

Etude des diagrammes de confort thermique et des Degrés Jours de Refroidissement (DJR) des dix stations synoptiques du Burkina Faso

Benjamin KIEMA^{1*}, Ousmane COULIBALY¹.

¹ Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE), Département de physique, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021, Burkina Faso

Adresse email : benjaminkiemas03@gmail.com

INFOS SUR L'ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le : 30 juillet 2023

Reçu en format révisé le : 23 octobre 2023

Accepté le : 20 décembre 2023

Mots-Clés : Paramètres climatiques, confort thermique, station synoptique, degrés jours de refroidissement

Key words : Climatic parameters, thermal comfort, synoptic station, cooling degree days

RESUME

Dans ce travail de recherche, nous nous intéresserons à la détermination des diagrammes de confort thermique et des degrés jours de refroidissement (DJR) dans les dix stations synoptiques du Burkina Faso. Il s'agit d'abord d'une acquisition de données météorologiques (température et d'humidité relative) des dix stations synoptiques et de procéder à la représentation des climats de chaque zone du Burkina dans le diagramme de confort thermique de type CARRIER en climat tropical. Ensuite, nous introduisons la notion des degrés jours pour déterminer la puissance thermique d'un bâtiment F3 (deux chambres-salon). On retient que pendant les périodes de fraîcheur et pluvieuse, la zone de confort (c) est presque atteinte. Mais en période de forte chaleur où les températures sont relativement élevées, il faut des moyens artificiels pour atteindre le confort. Les calculs montrent que les zones de Dori et Gaoua ont respectivement les plus grandes et les plus faibles degrés Jours de refroidissement pendant la période de forte chaleur. Les résultats montrent également que la station de Dori enregistre environ 52 kW/an contre 32 kW/an pour les zones de Gaoua et Bobo Dioulasso.

ABSTRACT

In this research work, we are interested in determining thermal comfort diagrams and cooling degree days (CDD) for the ten synoptic stations in Burkina Faso. Firstly, we acquire meteorological data (temperature and relative humidity) from the ten synoptic stations, and then proceed to represent the climates of each zone of Burkina Faso in the CARRIER-type thermal comfort diagram for tropical climates. Next, we introduce the concept of degree days to determine the thermal capacity of an F3 building (two bedrooms-living room). We note that during cool, rainy periods, the comfort zone (c) is almost reached. But in hot weather, when temperatures are relatively high, artificial means are needed to achieve comfort. Calculations show that the Dori and Gaoua zones have the highest and lowest cooling degree Days respectively during the hot period. The results also show that the Dori station records around 52 kW/year, compared with 32 kW/year for the Gaoua and Bobo Dioulasso zones.

I. INTRODUCTION

De nos jours, 50% de la population mondiale vit dans les grandes villes et passe près de 90% de son temps à l'intérieur (ONU Habitat, 2014) [1]. Selon cette même source, le taux de croissance des villes passera de 47% en 2011 à 65% à l'horizon 2050. Dans ce contexte, l'Homme se trouve confronté à un mode de vie dont il ne cesse de l'améliorer sans cesse. C'est pourquoi depuis les temps anciens, le maintien de la chaleur quand il fait froid ou de la fraîcheur quand il fait chaud fait partie de la quotidienneté des activités humaines et participe d'un plan culturel presque inconscient. Cet état tant convoité par tous dépend en grande partie de la température qui varie au fil des années. Ces états dites de « confort » sont intimement liés à la température, d'où la notion de « confort thermique ». Pour étudier la notion de confort thermique dans une station synoptique, on peut représenter le climat de cette station dans le diagramme de confort thermique et calculer les degrés jours de refroidissement de cette station.

Cette question a été abordé partiellement dans les travaux de Y. COULIBALY et al., 1998 [2]. Les auteurs ont représenté le climat de chaque zone du Burkina dans le diagramme bioclimatique. A l'issue de ces travaux, ils préconisent une typologie d'habitat en fonction de chaque zone climatique considéré en recommandant certains effets bioclimatiques et en déconseillant d'autres. Une autre manière de trouver la zone de confort est de procéder par une enquête au sein de population concerné. Les travaux menés par A. KEMAJOU, 2017 [3] ont prouvé que les enquêtes menées dans différents endroits du globe définissent une zone de confort en région tropical sec et accepté à plus de 90% des individus. Cette étude révèle que la zone de confort se situe entre 20 et 27°C. D'autres travaux déjà effectués dans le sens de notre travail ont permis de déterminer les besoins de consommation d'un bâtiment en fonction des périodes de l'année. Dans les travaux de Sofiane AMARA et al., 2019 [4] ils ont déterminé les degrés jours d'un bâtiment au cours d'une année, ce qui a permis de déterminer les besoins énergétiques du bâtiment en période d'hiver et d'été.

