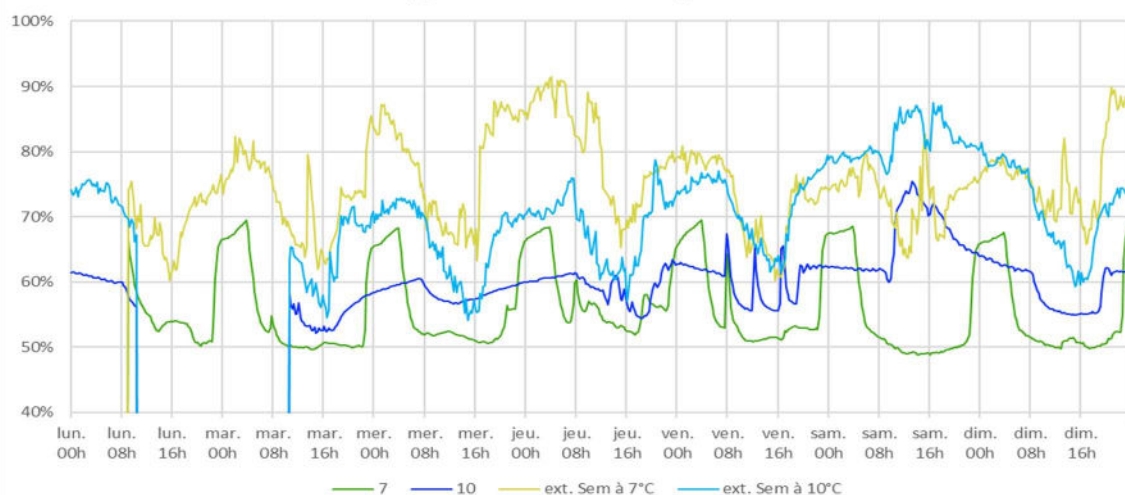
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le vendredi - D.1.2



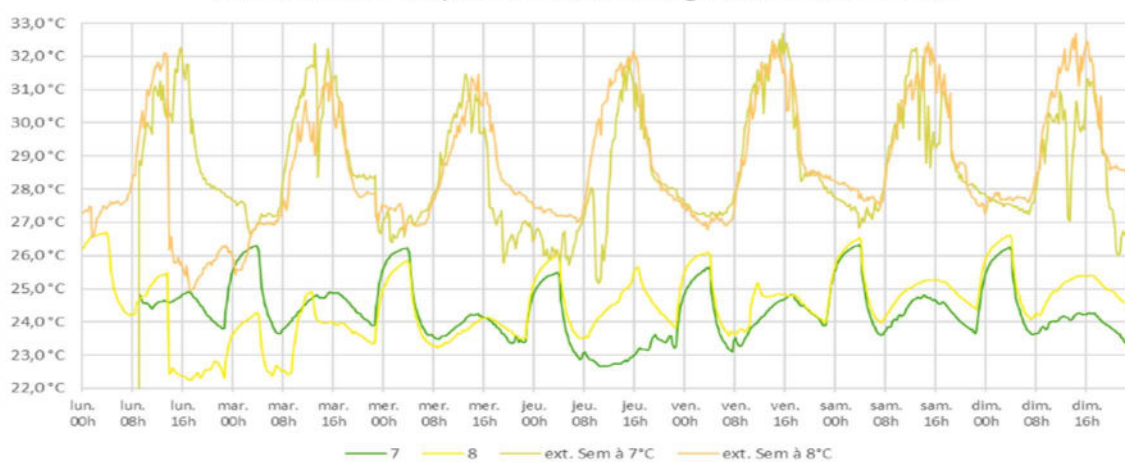
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 10 - D.1.2

