



# **ANALYSE TECHNIQUE DES PERFORMANCES D'INSTALLATION D'UN SYSTEME DE PRODUCTION DE FROID PAR ADSORPTION**

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE  
DE  
**MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE**

-----  
Présenté et soutenu publiquement le 18 juillet 2023 par

**Daouda NONGKOUNI (2017 0035 )**

**Directeur de mémoire : Dr.-Ing. habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE (HDR),  
Maître de Conférences CAMES**

**Encadrant 2iE : Ing. Ouo Adeline OUATTARA**

Structures d'accueil du stage : Laboratoire Énergie Renouvelables et Efficacité Énergétique  
(LabEREE) du 2iE

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Igor OUEDRAOGO  
Membres et correcteurs : Dr. Sayon SIDIBE  
Dr. Daniel YAMEGUEU

**Promotion**

**[2022/2023]**

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

**DEDICACES**

Je dédie ce mémoire à :

- Mon père **NONGKOUNI SAIDOU** et à ma mère **BAGUIAN SANATA** que je ne remercierai jamais assez pour leur amour et pour tous les efforts consentis pour mon avenir et mon devenir. Que le bon Dieu vous accorde une vie longue pleine et abondante ;
- Mon frère **NONGKOUNI ABDOUL SALAM**, merci pour son soutien et ses encouragements ;

Les mots ne suffiront pas pour vous exprimer ma reconnaissance et ma gratitude.

## **REMERCIEMENTS**

Il m'est impossible de remercier ici tout ceux qui ont participé à ma formation et aboutir à la rédaction de ce rapport. Ceci dit je vous témoigne ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier au début le Professeur Kokouvi Edem N'TSOUKPOE, et la doctorante Ouou Adeline OUATTARA de m'avoir accepté comme stagiaire, encadré et de m'avoir fourni de précieux conseils et remarques fort instructifs, leurs apports et leurs idées innovantes malgré leurs nombreuses activités.

Je remercie les Enseignant chercheurs : Pr Sayon SIDIBE, Pr. AZOUMAH Yao dont les cours et les conseils m'ont aidé à avancer dans ce rapport.

Messieurs les membres du jury trouvent ici ma reconnaissance pour l'honneur qu'ils m'ont apporté en acceptant d'examiner mon travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de l'évaluer en faisant partie du jury. Je tiens à exprimer tous les sentiments que je porte envers eux. Mes remerciements s'adressent également à toute l'équipe du laboratoire Génie Electrique pour leur hospitalité, sympathie et collaboration.

Je tiens à remercier toute l'équipe de LABEREE qui n'nt cesser de m'apporter des idées nouvelles et leur encouragement.

A l'endroit de tous les professeurs de 2iE, vous qui vous battez chaque jour pour offrir aux nombreux étudiants une formation de qualités, je vous témoigne ma profonde gratitude.

Ma reconnaissance et mes remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce travail tout particulièrement mes parents qui n'ont pas cessé de me soutenir tout au long ce stage.

Que DIEU vous le rende tous au centuple !!!

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

**RESUME**

Dans le cadre de la recherche du confort thermique la climatisation a été axée aujourd'hui dans les grands que petits habitats. Cela est dû au développement d'une certaine classe moyenne. Cette tendance a conduit à l'utilisation fréquente des climatiseurs en Afrique. Cette manière de climatiser occupe pratiquement plus de la moitié de la consommation électrique du bâtiment. Face à cette réalité, 2iE a engagé des explorations vers des méthodes alternatives de climatisation, notamment la climatisation par adsorption qui nécessite peu d'électricité. Le rapport actuel découle d'une série d'études entreprises au sein de l'amphithéâtre II en vue de l'implémentation d'une unité de climatisation par adsorption. Deux études distinctes ont été menées dans ce contexte. La première vise à évaluer la capacité de refroidissement actuelle fournie par les climatiseurs déjà en place dans l'amphithéâtre. La seconde étude propose une configuration instrumentale pour la future installation de la machine à adsorption. Cette infrastructure servira ultérieurement de base pour des investigations supplémentaires, destinées à évaluer la viabilité économique de la technologie de climatisation par adsorption. Les résultats de ces études pourront influencer la décision de la population quant à l'adoption de cette technologie.

**Mots Clés**

---

- 1 – Performance énergétique**
- 2 – Production de froid par adsorption**
- 3 – Climatisation**
- 4 – Machine à compression de vapeur**
- 5 – Instrumentation**

## **ABSTRACT**

As part of the search for thermal comfort, air conditioning has been focused today in both large and small homes. This is due to the development of a certain middle class. This trend has led to the use of air conditioners in Africa. This method of air conditioning occupies practically more than half of the building's electricity consumption. Faced with this reality, 2iE has initiated explorations into alternative air conditioning methods, in particular adsorption air conditioning which requires little electricity. The current report arises from a series of studies undertaken within Amphitheater II towards the implementation of an adsorption air conditioning unit. Two separate studies were carried out in this context. The first aims to evaluate the current cooling capacity provided by the air conditioners already in place in the amphitheater. The second study proposes an instrumental configuration for the future installation of the adsorption machine. This infrastructure will later serve as the basis for additional investigations to assess the economic viability of adsorption air conditioning technology. The results of these studies could influence the population's decision regarding the adoption of this technology.

### **Key words**

---

- 1 – Energetic performance**
- 2 – Cold production by adsorption**
- 3 – Climatisation**
- 4 – Steam compression machine**
- 5 – Instrumentation**

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

**LISTE DES ABREVIATIONS**

<b>Notation</b>	<b>Unités</b>	<b>Significations</b>
$EFF$	[-]	Efficacité de l'échangeur thermique
CTA	[-]	Central de traitement d'Air
$C_v$	[J/m <sup>3</sup> ·k]	Capacité thermique volumétrique
$h_1$	[J]	Valeur de l'enthalpie du fluide à l'entrée de l'évaporateur
$h_2$	[J]	Valeur de l'enthalpie du fluide à la sortie de l'évaporateur
$n$	[-]	Nombre de sections
$\dot{m}$	[kg/s]	Débit massique
$P_{él}$	[W]	Puissance électrique
$P_f$	[W]	Puissance frigorifique
$S_a$	[m <sup>2</sup> ]	Surface de la bouche d'aspiration
$S_s$	[m <sup>2</sup> ]	Surface de la bouche de soufflage
$T_0$	[°C]	Température de la source froide
$T_c$	[°C]	Température sèche de la source chaude
$T_{a i}$	[°C]	Température sèche de la section d'aspiration au point i
$T_{moya}$	[°C]	Température sèche moyenne d'aspiration
$T_{moy s}$	[°C]	Température sèche moyenne de soufflage
$T_s$	[°C]	Température sèche
$T_{s i}$	[°C]	Température sèche de la section de soufflage au point i
$T_r$	[°C]	Température de rosée
$Tr_0$	[°C]	Température sèche de la source froide
$Tr_c$	[°C]	Température sèche de la source chaude
$Tr_{a i}$	[°C]	Température sèche de la section d'aspiration au point i
$Tr_{moya}$	[°C]	Température sèche moyenne d'aspiration
$Tr_{moy s}$	[°C]	Température sèche moyenne de soufflage
$Tr_{s i}$	[°C]	Température sèche de la section de soufflage au point i
$V_{moy a}$	[m/s]	Vitesse moyenne de l'air à l'aspiration
$V_{moy s}$	[m/s]	Vitesse moyenne de l'air au soufflage
$\eta_{carnot}$	[-]	Rendement de Carnot

# ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A

## L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

$\dot{v}_a$	[m <sup>3</sup> /s]	Débit volumique d'air à l'aspiration
$\dot{v}_s$	[m <sup>3</sup> /s]	Débit volumique d'air au soufflage
%_H		Hygrométrie

## SOMMAIRE

### Table des matières

<i>Dédicaces</i> .....	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i> .....	<i>iii</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>iv</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>v</i>
<i>Liste des abréviations</i> .....	<i>vi</i>
<i>Sommaire</i> .....	<i>8</i>
<i>Liste des tableaux</i> .....	<i>10</i>
<i>Liste des figures</i> .....	<i>11</i>
<b>I. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>I.1. Contexte</b> .....	<b>1</b>
<b>I.2. Objectifs</b> .....	<b>2</b>
<b>I.3. Démarche et organisation du travail</b> .....	<b>2</b>
<b>I.4. Cadre d'accueil et de travail</b> .....	<b>2</b>
<b>II. Revue documentaire</b> .....	<b>4</b>
<b>II.1. Etude de performance de la production de froid par compression de vapeur</b> .....	<b>4</b>
<b>II.1.1. Description de la production de froid par compression de vapeur</b> .....	<b>4</b>
<b>II.1.2. Les paramètres de performance d'un système de production à compression de vapeur</b> .....	<b>5</b>
<b>II.1.3. Les normes d'évaluation de la performance des systèmes de production de froid par compression de vapeur</b> .....	<b>7</b>
<b>II.2. Etude sur le système de production de froid par sorption</b> .....	<b>11</b>
<b>II.2.1. Description du système de production de froid par absorption</b> .....	<b>12</b>
<b>II.2.2. Description du système de production de froid par adsorption</b> .....	<b>13</b>
<b>III. Matériels et méthodes</b> .....	<b>14</b>
<b>III.1. Etude de performance de la production de froid par compression vapeur</b> .....	<b>14</b>
<b>III.1.1. Description de l'installation du système de production de froid par compression de vapeur</b> .....	<b>14</b>
<b>III.1.2. Choix de l'indicateur de performance</b> .....	<b>15</b>
<b>III.1.3. Choix de la méthode de calcul de l'indicateur de performance</b> .....	<b>15</b>

# ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A

## L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

III.1.4. Les paramètres à mesurer dans le cadre de la méthode de l'enthalpie de l'air.....	16
III.1.5. Protocole ou procédure de mesure des paramètres .....	17
III.1.6. Traitement de données .....	18
III.2. Système de production de froid par sorption .....	21
III.2.1. Description de l'installation de production de froid par adsorption à instrumenter.....	21
III.2.2. Méthodologie d'instrumentation .....	22
IV. <i>Résultats et discussion</i> .....	29
IV.1. Etude de performances des climatiseurs.....	29
IV.1.1. Débit.....	29
IV.1.2. Puissance frigorifique .....	30
IV.1.3. Puissance électrique.....	31
IV.1.4. Coefficient de performance.....	32
IV.2. Instrumentation du système de production de froid par adsorption .....	34
V. <i>Conclusion et perspectives</i> .....	37
V.1. Conclusion .....	37
V.2. Perspectives .....	37
<i>Références bibliographiques</i> .....	38
<i>Annexes</i> .....	41

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Les normes de test d'un système de climatisation (20) .....	10
Tableau 2 : Condition de test de la norme ISO 5151 .....	10
Tableau 3 : Incertitudes des appareils de mesure .....	11
Tableau 4 : précisions des équipements utilisés.....	17
Tableau 5 : Extrait des mesures effectuées sur les climatiseurs.....	29
Tableau 6 : La liste des voies .....	34

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Cycle frigorifique d'une machine à compression de vapeur .....	4
Figure 2 : Mode de fonctionnement de production de froid par absorption(22).....	12
Figure 3 : Mode fonctionnement de production de froid par adsorption .....	13
Figure 4 : Localisation de l'amphithéâtre II .....	14
Figure 5 : Répartition des climatiseurs à l'amphithéâtre II.....	15
Figure 6 : Description du l'installation du système de froid par adsorption .....	22
Figure 7 : Comparaison des débits d'air .....	30
Figure 8 : Comparaison des puissances frigorifiques.....	31
Figure 9 : Comparaison des puissances électriques .....	32
Figure 10 : Comparaison des coefficients de performance .....	33
Figure 11 : schéma d'instrumentation du système du production de froid par adsorption.....	36

## I. INTRODUCTION

---

### I.1. Contexte

Actuellement, la production de froid dans l'habitat apparaît comme un enjeu énergétique majeur. Des études récentes en Afrique de l'ouest montrent que les climatiseurs dans l'habitat occupent plus de la moitié de la consommation totale dans un logement climatisé (1). En effet, les systèmes de production de froid les plus répandus reposent sur des procédés frigorifiques à compression de vapeur. Ces derniers provoquent d'énormes pics de consommation électrique pendant les périodes chaudes, des moments où l'énergie solaire est aussi à son pic. On remarque donc une certaine similitude entre les besoins forts en réfrigération et le pic de l'ensoleillement. On note aussi l'utilisation des fluides frigorigènes qui entraînent des conséquences néfastes pour la couche d'ozone et contribuent davantage à l'augmentation de l'effet de serre. On est vite arrivé à la conclusion que l'utilisation des énergies renouvelables (solaire, éolienne, hydraulique, biomasse) peut nous permettre de satisfaire nos besoins énergétiques tout en évitant de dévaster notre planète. À côté de l'énergie photovoltaïque qui est très connue dans la sous-région ouest-africaine qui peut servir à alimenter des équipements de production de froid, l'énergie solaire thermique est très peu valorisée (2). Cependant, le continent noir a un potentiel important en matière de production de froid solaire par sorption, une approche de valorisation de la chaleur solaire (3); en outre, il n'existe pratiquement pas d'installation de climatisation solaire par sorption (3). La technologie de production de froid solaire par sorption a du mal à percer sur le marché du froid bien qu'elle soit techniquement éprouvée. Pour une bonne définition des conditions d'émergence de cette technologie dans le contexte ouest-africain, l'institut 2iE a initié l'étude de la production hybride de froid combinant la technologie de froid solaire par sorption et celle de la compression de vapeur (climatiseurs classiques). Dans le cadre de ces investigations, des études préliminaires sont indispensables. Ainsi ce document présente une analyse technique des performances actuelles des climatiseurs à compression de vapeur existant dans le local devant abriter l'installation hybride. Il traite par la suite des études préliminaires sur l'instrumentation du système de production de froid solaire par sorption

## **I.2. Objectifs**

L'objectif de cette étude est de réaliser une analyse technique des performances des climatiseurs à compression de vapeur actuellement installés dans un local spécifique, en l'occurrence l'amphithéâtre II du campus de 2iE Kamboinsé. De plus, des études préliminaires seront menées sur l'instrumentation du système de production de froid solaire par sorption. L'objectif principal est d'évaluer la capacité frigorifique actuelle des climatiseurs à produire du froid afin de mieux comprendre comment les deux technologies peuvent être combinées de manière optimale.

En outre, il est prévu de mettre en place une instrumentation appropriée pour le système de production de froid, afin qu'il puisse être utilisé à des fins académiques.

## **I.3. Démarche et organisation du travail**

Afin de bien mener notre étude, le document sera structuré en trois principales parties :

La première partie est dédiée à la revue des études de performances réalisées sur les systèmes de production de froid existants. Elle examine également les normes régissant la détermination des performances de ces systèmes. De plus, elle aborde spécifiquement les systèmes de production de froid par sorption. Cette partie permettra d'établir une base solide de connaissances et de comprendre les recherches antérieures dans ce domaine.

La deuxième partie décrit la méthodologie et les équipements utilisés pour mener à bien les différentes études. Basée sur les informations recueillies lors de la revue bibliographique, cette section détaille les méthodes spécifiques et les équipements nécessaires pour des mesures exactes, une meilleure analyse des données recueillies et aussi une disposition des capteurs pour une instrumentation réussie.

La troisième partie présente les résultats des différentes études que nous avons menées, tout en fournissant des interprétations claires et concises. Cette section mettra en évidence les conclusions tirées de nos recherches et les liera aux objectifs de notre étude.

## **I.4. Cadre d'accueil et de travail**

Le LabEREE (Laboratoire Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique) de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement se concentre sur le développement de solutions énergétiques pour répondre aux besoins des pays en développement, en particulier ceux en Afrique subsaharienne. Le laboratoire cherche à intégrer différentes

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A

### L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

sources d'énergie et à développer des solutions innovantes adaptées aux besoins énergétiques spécifiques de ces pays, en mettant l'accent sur les énergies renouvelables et l'optimisation des systèmes de production d'énergie. Les travaux de recherche menés au LabEREE sont organisés autour de deux grands axes :

- Energies renouvelables et Matériaux pour systèmes énergétiques (ERMaSE) : Ce domaine de recherche se concentre sur l'utilisation et le développement de sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne, hydroélectrique, biomasse, etc. Il vise également à explorer les matériaux et les technologies adaptés pour optimiser les systèmes énergétiques basés sur ces sources d'énergie renouvelables.

- Systèmes Multi-sources et Efficacité Énergétique (SMEE) : Ce domaine de recherche se concentre sur l'intégration de différentes sources d'énergie et l'optimisation des systèmes énergétiques pour une utilisation efficace des ressources disponibles localement. Il vise à développer des solutions pour améliorer l'efficacité énergétique, réduire les pertes d'énergie et maximiser l'utilisation des ressources énergétiques disponibles.

Le LabEREE travaille donc sur le développement de solutions énergétiques adaptées aux pays en développement, en mettant l'accent sur les énergies renouvelables et l'optimisation des systèmes énergétiques.