Dans ce travail, nous présentons d'abord la méthodologie utilisée pour représenter le climat des dix stations synoptiques du Burkina Faso. Ensuite, nous déterminons les degrés jours de refroidissement des dix stations synoptiques du Burkina Faso et enfin la puissance thermique par la méthode des degrés jours.

II. MATERIEL ET METHODE

II.1 Méthode de construction des diagrammes de confort thermique des dix stations synoptiques du Burkina Faso

II.1.1 Différentes zones climatiques du Burkina Faso

L'étude du confort thermique nécessite un certain nombre de données climatiques tels que la température de l'air ambiant, l'humidité relative, le rayonnement solaire, la vitesse du vent. Ces variables climatiques sont mesurées

par l'Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso (ANAMBF) qui fournissent des données brutes. Selon cette même agence, le Burkina Faso est divisé en trois zones climatiques [5].

II.1.2 Méthode de construction des diagrammes de confort thermique

Le diagramme de confort thermique est un diagramme construit à partir du diagramme Psychrométrique (ou de l'air humide) connu sous le nom de diagramme de CARRIER. Le principe consiste à placer les zones de confort sur ce diagramme.

Ce diagramme permet de mieux représenter les différentes zones climatiques du Burkina, de visualiser et d'analyser les processus de conditionnement de l'air, tels que le chauffage, le refroidissement, l'humidification et la déshumidification. Il montre les relations entre des variables telles que la température sèche de l'air, l'humidité relative, le point de rosée, l'enthalpie spécifique. On note que dans ce diagramme (*Figure 2*), en dehors de la zone de confort (C), le confort thermique n'est possible dans les autres zones qu'en utilisant des moyens artificiels. Par exemple la zone H (zone nécessitant le chauffage), la zone V (la ventilation), la zone RE (Refroidissement Evaporatif), la zone I (habitation à forte inertie thermique), la zone I NV (combinaison forte inertie et ventilation nocturne) et enfin la zone CA (climatisation active).

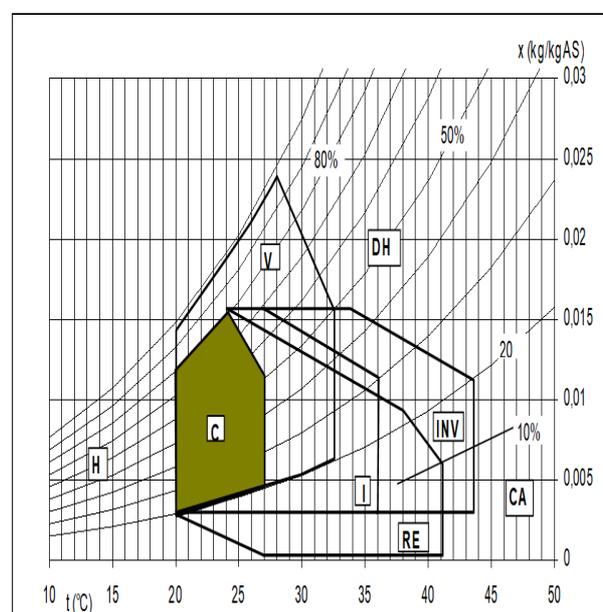


Figure 2 : Diagramme de confort thermique (CARRIER)

Le diagramme de confort thermique qui a pour but d'estimer les besoins de climatisation de chaque station

synoptique du Burkina Faso a été construit de la manière suivante :

- Nous avons d’abord acquis les données climatiques (Température et humidité relative) des dix (10) stations synoptiques de la période 2005 à 2020, de janvier à décembre et ensuite procéder au calcul des moyennes mensuelles ;
- Ensuite, la seconde étape a consisté à former des couples de points qui se composent comme suit ; (Température maximale, humidité minimale) ; (Température moyenne, humidité moyenne) ; (Température minimale, humidité maximale) ;
- En fin, on reporte les couples de points formés sur le diagramme de confort thermique formant ainsi des segments numérotés de un (1) à douze (12) représentant les mois de l’année. Chaque mois présente une température et une humidité moyenne au centre du segment ainsi que les maxima et minima du mois.