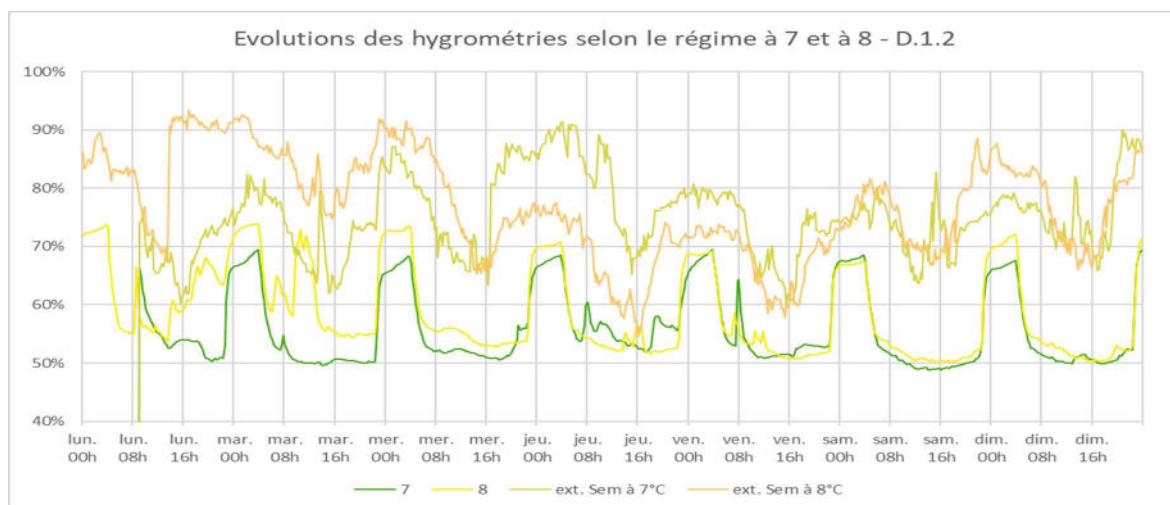


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - D.1.2

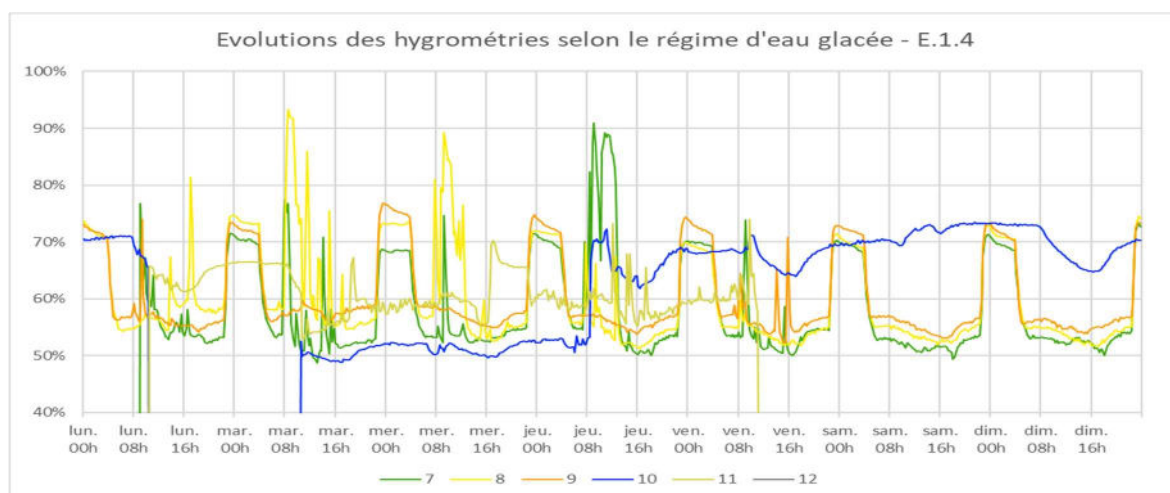
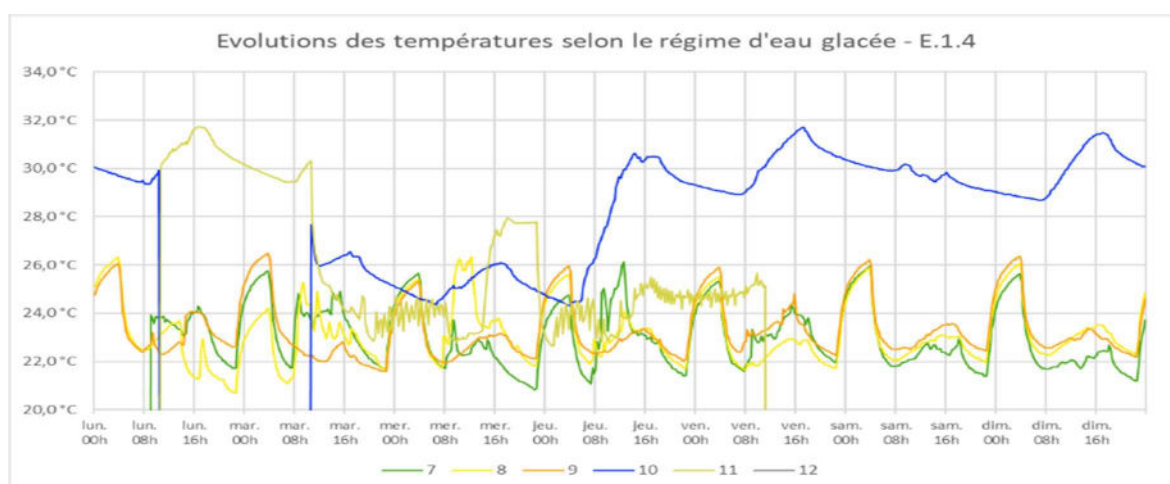


Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 8 - D.1.2

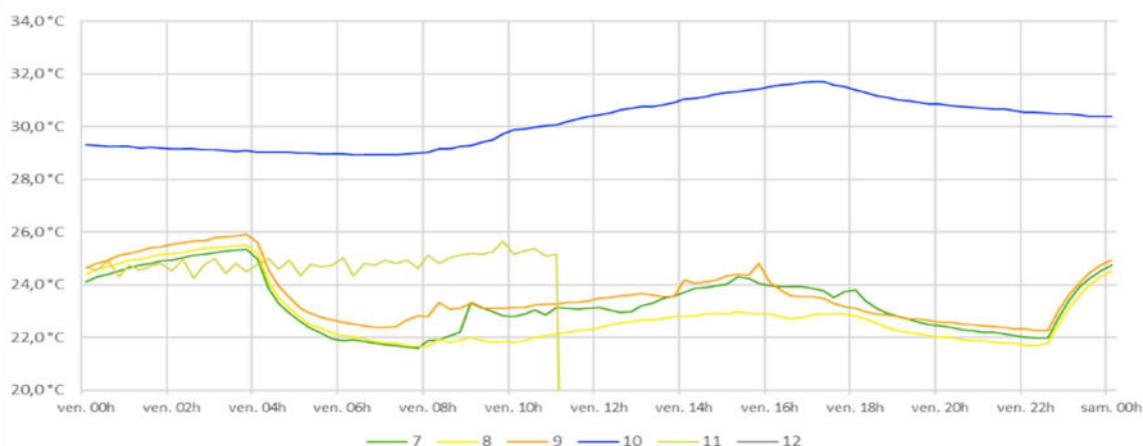




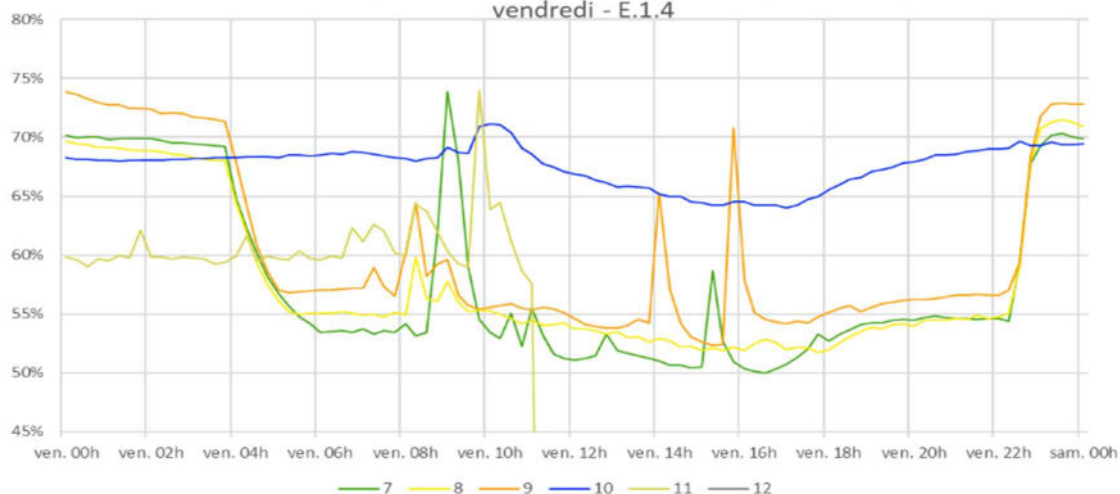
Bureau E.1.4 :



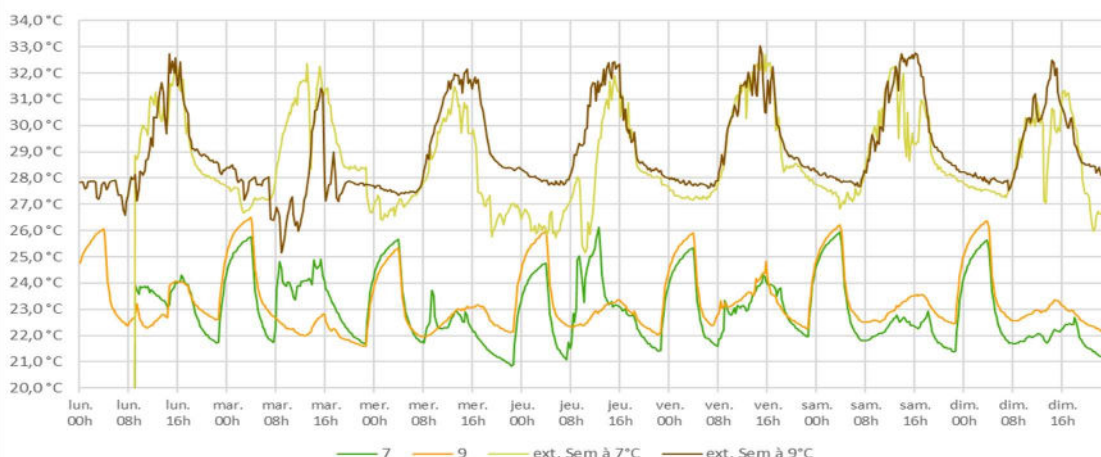
Evolutions des températures intérieures selon le régime d'eau glacée le
vendredi - E.1.4



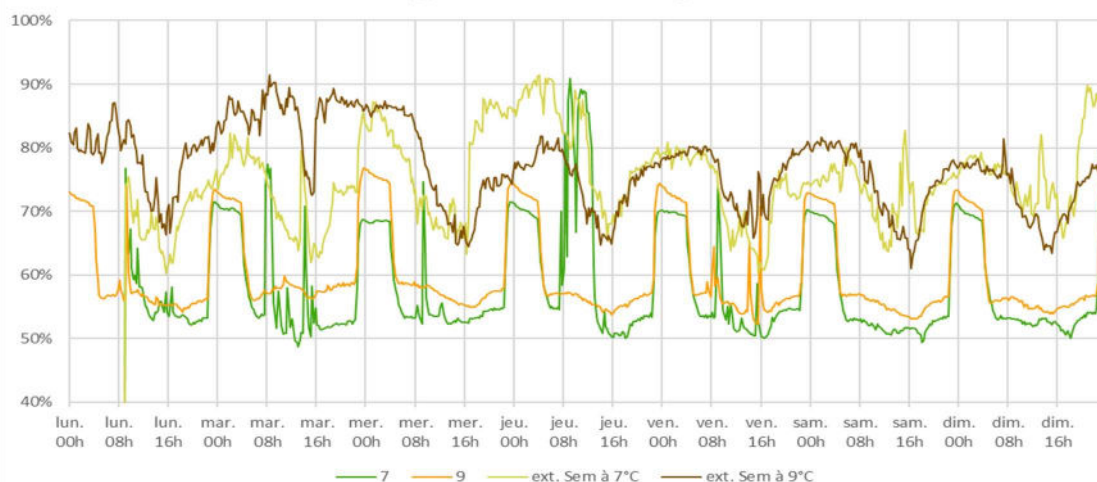
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le
vendredi - E.1.4



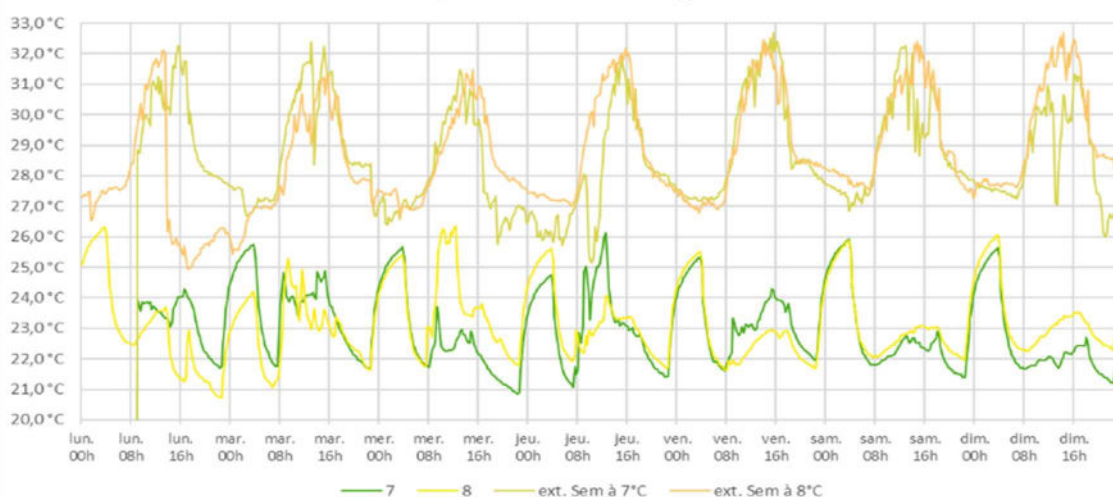
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 9 - E.1.4