## II. REVUE DOCUMENTAIRE

---

### II.1. Etude de performance de la production de froid par compression de vapeur

#### II.1.1. Description de la production de froid par compression de vapeur

La climatisation à compression de vapeur repose sur le principe de fonctionnement de la détente d'un fluide sous comprimé. En effet le fluide utilisé est doté de certaines propriétés spécifiques qui font qu'il peut absorber de la chaleur à basse température et à basse pression : on l'appelle fluide frigorigène. Le fluide frigorigène est maintenu dans un système fermé qui permet de créer les conditions de basse pression et de basse température dans le milieu à climatiser afin que le fluide puisse continuer à prélever de la chaleur. Ce système fermé dans lequel circule le fluide frigorigène est composé de plusieurs éléments :

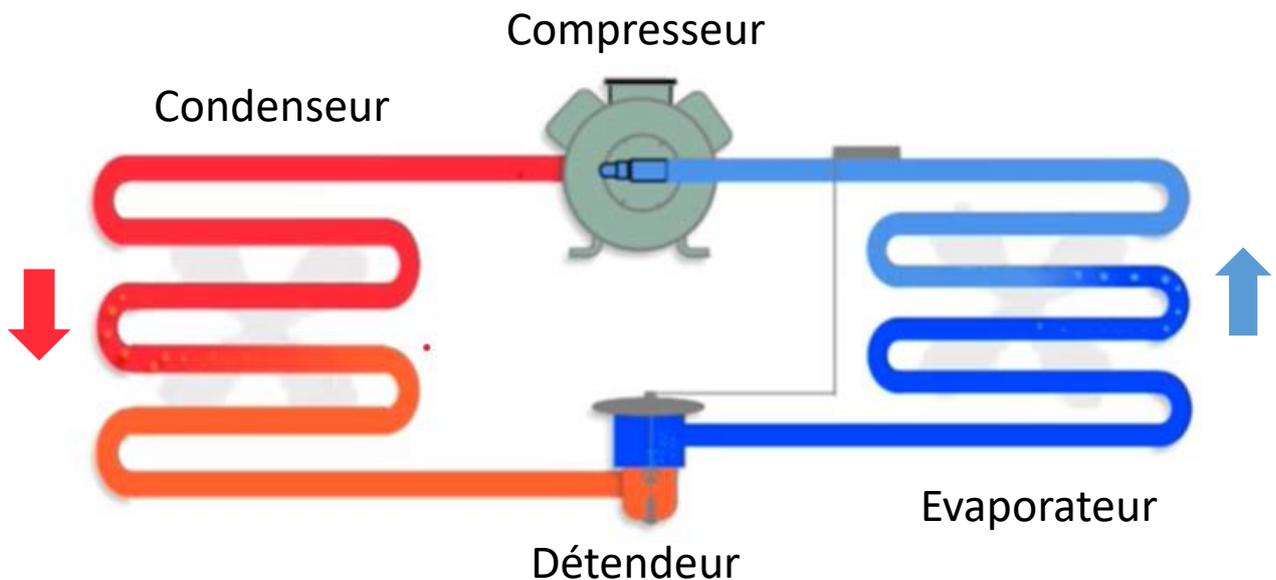


Figure 1 : Cycle frigorifique d'une machine à compression de vapeur

- L'évaporateur

C'est le siège de l'évaporation d'un fluide à basse pression. En effet, le fluide frigorigène a son point d'ébullition à basse pression suffisamment en dessous de la température ambiante. Ainsi en contact à l'aide d'un échangeur de chaleur, il y a production de froid.

- Le compresseur

C'est l'organe actif du système à compression de vapeur, il se charge de comprimer la vapeur

venant de l'évaporateur. Il nécessite un apport d'énergie le plus souvent électrique convertie en énergie mécanique.

- Le condenseur

Il se charge du rejet de la chaleur accumuler dans le système. En effet, le fluide à haute pression a une température supérieure à la température ambiante. Alors on condense le fluide à travers un échangeur de chaleur en contact avec la nature.

- Le détendeur

Le détendeur permet au fluide de haute pression de passer à une basse pression nécessaire pour la reprise du cycle.

## **II.1.2. Les paramètres de performance d'un système de production à compression de vapeur**

L'efficacité énergétique fait de plus en plus l'objet d'études dans la mesure où elle contribue à la durabilité environnementale : l'optimisation de la consommation d'énergie permet de réduire l'impact sur l'environnement. Les actions de renforcement de l'efficacité énergétique visent à obtenir les mêmes résultats en termes de performance mais avec une consommation énergétique moindre. Consommer moins pour réduire l'impact sans perdre les performances voici l'objectif de l'efficacité énergétique. Les paramètres comme le coefficient de performance, le rendement de Carnot et l'efficacité énergétique saisonnière sont utilisés dans le domaine du froid pour faire ressortir l'efficacité énergétique des systèmes de climatisation (4,5).

### **II.1.2.1. Coefficient de performance**

Un climatiseur utilise de l'énergie électrique pour produire de l'énergie frigorifique. Le coefficient de performance est un rendement comme tout autre qui est un ratio de l'énergie produite à l'énergie consommée du système. Cet indicateur donne un aperçu de la performance. L'équation (1) permet de retrouver le coefficient de performance.

$$COP = \frac{E_f}{E_{él}} \quad (1)$$

Avec :

$E_f$  : *Energie frigorifique fournie*

$E_{él}$  : *Energie électrique consommée*

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

Par exemple entre deux climatiseurs de même puissance frigorifique, on préférera choisir celui dont le COP est le plus grand, car cela traduit une moindre consommation d'électricité. Par ailleurs il est un des paramètres les plus utilisés dans les études de recherche de performance énergétique des machines frigorifiques. Il est influencé par les paramètres tels l'hygrométrie, la température, le débit sur le cycle frigorifique. Hua Yang et al. (6) utilise le COP afin de démontrer l'impact positive des éléments de refroidissement à atomisation appelé ACE sur les climatiseurs. En effet il s'agit d'humidifier l'air ambiant à l'aide de l'atomiseur ACE de particule afin de baisser la température de l'air, Puis on le fait traverser les serpentins du condenseur. Cette méthode a permis de relever le COP des machines frigorifiques en expérimentation. Dans une étude menée par Setyawan et al. (7) le COP a été l'indicateur principal pour démontrer que la variation de l'hygrométrie avait peu d'effet sur la performance des climatiseurs. Cependant, ils ont souligné que la température extérieure, qui est souvent plus élevée que les conditions de test, peut réduire considérablement le COP. Cela est particulièrement vrai dans les climats tropicaux. Il a été noté que chaque augmentation de 1% de la température extérieure entraîne une réduction de 2% du COP frigorifique (8).

### **II.1.2.2. L'efficacité énergétique saisonnier**

La consommation énergétique d'une installation frigorifique dépend principalement de ses conditions d'utilisation, c'est-à-dire des besoins réels de refroidissement et de leur variation au cours des saisons. Chaque besoin de refroidissement correspond à une condition de fonctionnement spécifique de l'installation, caractérisée par la température d'évaporation et la température de condensation. Pour déterminer la consommation d'énergie d'une installation frigorifique, il est nécessaire de prendre en compte les puissances absorbées par tous les composants qui consomment de l'énergie, en tenant compte de leur régime de fonctionnement tout au long de l'année. Cela implique de connaître la saisonnalité de l'emplacement où l'installation est utilisée. Dans le but d'évaluer l'efficacité énergétique d'une installation frigorifique sur une saison complète, des coefficients de pondération sont utilisés. Ces coefficients reflètent la durée de chaque état d'ambiance (température et charge thermique) pendant la saison considérée. De plus, les coefficients de performance (COP) des différentes conditions d'ambiance sont pris en compte. En intégrant ces informations, on peut calculer l'efficacité énergétique saisonnière de l'installation en utilisant l'équation (2).

$$SEER = \sum_{i=1}^n \mu_i \times COP_i \quad (2)$$

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

Avec :

$\mu_i$  : Coefficient de pondération à la condition d'ambiance  $i$

$COP_i$  : Coefficient de performance à la condition d'ambiance  $i$

Il est important de noter que la détermination de ces paramètres nécessite une analyse approfondie de l'emplacement spécifique, des conditions climatiques et des besoins de refroidissement.

### II.1.2.3. Le rendement de Carnot

Le rendement de Carnot décrit le rendement maximal pour une machine thermique. D'abord il identifie les sources de chaleur dans toute machine thermique notamment la source chaude et la source froide. C'est le transfert d'énergie entre ces deux sources qui fournit le travail de la machine. Ce rendement appliqué aux climatiseurs est énoncé comme l'équation (3).

Avec :

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_0}{T_c} \quad (3)$$

$T_0$  : Température de la source froide (Évaporateur)

$T_c$  : Température de la source chaude (condenseur)

### II.1.3. Les normes d'évaluation de la performance des systèmes de production de froid par compression de vapeur

Face à une émergence croissante du secteur de la climatisation et à la concurrence accrue, il devient impératif d'unifier les méthodes de mesure de la performance des systèmes frigorifiques. Cette harmonisation vise à garantir une utilisation efficace de l'énergie, assurant ainsi des économies substantielles pour les utilisateurs et prévenant les pratiques de concurrence déloyale. Actuellement, il existe sept normes qui régissent les méthodologies de mesure de la performance des machines frigorifiques. Cette harmonisation vise à établir des procédures de mesure de performance uniformes pour les systèmes frigorifiques, ce qui permettrait une comparaison objective de leurs performances. Cela favoriserait une concurrence plus équitable entre les fabricants et apporterait une assurance aux clients quant aux performances réelles des produits frigorifiques. L'objectif est de faciliter la prise de décisions éclairées lors de l'achat de ses équipements. Il convient de noter que ces normes sont conçues pour évaluer la performance énergétique des systèmes frigorifiques, en tenant

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A

### L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

compte de critères tels que l'efficacité énergétique, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Elles définissent les méthodologies de mesure, les conditions de test et les indicateurs de performance à utiliser pour évaluer la performance des machines frigorifiques.