II.2 Méthode de détermination de la puissance thermique par la méthode des degrés jours

II.2.1 Les Degrés Jours de Refroidissement

Les degrés jours représentent la variation positive entre la température extérieure et la température de base. Dans le cadre de notre étude nous avons pris comme température de base 24 °C car en climat tropical sec, la zone de confort est comprise entre 20 et 27 °C.

Les degrés jours mensuels de refroidissement, DJR, pour un mois donné sont les sommes des degrés-jours de refroidissement quotidiens sur cette période [6]. Les DJR mensuels peuvent être calculés à partir de l’équation 1 :

$$DJR = m_k \sum_{k=1}^n (T_{e,k} - T_{bre}) \tag{1}$$

$$m_k = 1 \text{ jour si } T_{e,k} \geq T_{bre}$$

$$m_k = 0 \text{ jour si } T_{e,k} < T_{bre}$$

T_{bre} est la Température de base de refroidissement et $T_{e,k}$ la Température moyenne extérieure.

II.2.2 Méthode de calcul de la puissance thermique : cas d’un bâtiment

II.2.2.1 Description du bâtiment

Notre étude est un test sur un logement social de type F3 (deux chambres, un salon et une toilette) d’environ 50 m² de surface. Les murs extérieurs sont en briques H de 25 cm remplie d’argile de conductivité thermique $\lambda = 0,17$ W/m. K avec enduits extérieur et intérieur au sable, peinture blanche à l’intérieur et jaune foncée à l’extérieur. Le plancher est en béton de 15 cm. Les portes métalliques vitrées. Quant aux fenêtres elles sont vitrées avec encadrement métallique. Plafond en bois. Les cloisons

sont en briques H de 20 cm identiques aux précédentes avec enduits intérieur et extérieur au sable, peinture blanche des deux côtés. La Figure 3 montre le plan du bâtiment.

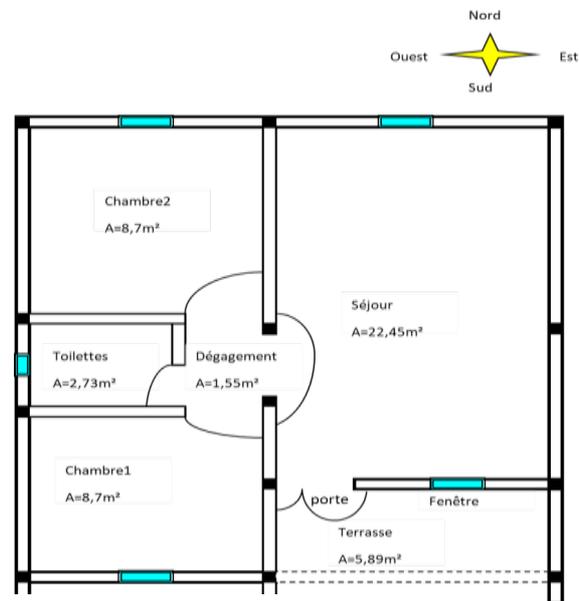


Figure 3 : Plan du bâtiment étudié

II.2.2.2 Méthode de calcul de la puissance thermique

Pour le calcul de la puissance thermique, il est important de définir un coefficient G :

$$G = \frac{1}{V} \left[\sum_{i=1}^m \left\{ \sum_j K_j S_j + \sum_j K_l l_n + C_v N_i V_i \right\} \right] \tag{2}$$

V : Volume du local

K_j : Conductivité thermique de la paroi j de l’enveloppe

N_i : Durée totale d’insolation

C_v : Conductance de la paroi

l_n : Longueur du pont thermique

S_j : Surface de la paroi j

V_i : Volume de la zone thermique i

G ($W/m^3 \cdot ^\circ C^{-1}$) est le coefficient global d'échange du bâtiment. Il représente les caractéristiques thermiques de l'enveloppe en régime quasi-stationnaire. En prenant : $C_v = 0,34W/K$, on obtient le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Coefficient G pour chaque pièce du bâtiment

Bâtiment	Séjour	Chambre 1	Chambre 2
$G(W/m^3 \cdot ^\circ C^{-1})$	4,58	5,89	6,60

On calcule alors la puissance thermique par zone thermique par l'équation (3):

$$P_i = \sum_j K_j S_j (T_e - T_i) + \sum_j K_l l_n (T_e - T_i) + C_v N_i V_i (T_e - T_i) \quad (3)$$

T_e : Température extérieure du local

T_i : Température intérieure du local

Dans le membre de droite de l'équation 3, le premier terme représente la puissance des apports de chaleur à travers les parois, le second terme ceux liés aux ponts thermiques et le dernier les apports par infiltration et renouvellement d'air.