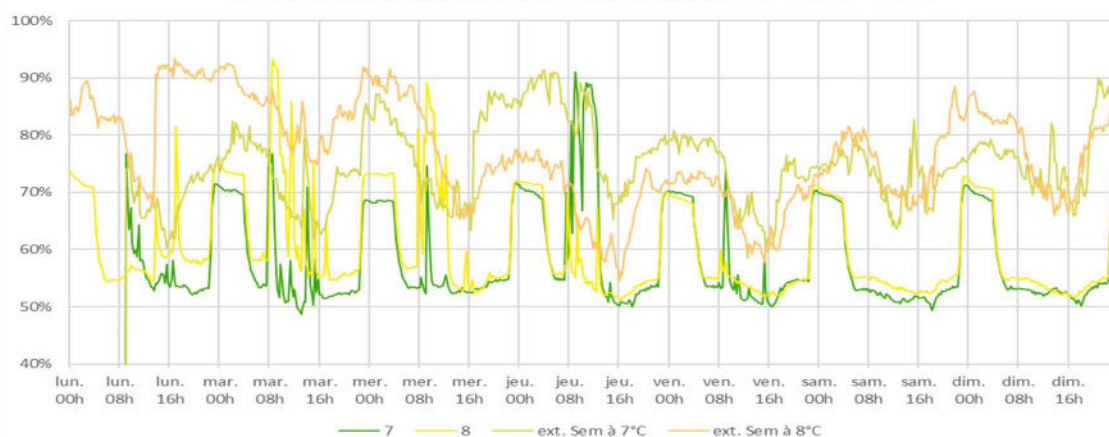
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 9 - E.1.4



Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 8 - E.1.4

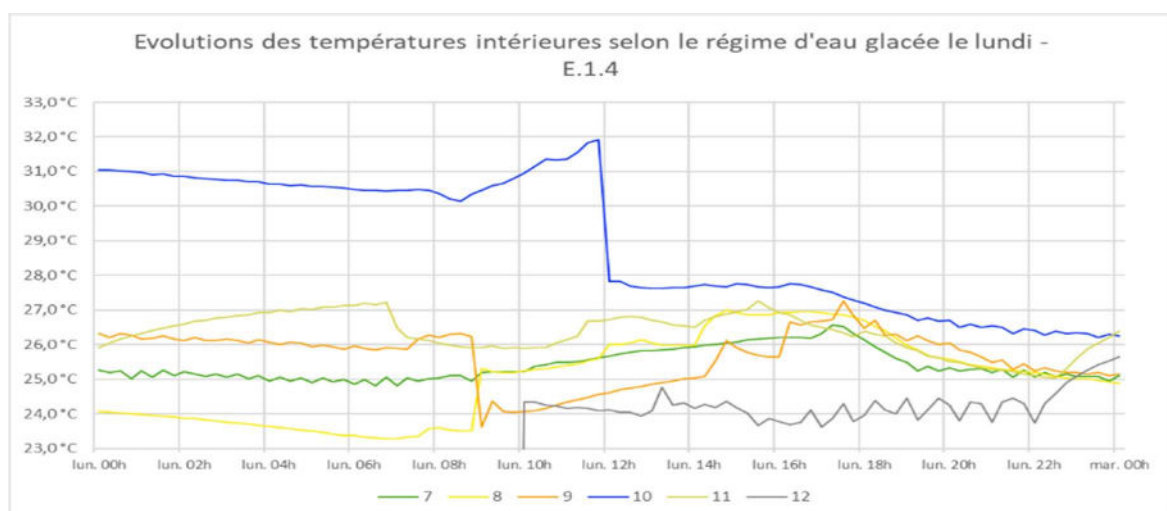
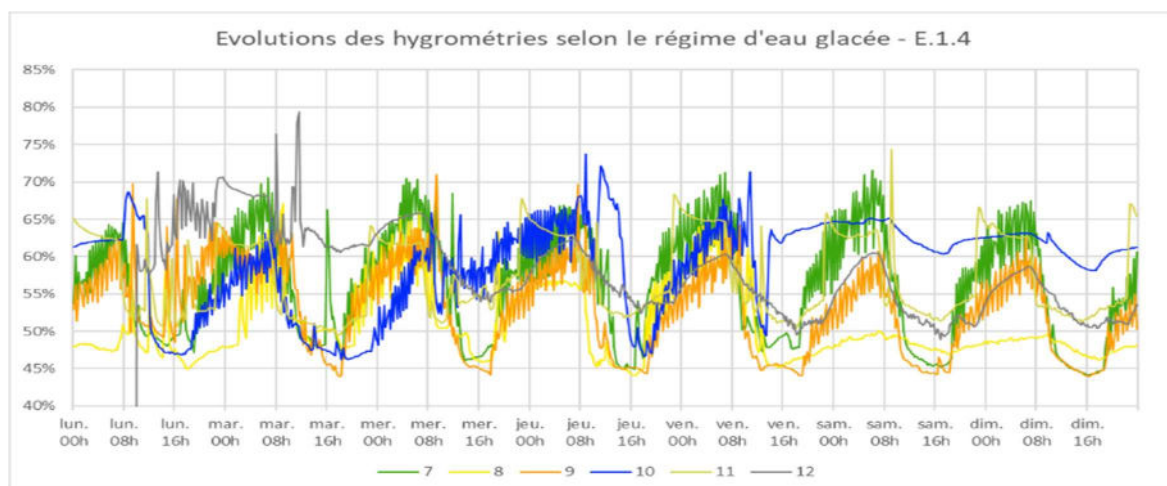
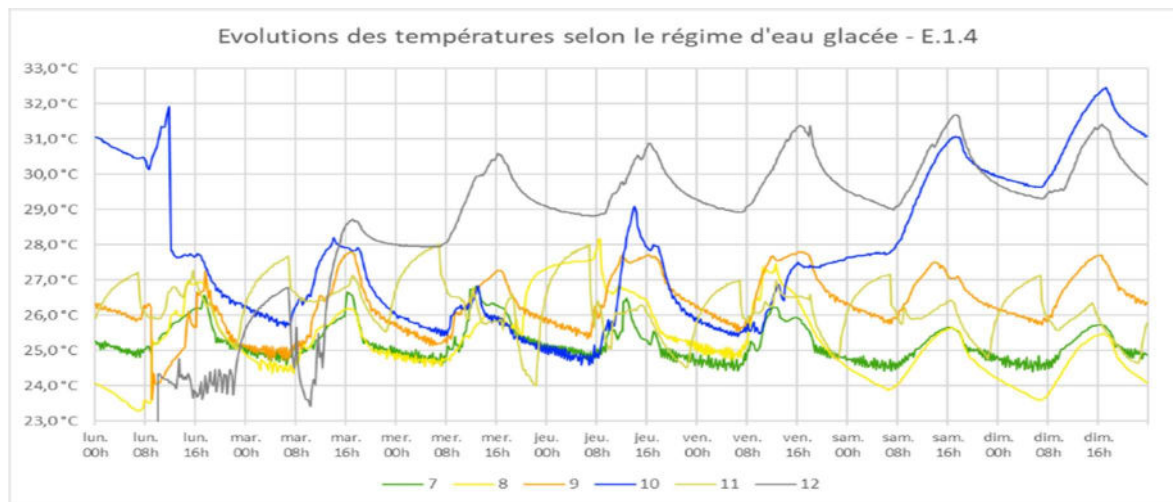


Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 8 - E.1.4

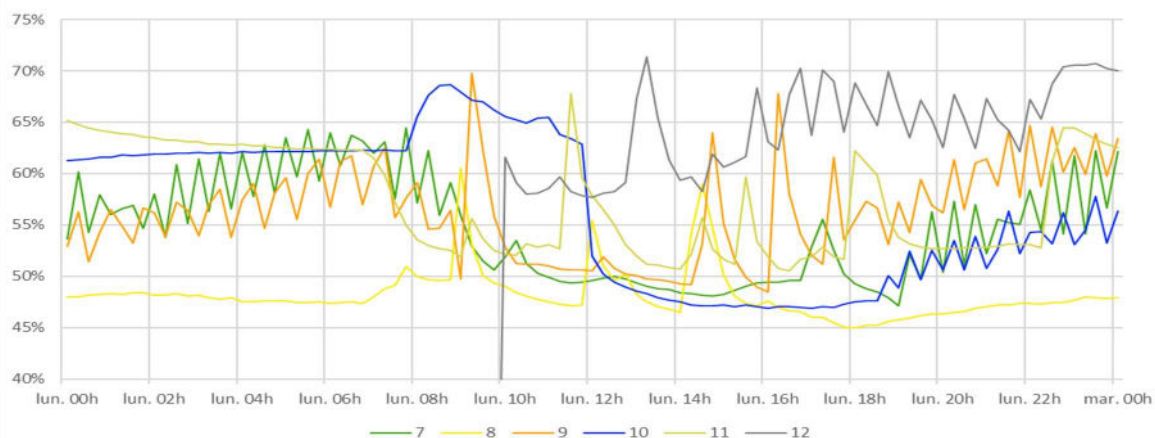


4.7 ANNEXE 7 SAISON HUMIDE GUYANE – Université de Cayenne

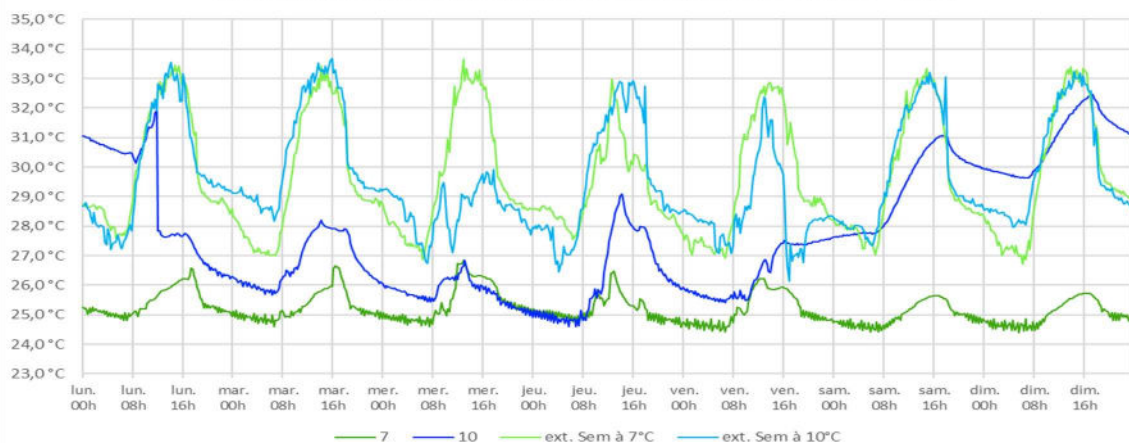
Bureau E.1.4 :