- La norme ISO 5151 (9)

Elle s'applique aux climatiseurs et aux pompes à chaleur air-air non gainés, ainsi qu'aux petits climatiseurs et pompes à chaleur gainés. Le champ d'application de la norme couvre à la fois les systèmes monoblocs et split, mais se limite aux systèmes split, aux systèmes multi-split contrôlés par un seul thermostat.

- La norme Australienne AU/NZ 3823.4.1 (10)

La norme australienne couvre les climatiseurs refroidis par air et les pompes à chaleur air-air. Les méthodes d'essai, qui y sont développées, sont basées sur la norme ISO 16358 qui intègre l'ensemble du champ d'application des normes ISO 5151, ISO 13253 et ISO 15042. Les climatiseurs doivent avoir une puissance maximale de 8 kW. Satya Prasad Mavuri se sert de cette norme dans une étude visant à déterminer les performances des climatiseur inverter (11) à ViPAC, une entreprise située en Australie.

- La norme Chinoise GB/T 7725-2004 (12)

Cette norme s'intéresse aux climatiseurs refroidis par air ou par eau dont la puissance frigorifique n'excède pas 14 kW. J.H. Wu et al. (13) ont utilisé cette norme pour comparer les performances du R22 (un fluide frigorigène couramment utilisé) avec différents mélanges hétérogènes composés des fluides frigorigènes R290 et R1270. L'objectif de leur étude était de trouver une formulation appropriée des fluides R290 et R1270 qui permettrait d'obtenir des performances similaires à celles du R22.

- La norme Européenne EN 14825 (14)

La procédure de test de cette norme couvre à la fois les climatiseurs et les pompes à chaleur des systèmes monoblocs et divisés. Ces produits peuvent être de capacité variable, avec ou sans conduits, en systèmes mono-split ou multi-split. Elle présente les méthodes d'essai relatives à la détermination des puissances et des valeurs de COP dans les conditions de charge partielle. L'étude menée par Billard et al. (15) a introduit la norme EN 14825 comme une démarche à suivre pour évaluer les performances des climatiseurs et des pompes à chaleur. Cela suggère que cette norme fournit des méthodes d'essai et des critères de performance fiables et recommandés pour évaluer ces systèmes dans des conditions pratiques.

- La norme Japonaise JIS B 8615 (16)

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

La norme japonaise s'applique aux systèmes de climatisation monobloc et divisés d'une capacité de refroidissement nominale de moins de 10 kW. Cette norme japonaise est basée sur la norme internationale ISO 5151, avec des ajustements spécifiques pour tenir compte des conditions de test spécifiques au Japon. Dans ce contexte, le chercheur M. Miyata a utilisé cette norme pour étudier les performances des climatiseurs soumis à différentes charges dans un bâtiment (17) situé à l'institut de recherche sur le bâtiment au Japon.

- La norme Coréenne KSC 9306 (18)

La procédure d'essai de la Corée est limitée aux systèmes monoblocs et divisés d'une capacité de refroidissement nominale de 35 kW ou moins. La principale différence par rapport aux autres pays est l'exclusion des systèmes split avec plusieurs unités intérieures. Parc Yoo-cheol et al. (19) font face à plusieurs problèmes lorsqu'ils essaient d'adapter cette norme aux climatiseurs multi-splits dotés de plusieurs unités intérieures (évaporateurs). La norme initiale était principalement destinée aux climatiseurs résidentiels standard, ce qui posait des défis spécifiques telle que l'évaluation exacte de la puissance frigorifique des différents évaporateurs et la détermination du taux de charge.

- La norme des Etats-Unis

La procédure de test établie par les États-Unis a été mise à jour en 2017 et une nouvelle procédure de test est entrée en vigueur en 2023 (20). La procédure de test actuelle couvre à la fois les pompes à chaleur et les climatiseurs configurés en tant qu'unités monobloc et unités à système divisé. La norme spécifie que les unités du système divisé peuvent être conçues comme des systèmes mini-split, multi-têtes, multi-split (y compris VRF) et multi-circuits. Cette norme est utilisée par Jeff Mont et al. (21) pour le compte de US DEPARTMENT OF ENERGY dans le but d'améliorer les performances des pompes à chaleurs.

**Chaque norme spécifie les conditions d'ambiance dans lesquelles doivent être effectuées les mesures, ainsi que les paramètres spécifiques à mesurer. Par exemple le**

Le Tableau 1 répertorie les normes associées à la détermination des performances des systèmes de production de froid, ainsi que leur portée en termes de puissance. Les équipements qui font l'objet de notre étude ont une puissance de et donc tous ces normes sont applicables sur ces climatiseurs.

Tableau 2 donne la condition d'ambiance requise pour les mesures de performance de la norme ISO 5151 qui est proche du climat tropical. Ceci renforce donc le choix de la norme ISO 5151

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

**Tableau 1 : Les normes de test d'un système de climatisation (20)**

<b>Pays</b>	<b>Essai référencé (Procédure)</b>	<b>Méthode d'essai</b>	<b>Puissance maximale couverte</b>
<b>Australie Nouvelle-Zélande</b>	AU/NZS 3823.1.1 :2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calorimétrie</li> <li>▪ Enthalpie de l'air</li> </ul>	8 kW
<b>Chine</b>	GB/T 7725-2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calorimétrie</li> <li>▪ Enthalpie de l'air</li> </ul>	14 kW
<b>UE</b>	BS EN 14511 :2018	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calorimétrie</li> <li>▪ Enthalpie de l'air</li> </ul>	35 kW
<b>Japon</b>	JIS B 8615-1 :2013 JIS B 9612 :2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calorimétrie</li> <li>▪ Enthalpie de l'air</li> </ul>	10 kW
<b>Corée</b>	KSC 9306 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calorimétrie</li> <li>▪ Enthalpie de l'air</li> </ul>	35 kW
<b>Etats-Unis</b>	10 CFR 430 sous-partie B	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Enthalpie de l'air</li> </ul>	19 kW
<b>Internationale</b>	ISO 5151	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Calorimétrie</li> <li>▪ Enthalpie de l'air</li> </ul>	10 kW

Le Tableau 1 répertorie les normes associées à la détermination des performances des systèmes de production de froid, ainsi que leur portée en termes de puissance. Les équipements qui font l'objet de notre étude ont une puissance de et donc tous ces normes sont applicables sur ces climatiseurs.

**Tableau 2 : Condition de test de la norme ISO 5151**

	<b>Température d'air sec (°C)</b>	<b>Température d'air humide (°C)</b>
<b>Unité extérieure</b>	35	24
<b>Unité intérieure</b>	27	19

**Le**

Le Tableau 1 répertorie les normes associées à la détermination des performances des systèmes de production de froid, ainsi que leur portée en termes de puissance. Les équipements qui font l'objet de notre étude ont une puissance de et donc tous ces normes sont applicables sur ces climatiseurs.

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

Tableau 2 présente la condition environnementale nécessaire pour effectuer les mesures de performance conformément à la norme ISO 5151, laquelle est similaire à un climat tropical. Les conditions climatiques au Burkina, avec une température moyenne de 28,1 °C et une variation de 6,7 °C, englobent les plages de température de référence requises pour mettre en œuvre la norme ISO 5151.

**Tableau 3 : Incertitudes des appareils de mesure**

Mesurande	Incertitude de mesure
Température sèche	0.2 °C
Température de rosée	0.2 °C
Débit volumique	5 %
Temps	1 %
Vitesse d'air	1%
Puissance électrique	1%

. Le Tableau 3 met en évidence les incertitudes associées aux mesures recommandées par la norme ISO 5151, qui sont utilisées pour évaluer les performances des machines frigorifiques. Les instruments de mesure doivent être conformes à ces incertitudes pour que la norme puisse assurer la validité des résultats obtenus.

## **II.2. Etude sur le système de production de froid par sorption**

Le système de production de froid par sorption utilise des composés qui ont une certaine affinité chimique de certaines molécules plus volatiles appelées (sorbate) et d'un liquide ou solide (sorbant). Cette affinité se manifeste par la rétention du sorbate par le sorbant. Suivant le type de sorbant nous distinguons deux types de sorption : l'adsorption et l'absorption.