Lorsqu'on assimile le terme $(T_e - T_i)$ aux degrés jours de refroidissement (DJR). On obtient donc :

$$P_i = G.V.DJR \quad (4)$$

III.RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 Résultats de trois zones climatiques dans le diagramme de confort thermique

Selon la répartition de l'ANAM BF, l'étude des trois zones climatiques peut se faire à partir des trois stations synoptiques représentant les grandes villes (Ouagadougou, Bobo-Dioulasso et Dori) de chaque zone climatique.

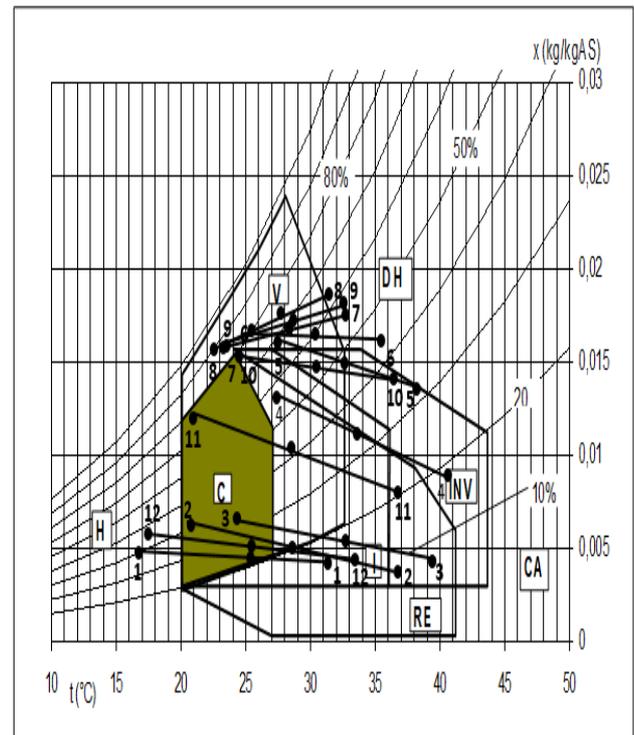


Figure 4 : station de Ouagadougou dans le diagramme de confort thermique

La figure 4 présente le climat de la ville de Ouagadougou sur le diagramme de Carrier. Les segments numérotés de 1 à 12 représentent les mois de l'année. Chaque mois présente une température moyenne au centre du segment ainsi que les maximum et minimum du mois. La figure 3 permet ainsi de se rendre compte des besoins de climatisation de la ville mois par mois. On constate que les mois d'avril et mai sont les plus chauds. Il faut une combinaison forte inertie et ventilation nocturne (INV) pour un bon confort. Ce sont les périodes allant de novembre à mars où une partie se trouve dans la zone de confort (c), dans la plupart des cas on se retrouve hors de la zone de confort dont il faut une ventilation continue (juillet, août, septembre) ou une inertie thermique conséquente pour atteindre le confort souhaité.