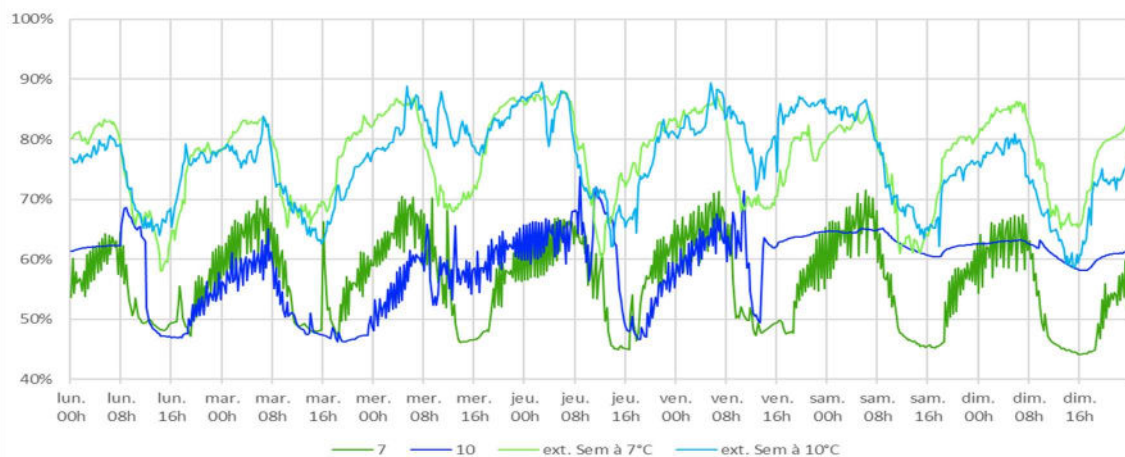
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - E.1.4



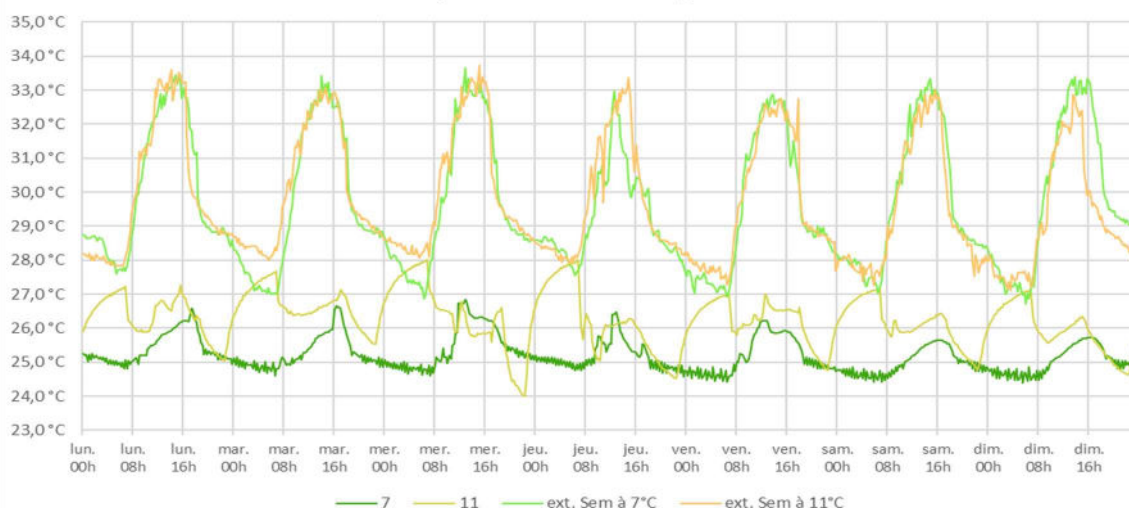
Evolutions des températures selon le régimes à 7 et à 10 - E.1.4



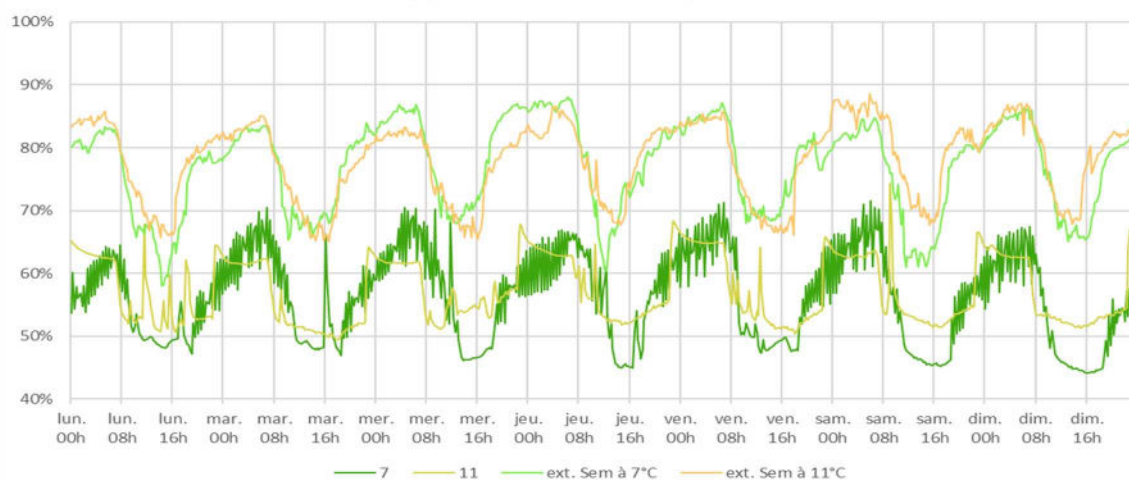
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 10 - E.1.4