### II.2.1. Description du système de production de froid par absorption

L'absorption désigne un phénomène dans lequel le sorbat pénètre dans le sorbant. La Figure 2 représente le mode de production de froid par absorption.

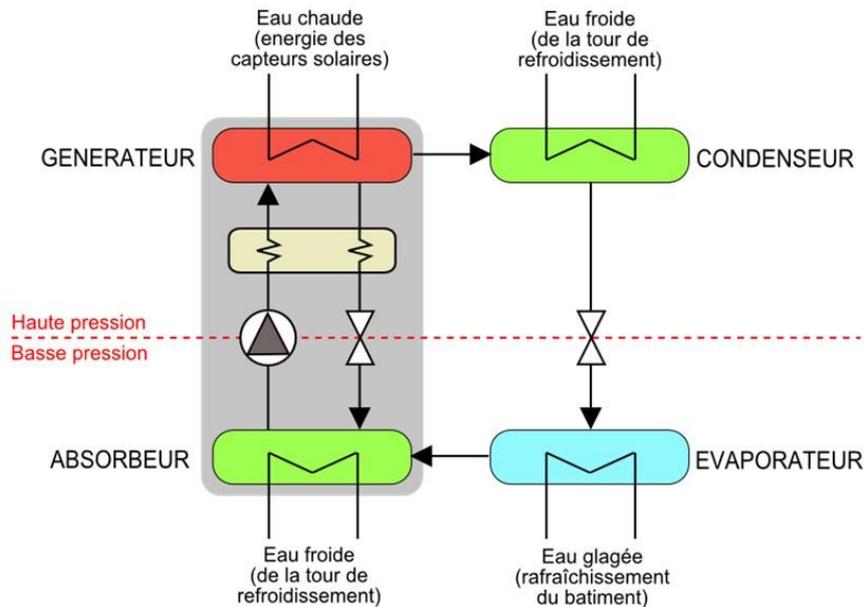


Figure 2 : Mode de fonctionnement de production de froid par absorption(22)

Le cycle à absorption passe par les étapes suivantes (22) :

Évaporation du réfrigérant dans l'évaporateur, ce qui a pour effet d'extraire la chaleur d'une source de chaleur à faible température. Cette étape est à l'origine du rafraîchissement utile et désiré du bâtiment.

Le réfrigérant est ensuite dirigé vers l'absorbeur dans lequel il est absorbé par une solution concentrée d'absorbant. La chaleur latente d'absorption ainsi que la chaleur de mélange doivent être rejetées. Pour cela, une tour de refroidissement est habituellement utilisée.

La solution diluée est ensuite pompée vers le générateur dans lequel une source chaude est utilisée pour chauffer la solution au-dessus de son point d'ébullition. Ainsi, le réfrigérant est séparé de l'absorbant. Le réfrigérant sous forme vapeur et sous haute pression est envoyé vers le condenseur, et l'absorbant concentré est renvoyé vers l'absorbeur.

Le réfrigérant se condense alors, et l'énergie libérée par ce changement de phase doit être évacuée. Pour cela, une tour de refroidissement est habituellement utilisée, de même que pour l'absorbeur. La pression du réfrigérant est ensuite brutalement réduite en passant à travers une vanne de détente avant de retourner dans l'évaporateur.

### II.2.2. Description du système de production de froid par adsorption

L'adsorption quant à elle désigne un phénomène dans lequel le sorbant est retenu par adhésion superficielle. Lorsqu'elle met en jeu les forces des liaisons de covalence, elle est dite d'adsorption chimique et d'adsorption physique lorsque ce sont des forces de Van der Waals (23).

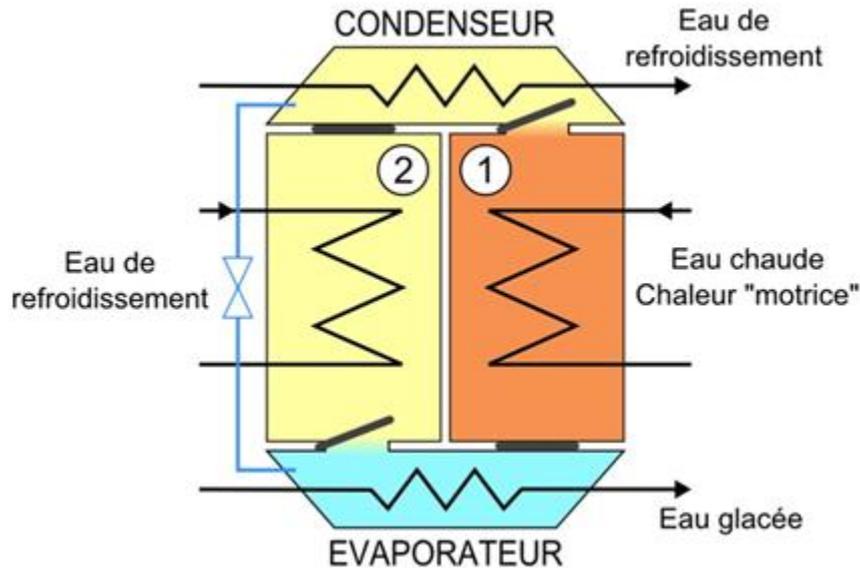


Figure 3 : Mode fonctionnement de production de froid par adsorption

En ce qui concerne l'adsorption c'est un matériau solide qui est utilisé comme un adsorbant. La machine comprend deux compartiments remplis d'adsorbant (compartiments 1 et 2), un évaporateur, et un condenseur comme l'illustre la Figure 3.

L'adsorbant du premier compartiment est régénéré par chauffage (eau chaude solaire), la vapeur d'eau ainsi produite est envoyée dans le condenseur où elle se condense. L'eau liquide, via une vanne de détente, est envoyée à basse pression dans l'évaporateur où elle s'évapore : c'est la phase de production de froid.

L'adsorbant du compartiment 2 maintient la basse pression en adsorbant cette vapeur d'eau. Ce compartiment doit être refroidi pour entretenir le processus d'adsorption. Lorsque la production de froid diminue (saturation de l'adsorbant en vapeur d'eau), les fonctions des deux compartiments sont permutées par ouverture et fermeture de clapets.

### III. MATERIELS ET METHODES

---

#### III.1. Etude de performance de la production de froid par compression vapeur

##### III.1.1. Description de l'installation du système de production de froid par compression de vapeur

Le système hybride de production de froid combinant la technologie de froid solaire par sorption et celle de la compression de vapeur envisagé par l'institut sera installé à l'amphithéâtre II. L'amphithéâtre II de 2iE est l'un des principaux bâtiments dédiés aux activités académiques et aux événements organisés par 2iE. Il est situé à Kamboinsin, au site K1, à proximité du lac conformément à la Figure 4.



**Figure 4 : Localisation de l'amphithéâtre II**

D'une superficie de plus de 600 m<sup>2</sup>, il est conçu pour accueillir plus de 360 étudiants. Actuellement, il est équipé de climatiseurs qui assure le confort thermique.

Au nombre de huit les climatiseurs installés sont des climatiseurs doubles splits de 3 Ch. Ils sont de la marque SHARP et leur fiche technique est présentée en Annexe I. Ils sont répartis sur toute la salle comme la Figure 5 le montre.