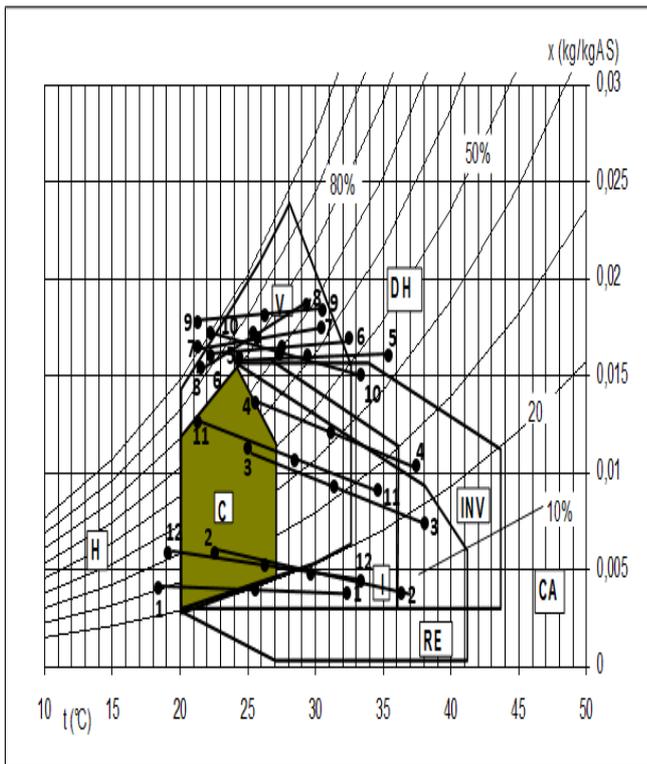


Figure 5 : station de Bobo Dioulasso dans le diagramme de confort thermique

Dans la zone de Bobo Dioulasso, on remarque que les mois de mai à octobre sont quasiment situés dans la zone V. Cette période de l’année est incluse dans la période humide où les températures sont relativement basses.

Pendant ces périodes humides, une bonne ventilation permet de couvrir pratiquement tous les besoins de climatisation à tout moment de la journée. A tout autre moment de l’année, en dehors des mois allant de novembre à mars qui se situent partiellement dans la zone de confort (c), il faut une inertie thermique ou une combinaison forte inertie et ventilation nocturne (INV) pour atteindre le confort thermique.

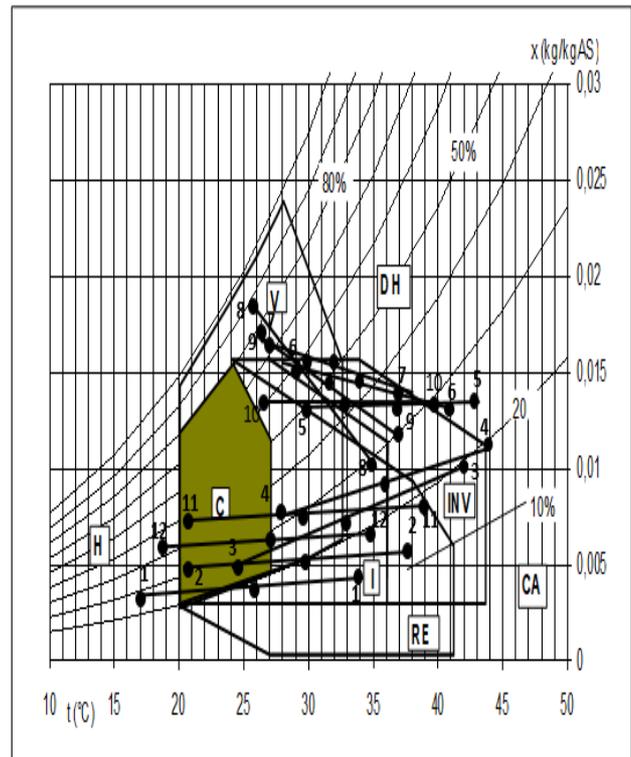


Figure 6 : station de Dori dans le diagramme de confort thermique

La zone de Dori est une zone à fortes amplitudes de température pour les mois allant de novembre à avril. Les réponses architecturales ou bioclimatiques sont de deux ordres.

-La période d’octobre à avril se caractérise par un climat sec, froid la nuit et souvent chaud le jour. L’habitat conseillé est essentiellement celui à forte inertie thermique (I) pour son stockage de la fraîcheur nocturne à condition de bien ventiler la nuit.

-La période de juin à septembre se caractérise par un climat relativement humide à faible amplitude de température. Une inertie thermique préconisée ou une climatisation artificielle à certains moments de la journée suffit pour atteindre le confort thermique.

III.2. Degrés Jours de Refroidissement (DJR)

Les préoccupations énergétiques et environnementales relatives au confort thermique nécessitent la connaissance des températures et des mouvements de l’air à l’intérieur des bâtiments [7]. Dans le cas du climat chaud, il est plus judicieux de calculer les Degrés Jours de Refroidissement (DJR). Le calcul ces degré jours de refroidissement nous a permis d’obtenir des résultats suivants (Figure 7)