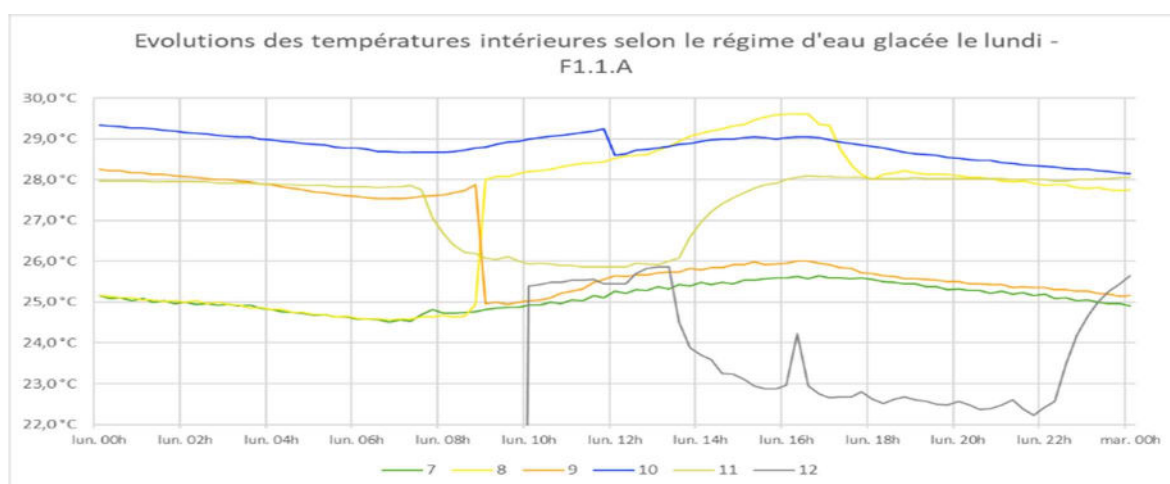
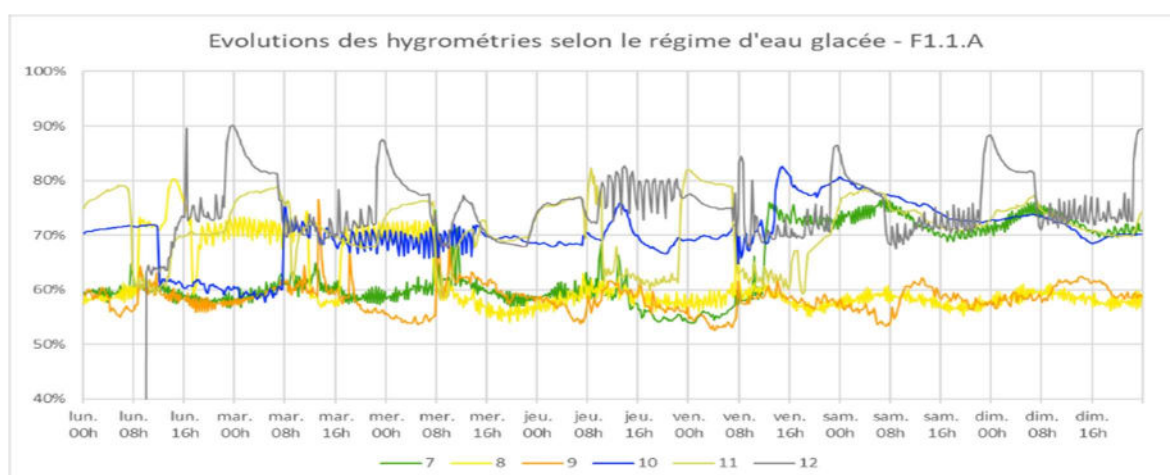
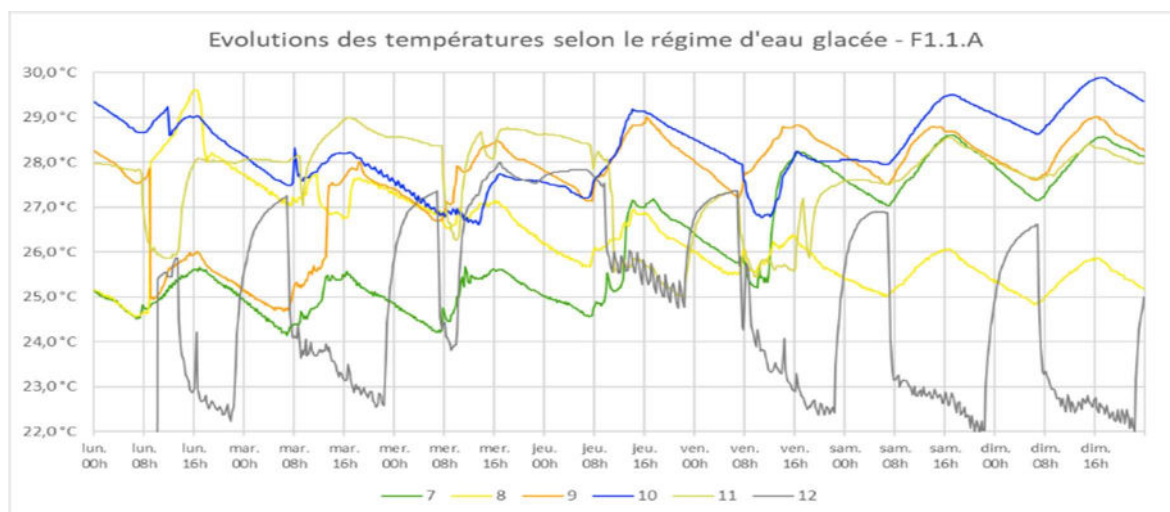
Evolutions des températures selon les régimes à 7 et à 11 - E.1.4



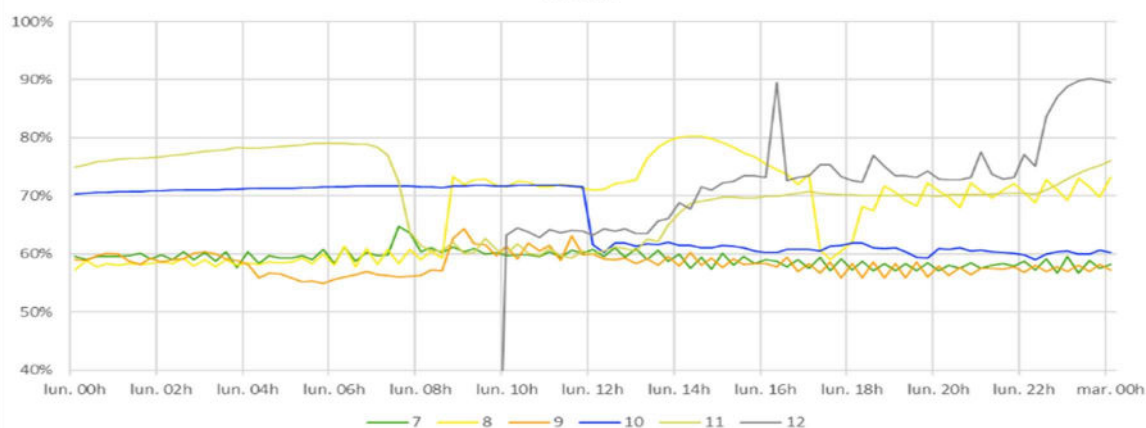
Evolutions des hygrométries selon le régime à 7 et à 11 - E.1.4