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

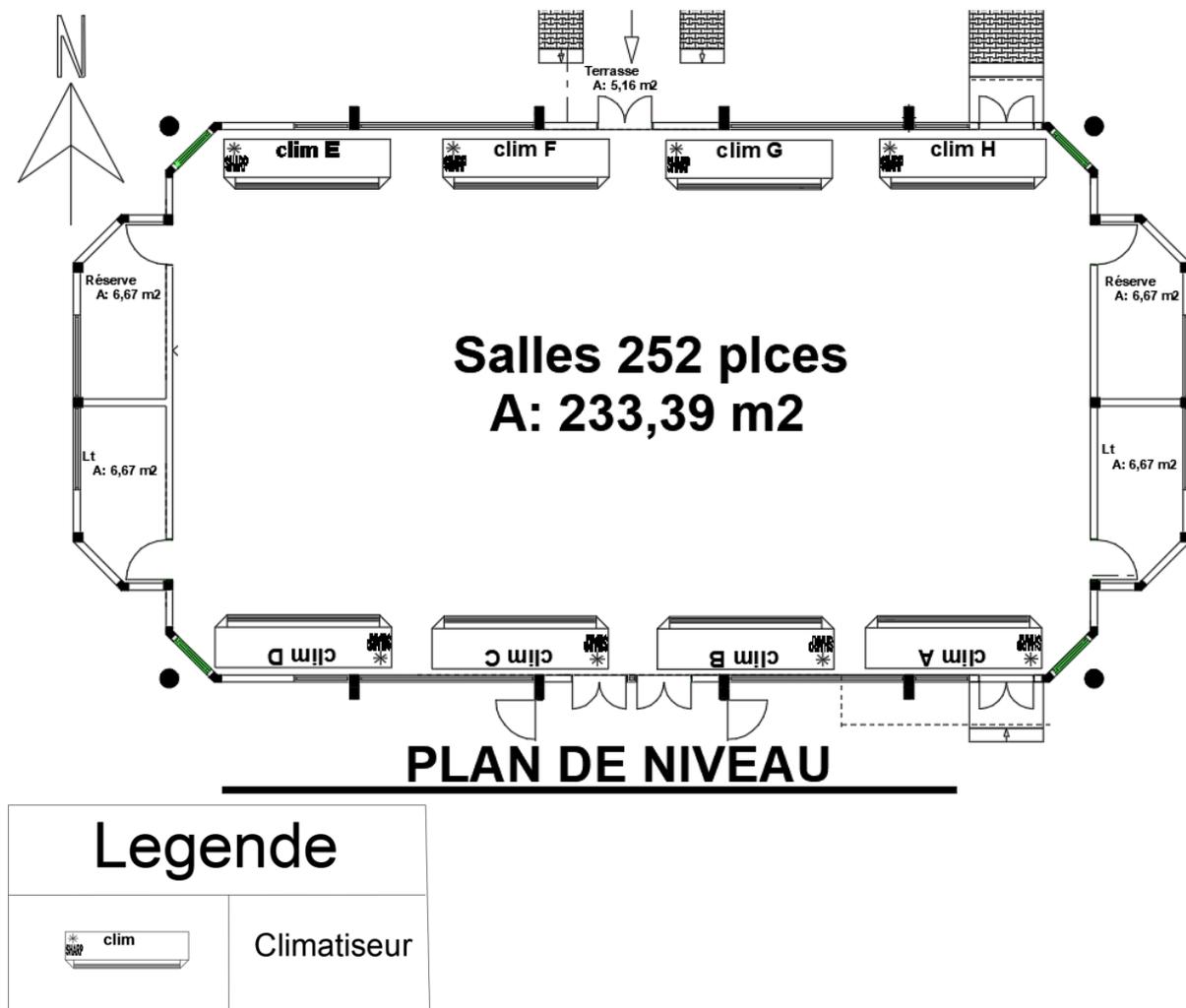


Figure 5 : Répartition des climatiseurs à l'amphithéâtre II

### III.1.2. Choix de l'indicateur de performance

En raison de sa pertinence et de son influence dans le domaine des systèmes frigorifiques, le coefficient de performance (COP) est largement utilisé comme indicateur de performance dans de nombreuses études de recherche. Il est choisi ainsi comme indicateur de performance dans cette étude, car il est reconnu pour évaluer efficacement les performances des systèmes frigorifiques. La détermination du COP peut se faire à travers les tests des condenseurs ou les tests des évaporateurs.

### III.1.3. Choix de la méthode de calcul de l'indicateur de performance

Les conditions de test des condenseurs sont presque entièrement alignées sur la norme ISO 5151 (20). Par contre celles des évaporateurs diffèrent d'une norme à une autre par les

conditions d'ambiance de l'unité intérieure. En outre toutes les normes s'alignent derrière la norme internationale ISO 5151 en ce qui concerne la procédure de test à pleine charge, c'est-à-dire pour les systèmes de production de froid qui fonctionnent à leurs capacités maximales. Par conséquent nous proposons de nous référer à la norme internationale ISO 5151 parce que les climatiseurs de l'amphithéâtre II fonctionnent en pleine charge (20).

Selon cette norme, il existe deux méthodes pour obtenir le COP : la méthode de calorimétrie et celle de l'enthalpie de l'air. La méthode de calorimétrie requiert une isolation thermique de l'amphithéâtre II, ainsi que l'installation de nombreux capteurs. Cependant, en raison de la construction spécifique de l'amphithéâtre II, avec ses nombreuses ouvertures et le vide sous le toit, l'application de la méthode de calorimétrie peut s'avérer difficile. Dans ce contexte, nous proposons d'utiliser la méthode de l'enthalpie de l'air pour mesurer le COP des climatiseurs. La méthode de l'enthalpie de l'air consiste à mesurer les variations de l'enthalpie totale de l'air traversant le climatiseur, en tenant compte de la température sèche et la température de rosé de l'air. Cette méthode peut être plus facilement applicable dans l'amphithéâtre II, malgré sa construction complexe.

#### **III.1.4. Les paramètres à mesurer dans le cadre de la méthode de l'enthalpie de l'air**

Selon la norme ISO 5151, les paramètres nécessaires à la détermination du coefficient de performance (COP) des climatiseurs sont :

- Température sèche : c'est la température que l'on mesure avec un thermomètre. Elle est obtenue ici grâce à l'équipement du LabEREE, le Testo 400 (24). L'établissement de la variation d'enthalpie nécessite de mesurer la température de l'air à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur du climatiseur. La détermination de l'enthalpie nécessite un autre paramètre tel que la température de rosée.

- Température de rosée : Il s'agit de la température à laquelle l'air doit être refroidi pour être saturé de vapeur d'eau. Elle doit être mesurée en entrée et en sortie. Elle est mesurée ici avec le testo 400. Associée à la température sèche et à l'aide du diagramme psychométrique, l'enthalpie de l'air est alors déterminée.

- Débit d'air : Afin d'obtenir le débit massique de l'air à l'évaporateur, nous utilisons un anémomètre pour mesurer la vitesse de l'air. En effet associée à la section de l'évaporateur, elle nous permet d'obtenir le débit volumique et par la suite le débit massique.

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

▪ Puissance électrique : il s'agit de mesurer la puissance électrique consommée par le climatiseur durant son fonctionnement. C'est le wattmètre PCE-PCM 1 (25) qui nous permet de la mesurer. La connaissance des puissances électrique et frigorifique nous permet d'obtenir le COP.

**Tableau 4 : précisions des équipements utilisés**

Equipements	Mesurande	Précision
<b>TESTO 400</b>	Température sèche	0.2 °C
	Température de rosée	0.2 °C
<b>Anémomètre</b>	Vitesse de l'air	3%
<b>Wattmètre</b>	Puissance électrique	1%

Les précisions des appareils utilisés pour les différentes mesures sont recensées dans le Tableau 3. Les appareils de mesures respectent les incertitudes préconisées par la norme ISO 5151.

### **III.1.5. Protocole ou procédure de mesure des paramètres**

Avant de procéder à la mesure des paramètres décrit ci-dessus et conformément aux exigences de la norme ISO 5151, un protocole de mesure a été établi. Les lignes ci-dessous le décline point par point.

- Subdiviser les sections des bouches de soufflage et d'aspiration en de petites buses dont la longueur correspond à celui de l'anémomètre qui mesure 6.5 cm. En effet, la mesure pour la température ne spécifie pas la longueur de la section mais plus la longueur de la section est petite, plus la mesure se rapproche des vraies valeurs.
- Laisser le climatiseur fonctionner pendant 5 min afin qu'il atteigne son mode de fonctionnement permanent.
- Prendre une série de mesure des températures sèches, des températures humides et des vitesses de l'air des buses de l'aspiration et des buses du soufflage.
- Après 25 min du temps de démarrage effectuer une deuxième série de mesure des températures sèches, des températures humides et des vitesses de l'air des buses de l'aspiration et des buses du soufflage
- Puis mesurer la puissance électrique du climatiseur au niveau de son disjoncteur.

Il faut noter que la norme préconise qu'on effectue une série de mesure toutes les 30 s pendant 35 min, cependant les équipements dont nous disposons ne nous permettent pas de prendre des mesures à des intervalles de 30 s car sur un climatiseur nous avons identifié 12 sections donc 12 mesures. De plus les équipements nécessitent un peu de temps pour donner une valeur stable. C'est pour cette raison que seulement deux séries de mesure ont été effectuées .