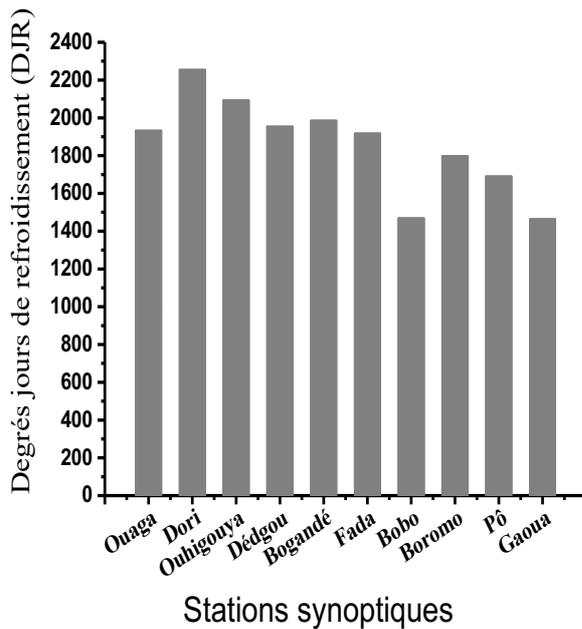


Figure 7 : Degrés Jours de Refroidissement pour les stations synoptiques (Base 24°C)

D’une manière générale, on constate que pour les dix stations synoptiques, lorsque nous sommes en période de fraîcheur, les degrés jours de refroidissement sont faibles et très élevés en période de forte chaleur car la température à cette période est maximale. Ces résultats sont de même constatés dans les travaux de [8]. On observe deux pics qui correspondent à deux saisons chaudes (mars à mai) et une partie en octobre. On remarque que la zone de Dori se démarque des autres zones car elle enregistre les DJR les plus élevés en saison chaude et les DJR les plus basses en saison froide. La zone de Bobo Dioulasso enregistre les DJR les plus faibles toute l’année. Les variations des DJR expliquent qu’en saison chaude, il faut faire recours à d’autres moyens artificiels pour espérer atteindre le confort attendu alors qu’en période froide on n’a pas assez besoin.

Ces résultats sont en accord avec les travaux de [2]. Dans lesdits travaux, les auteurs recommandent en plus de la ventilation des locaux, une climatisation active dans les périodes de forte chaleur.

III.3 Puissance thermique par la méthode des degrés jours de refroidissement

Le confort thermique dans le bâtiment dépend du milieu de conservation des matériaux utilisé pour la mais aussi du type de matériaux utilisé [9, 10]. L’analyse du confort thermique dans cette étude a été faite par le calcul de la puissance thermique du bâtiment (figure3) construit en parpaing. Les résultats sont présentés dans la figure 8.

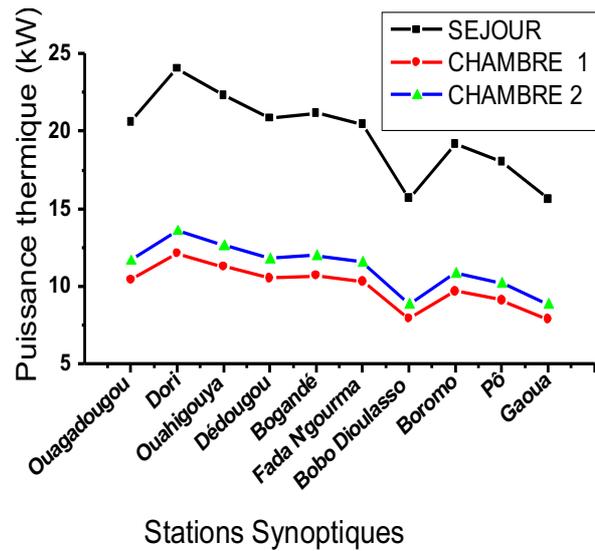


Figure 8 : Puissance thermique sans charges internes des dix stations synoptiques du

La figure 8 montre l’évolution de la puissance thermique dans les dix stations synoptiques du Burkina. On remarque que la puissance thermique varie en fonction de chaque station, du mois de l’année et de chaque pièce du bâtiment. On constate que dans chaque pièce du bâtiment (séjour, chambre 1 et 2), la zone de Dori enregistre de forte puissance thermique du fait de la température trop élevée généralement toute l’année. Alors que les stations de Bobo et Gaoua possèdent les plus faibles puissances thermiques toute l’année. Dans ces zones, le climat y est élément du fait de l’abondance de la pluie avec des températures nettement plus faibles qui s’approchent beaucoup plus de la zone de confort. Une étude similaire a été faite par [11] en climat tropical sec. L’auteur confirme qu’en saison pluvieuse le besoin en confort thermique est relativement moindre comparativement en saison sèche. Il faut donc une petite amélioration des conditions pour atteindre le confort souhaité. Lorsque nous considérons des charges internes dans le bâtiment, la puissance thermique est supérieure à celle calculer sans les charges internes [12]. Dans notre étude, la plus grande valeur de la puissance thermique est d’environ 52 kW contre 50 kW pour la station de Dori. Ces résultats s’approchent de ceux de SAWADOGO et al., 2020 [13] sur un bâtiment optimisé ou la puissance thermique dans le séjour est nettement plus élevée que dans les autres pièces du bâtiment. Cette valeur élevée de la puissance thermique est causée en grande partie par les charges internes. L’auteur recommande une isolation thermique pour ce type de bâtiment pour un meilleur confort thermique.