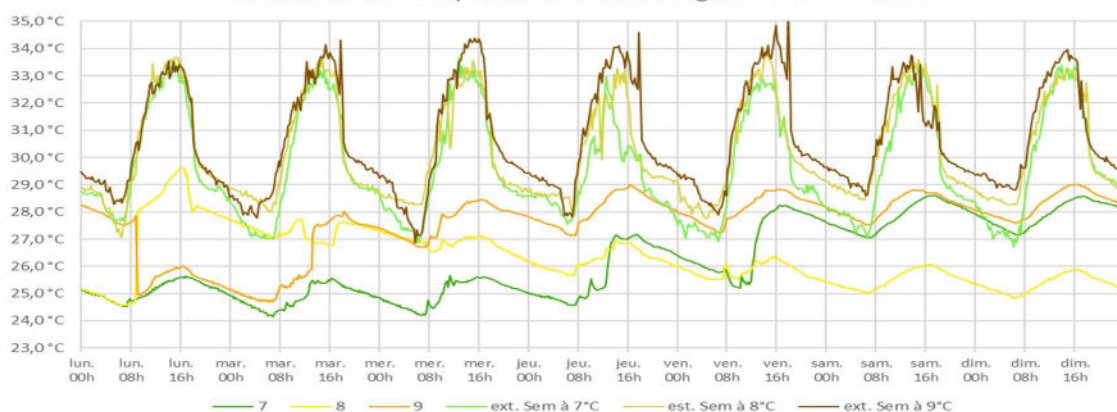
Bureau F.1.1.A :



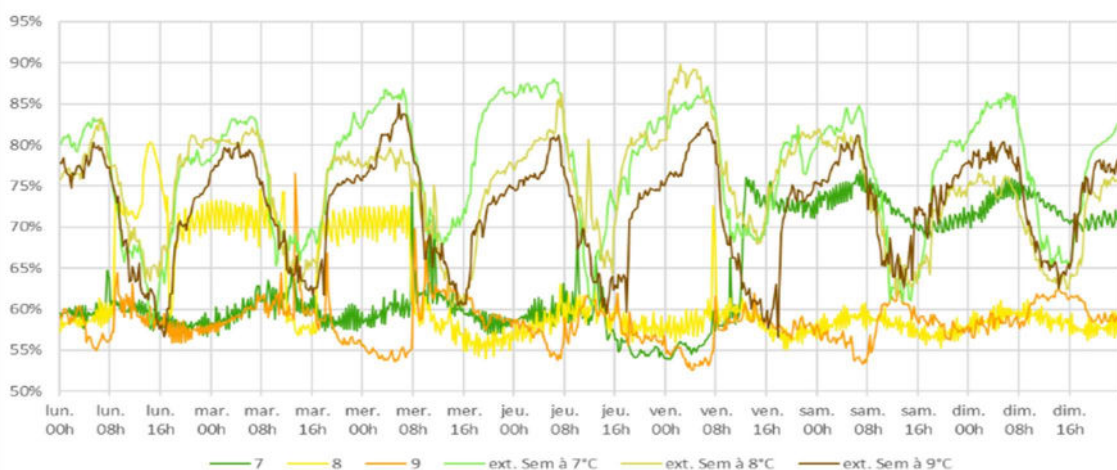
Evolutions des hygrométries intérieures selon le régime d'eau glacée le lundi - F1.1.A



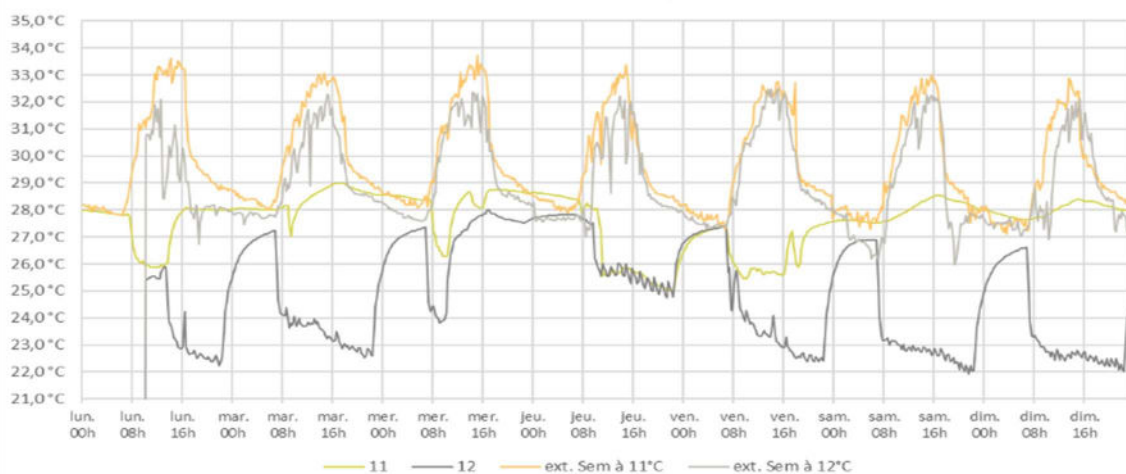
Evolutions des températures selon le régimes 7 à 9 - F1.1.A



Evolutions des hygrométries selon le régime 7 à 9 - F1.1.A



Evolutions des températures selon le régime à 11 et à 12 - F1.1.A



Evolutions des hygrométries selon le régime à 11 et à 12 - F1.1.A