### III.1.6. Traitement de données

#### III.1.6.1. La température sèche

Comme expliquer dans le protocole décrit plus haut, nous avons 12 mesures. La température sèche moyenne s'obtient à travers la moyenne arithmétique des différentes températures moyennes sèches identifier à la section de soufflage et à la section d'aspiration. Les équations (4) et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**(5) permettent de déterminer les températures moyennes.

$$TS_{moya} = \frac{\sum_{i=1}^n TS_{ai}}{12} \quad (4)$$

$$TS_{moya} = \frac{\sum_{i=1}^n TS_{si}}{12} \quad (5)$$

Avec :

$TS_{ai}$       *Température sèche à l'aspiration et au point i*

$TS_{moya}$       *Température sèche moyenne à l'aspiration*

$TS_{moys}$       *Température sèche moyenne au soufflage*

$TS_{si}$       *Température sèche au soufflage et au point i*

#### III.1.6.2. La température de rosée

L'obtention de la température moyenne de rosée s'effectue de la même manière que la température sèche moyenne. Les équations (6) et (7) permettent d'obtenir respectivement la température moyenne de rosée d'aspiration et celle de soufflage.

$$Tr_{moya} = \frac{\sum_{i=1}^n Tr_{ai}}{12} \quad (6)$$

$$Tr_{moys} = \frac{\sum_{i=1}^n Tr_{si}}{12} \quad (7)$$

Avec :

$Tr_{ai}$       *Température de rosée à l'aspiration et au point i*

$Tr_{moya}$       *Température moyenne de rosée à l'aspiration*

$Tr_{moys}$       *Température moyenne de rosée au soufflage*

$Tr_{si}$       *Température de rosée au soufflage et au point i*

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

**III.1.6.3. Le débit**

Une fois les vitesses et les surfaces de soufflage et d'aspiration mesurées, les équations (8), (9), (10) et (11) sont utilisées pour obtenir les débits volumiques d'air à l'aspiration et au soufflage.

$$V_{moy a} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{a i}}{12} \quad (8)$$

$$V_{moy s} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{s i}}{12} \quad (9)$$

$$\dot{v}_a = V_{moy a} \times S_a \quad (10)$$

$$\dot{v}_s = V_{moy s} \times S_s \quad (11)$$

Avec :

$S_a$  Surface d'aspiration

$S_s$  Surface de soufflage

$V_{a i}$  Vitesse à l'aspiration et au point  $i$

$V_{moy a}$  Vitesse moyenne d'aspiration

$V_{s i}$  Vitesse au soufflage et au point  $i$

$V_{moy s}$  Vitesse moyenne au soufflage

**III.1.6.4. La puissance frigorifique**

Une fois les températures et les débits obtenus on procède à la détermination de la puissance frigorifique de l'air. Elle s'obtient par l'équation (12) :

$$Pf = \dot{v} \times \rho_{air} \times (h_{moya} - h_{moys}) \quad (12)$$

$\rho_{air}$  est la masse volumique de l'air qui est un paramètre dépendant de l'humidité relative, de la température et de la pression. Cependant dans le cadre pratique et le fait que l'air peut être assimilé à un gaz parfait à de basse pression (26), la capacité thermique volumique peut être considérée constante. On l'a donc choisi dans les conditions de température égale à 20 °C et à pression ambiante, car cela correspond à notre utilisation et est bien encadré par les températures de soufflage et d'aspiration. Dans ces conditions  $\rho_{air}$  vaut 1.204 kg.m<sup>-3</sup>. Il faut

aussi noter que les enthalpies peuvent s'obtenir à travers le diagramme de l'air humide ou à travers un tableau thermodynamique de l'air qui nécessite avec la connaissance de la température sèche et la température de rosée.

Pour la détermination de la puissance frigorifique au niveau même de l'évaporateur, on part du principe que la puissance frigorifique disponible sur l'échangeur est la même que la puissance frigorifique véhiculée par le fluide frigorigène. L'équation (14) traduit cette équivalence.

$$P_{f_f} = P_{f_e} \quad \text{Ou} \quad \dot{m} \times (h_1 - h_2) = P_{f_e} \quad (13)$$

Cependant, la puissance disponible sur l'échangeur est transmise à l'air à un rendement près qui est l'efficacité des échangeurs de chaleur (27). Les équations(14) et (15) permettent d'obtenir la puissance frigorifique disponible sur l'échangeur de chaleur.

$$P_{f_e} = P_f \times EFF \quad (14)$$

$$EFF = \frac{T_{moya} - T_{moy s}}{T_{moya} - T_{FTP}} \quad (15)$$

Avec :

$P_f$  Puissance frigorifique transmise à l'air

$P_{f_e}$  Puissance frigorifique disponible sur l'échangeur de chaleur

$P_{f_f}$  Puissance frigorifique fournie par le fluide frigorigène

$EFF$  Efficacité de l'échangeur de chaleur

$T_{FTP}$  Température du point de fin du processus théorique correspondant à la température de contact avec l'échangeur de l'évaporateur

## **III.2. Système de production de froid par sorption**

### **III.2.1. Description de l'installation de production de froid par adsorption à instrumenter**

L'installation envisagée est un système de production de froid par adsorption. Il regroupe une machine à adsorption, deux ballons d'eau, une tour de refroidissement, deux évaporateurs, des capteurs solaires thermiques comme l'illustre la Figure 6. La machine à adsorption utilise le gel de silice comme adsorbant et de l'eau comme réfrigèrent. Avec une puissance frigorifique de 16,7 kW, elle est élément principal de l'installation. Elle est fournie par FAHRENHEIT, une entreprise spécialisée dans les technologies d'adsorption. En fait, la plupart des équipements utilisés dans cette installation proviennent également de chez FAHRENHEIT.

L'installation comprend trois circuits distincts :

- Le circuit d'eau chaude,

Il comprend la machine à adsorption, le ballon d'eau chaude et les capteurs solaires. De l'eau circule dans ce circuit. Les capteurs solaires sont responsables de chauffer l'eau, tandis que le ballon d'eau chaude sert de réservoir pour le stockage. Cette eau, qualifiée d'eau chaude, est utilisée pour régénérer les gels de silice saturés de la machine à adsorption.

- Le circuit d'eau froide,

Il comprend la machine à adsorption, le ballon d'eau froide et les deux évaporateurs. Le fluide circulant dans ce circuit est également de l'eau. Dans la machine à adsorption, l'eau entre en contact avec le réfrigérant, transférant ainsi sa chaleur au réfrigérant et se refroidissant par la suite. Elle est ensuite dirigée vers les deux évaporateurs, où elle échange de la chaleur avec l'air de l'amphithéâtre. Le ballon d'eau froide sert de réservoir pour stocker l'eau froide. La présence des deux ballons permet de déplacer la consommation d'énergie et de stabiliser la demande en froid.

- Le circuit d'eau de condensation,

il qui comprend la machine à adsorption, le séparateur de circuit et la tour de refroidissement. Le fluide circulant dans ce circuit est de l'eau, et son rôle est de condenser la vapeur d'eau séparée des gels de silice saturés, ainsi que de refroidir les gels de silice pour maintenir une basse pression et une basse température dans le deuxième compartiment du gel de silice régénéré.

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

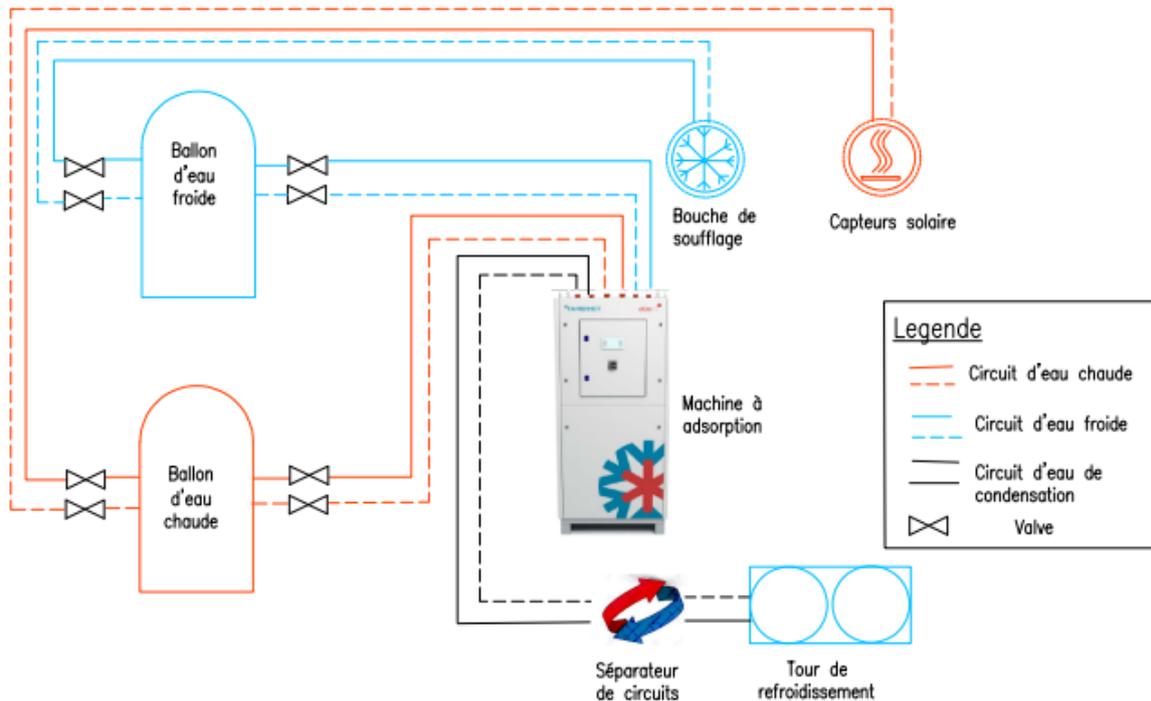


Figure 6 : Description de l'installation du système de froid par adsorption

### III.2.2. Méthodologie d'instrumentation

Il est important de souligner que le COP est considéré comme le meilleur indicateur de performance et est largement utilisé. L'instrumentation est un domaine complexe et varié qui nécessite une approche méthodologique. Cette approche comprend le repérage des paramètres, le choix de capteurs appropriés, l'établissement de listes de voies et enfin la sélection d'instruments de mesure (25).