IV.CONCLUSION

Cette étude a permis de représenter les climats de chaque zone du Burkina Faso dans le diagramme de confort thermique et de déterminer les degrés jours de climatisation dans les dix stations synoptiques du Burkina Faso. Ces diagrammes de confort thermique nous ont

permis de montrer l'incidence prépondérante de certains paramètres climatiques sur le confort thermique. Ces diagrammes font ressortir clairement les possibilités, les zones et les modes d'interventions bioclimatiques pour atteindre le confort thermique. Nous avons déterminé ensuite les degrés jours de refroidissement (DJR) avec une température de base 24 °C qui permettent d'estimer précisément les besoins de refroidissement d'un bâtiment deux chambres - salon en saison de forte chaleur à travers le calcul de la puissance thermique.

REFERENCES

- [1] **HABITAT, ONU4. 2014**, « L'état des Villes Africaines » chez *Réinventer la transition urbaine*, Genève, 2014.
- [2] **Y.COULIBALY,G.THIOMBIANO, TRAORE.M.Yves**« Climat et confort Thermique, »*Sud Sciences et technologies*, vol. II, n° 112, pp. 50-62, 1998.
- [3] **Alexis KEMAJOU**, « De l'initiation à la maîtrise de la climatisation et du conditionnement de l'air » Masseur, 2017.
- [4] **S.AMARA,AbdouBenmoussat,B.Benyoucef, BoNordell**,« Energétiques de chauffage et climatisation d'un bâtiment pour le site de Tleccen », 13èmes Journées Internationales de Thermique,Tlemcen/ France, 28 au 30 Août 2019.
- [5] **Agence Nationale de la Météorologie du Burkina Faso(ANAM BF)**,Zone climatique du Burkina Faso, Ouagadougou, 1971-2000.
- [6] **M.Christenson, H. Manz,et D.Gyalistras**,«Climate warming impact on degree days» *Energy Conversion and Management*,vol.47,n° 16.doi:10.1016/j.enconm.2005.06.009., p. 671-686, 2005.
- [7] **M.Woloszyn**, « Modélisation hygro-thermo-aéraulique des bâtiments multizones : proposition d'une stratégie de résolution du système couple », INSA, Lyon, France, 2019.
- [8] **C.M.MANZ,H.GYALISTRASD** «Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland » *Energy conversion and management*, vol. III, n° 110, pp. 671-686., 2018.
- [9] **Benjamin KIEMA, Ousmane COULIBALY, Emmanuel OUEDRAOGO** « Study of The Influence of Storage Media on the Thermo-mechanical Behavior of Concrete and Cement Blocks » *Physical Science International Journal*, vol. 28, n° 11, pp. 45-55, 2024.
- [10] **Daouda SAWADOGO and Ousmane COULIBALY** « Comparative Study of the Thermal Comfort of Four Materials Type Used in the Construction of a Building » *Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 15, pp. 231-242, 2021.
- [11] **B. GIVONI**, « Comfort, climate analysis and building design guidelines » *Energy Build*, vol. 1, n° 14, pp. 11-23, 1992.
- [12] **Thellier, F. MONCHOUX, et J. P. BEDRONE** « le confort dans le bâtiment : n'oublions pas l'habitat » chez *JEEA*, Université de Cergy pontoise, 2012.
- [13] **Daouda SAWADOGO, Ousmane COULIBALY, Tizane DAHO**, « Modelisation et Simulation d'un Batiment classique vert un Batiment EnergiePositive (BEPOS) »*J.P.Soaphys.doi.org/10.46411/jpsoaphys.2020.01.12*, vol. 1, n° 11, 2020.