#### III.2.2.1. Repérage des paramètres

L'instrumentation a un but précis, qui doit être déterminé. Dans notre cas il est question de l'énergie frigorifique produite par le système de production de froid, de pouvoir estimer sa performance et d'apporter un jugement là-dessus pour des fins de recherche.

Le but principal étant de déterminer l'énergie frigorifique et le fluide utilisé étant aussi de l'eau nous proposons donc les paramètres température et débit.

#### III.2.2.2. Choix des capteurs

Il existe une grande variété de capteurs de température et de débit disponibles sur le marché. Il est donc essentiel de les identifier de manière appropriée et d'effectuer le choix.

En ce qui concerne les températures on note :

- La sonde de platine

Ce capteur se base sur les propriétés du platine. Il offre une bonne précision et stabilité, ainsi

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A

### L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

qu'une plage de température élevée pouvant aller jusqu'à 1300 °C. Toutefois, il est relativement coûteux.

- Les thermistances

Ce sont des composants électroniques dont la résistance électrique varie en fonction de la température. Elles sont largement utilisées en électronique, mais elles présentent des précisions et des stabilités relativement faibles.

- Le thermocouple

Les thermocouples sont des capteurs de température qui fonctionnent en mesurant la différence de température entre deux conducteurs de matériaux différents. Ils offrent une précision raisonnable et sont souvent privilégiés pour les applications à basse température. De plus, ils sont relativement abordables en termes de coût.

La tour de refroidissement, la machine, les ballons, les capteurs ainsi que les bouches d'aération ont des plages de température comprises entre 8 °C et 95 °C. C'est l'eau qui est utilisée comme fluide caloporteur dans tout le système. Par ailleurs la bonne caractérisation des échanges d'énergie nécessite que le choix des sondes de température soit basé sur plusieurs paramètres dont la précision, les conditions d'exposition de la sonde, etc. Il nous faut donc une sonde de bonne précision (1.5°C), une bonne sensibilité face une variation brute est d'autant plus nécessaire. Parmi les options disponibles, on retrouve le platine PT100, le thermocouple de type k, de type T et les thermistances. Cependant les thermistances sont éliminées de la sélection en raison de leur manque de rigidité. Le platine quant à lui a une faible sensibilité (0.385 Ω /°C) ; par ailleurs on note son coût assez élevé (28).

Le thermocouple de type T répond bien aussi aux critères, même plus avec des précisions allant à 0.5. Cependant il faut noter que pour le présent objet d'instrumentation n'a pas besoin d'une telle précision et ce type de thermocouple n'est pas très adéquat avec de l'atmosphère oxydant.

Le thermocouple de type k permet d'avoir une telle précision en plus il est compatible avec une atmosphère complètement oxydée comme c'est notre cas ici. Par ailleurs la conséquence de sa tolérance sur celle de l'évaluation des échanges d'énergie est de 0.4%. Nous proposons donc le thermocouple de type k du fabricant TC.SA pour la mesure de la température.

Pour ce qui concerne le débit, il existe plusieurs types de débitmètres suivant le mode de fonctionnement :

- Débitmètre Coriolis

Ils sont généralement considérés comme les débitmètres présentant les meilleures répétabilité

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

et précision disponibles sur le marché aujourd'hui. Ces appareils sont adaptés à toute application pour laquelle la précision élevée constitue un facteur clé, qui permet d'obtenir une qualité du produit, une sécurité et des revenus constants. Ces débitmètres sont souvent utilisés dans les applications de comptage transactionnel en raison de leur excellente précision dans un grand nombre de conditions et du fait qu'ils nécessitent peu de maintenance.

- Débitmètre à pression différentielle

Il introduit un rétrécissement de diamètre du conduit et utilise l'équation de Bernoulli pour déterminer le débit. En effet, la baisse de pression provoquée par le rétrécissement est proportionnelle au carré du débit. Il convient aux échangeurs thermiques, aux disconnecteurs hydrauliques.

- Débitmètres électromagnétiques

Les débitmètres électromagnétiques sont composés d'un transmetteur et d'un capteur qui, associé, mesure le débit. Le capteur du débitmètre magnétique est placé en ligne et mesure une tension induite générée par le fluide lors de son passage dans une conduite. Le transmetteur enregistre la tension générée par le capteur, la convertit en mesure de débit et transmet cette mesure à un système de régulation. Par ailleurs, on note une grande précision pour la mesure de débit volumique et une grande adaptation aux différentes applications.

- Débitmètres à ultrasons

Comme l'indique son nom, il utilise des ultrasons pour mesurer la vitesse moyenne d'un fluide. En effet il introduit des impulsions ultrasoniques aux fluides et se contente de mesurer la différence de temps de la propagation de ces derniers à travers le fluide en mouvement.

- Débitmètres à effet vortex

La mesure du débit se repose sur la formation de tourbillons ou vortex alternés générant des coûts de pression à l'intérieur de la tuyauterie. En effet lorsqu'un fluide rencontre un corps non profilé (obstacle), il se divise et engendre de petits tourbillons alternés de part et d'autre et en aval du corps non profilé. Ces tourbillons engendrent des zones de pression variable, détectées par des capteurs capacitifs dotés d'un cristal piézo-électrique. C'est la fréquence de génération de tourbillons directement proportionnelle à la vitesse du fluide qui est à la base de la mesure du débit. Il offre beaucoup davantage comme une installation dépourvue de lignes d'impulsion, l'absence de pièces mobiles nécessitant maintenance et réparation, un risque de fuite limité et une plage de mesure importante. Les débitmètres à effet vortex consomment

également très peu d'électricité et peuvent ainsi être utilisés sur des sites éloignés. Par ailleurs, les débitmètres à effet vortex sont uniques dans le sens où ils peuvent accueillir des liquides, des gaz, de la vapeur et des applications corrosives. Les débitmètres à effet Vortex peuvent également supporter des températures et des pressions de procédé élevées.

Le choix de débitmètre repose donc sur sa convenance à l'utilisation. Étant donné que le fluide est un liquide, il conviendrait de mesurer son débit massique, car il fait intervenir moins de paramètres pour la détermination de la performance du système notamment les conditions de pression et de température (29). Le débitmètre vortex mesure des débits volumiques, en plus il exige des contraintes difficiles à respecter dans notre cadre comme des tuyaux droits pour le montage ou encore le fait qu'il doit être installé dans un milieu calme pour éviter les vibrations(30). Le débitmètre électromagnétique possède d'énormes avantages tels que le coût réduit, pas de diminution de pression, mais n'est pas convenable à l'instrumentation. En effet le bon fonctionnement de ce débitmètre nécessite un fluide conducteur (par exemple de l'eau salée) et pourtant l'eau utilisée est un mauvais conducteur. Il faut aussi noter que ce débitmètre mesure des débits volumiques (31). Le débitmètre à ultrasons comme dit plus haut, mesure la vitesse du fluide et donc on ne peut tirer que le débit volumique à travers cet instrument. Le débitmètre à pression différentielle provoque une baisse élevée et permanente de pression. Ce qui augmente les frais liés au pompage du fluide.

Le débitmètre Coriolis est le seul qui mesure directement le débit massique, de plus il offre une grande précision et une bonne répétabilité. Malgré quelques inconvénients comme la mauvaise stabilité du zéro ou encore son prix relativement élevé, ses avantages restent indéniables. Il convient mieux à la présente utilisation. Ainsi nous proposons de mettre un débitmètre sur chaque circuit. Ainsi nous dénombrons au total trois (03) circuits notamment :

- Le circuit d'eau chaude

Il regroupe la machine à adsorption, le ballon d'eau chaude et les capteurs solaires, ceci dit nous proposons de mettre deux débitmètres sur les parties Machine-Ballon et Ballon-Capteurs. Le débit nominal est de  $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$  avec une pression de 464 mbar. Nous proposons donc le débitmètre H050 de Micro Motion qui a une bonne précision de  $0.0015 \text{ m}^3/\text{h}$ . les gammes de débitmètres de Micro Motion sont récapitulés dans l'

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

Annexe II.

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

- Le circuit d'eau froide

Ce circuit regroupe la machine à adsorption, le ballon d'eau froide et les ventilo-convecteurs. Pour des questions de vérification, nous proposons deux débitmètres sur les parties Machine-Ballon et Ballon -(Ventilo-convecteur). Le débit nominal est de 5.1 m<sup>3</sup>/h avec une pression de 690 mbar. Avec un diamètre de. Nous proposons donc le débitmètre H100 qui a aussi une précision de 0.0002 m<sup>3</sup>/h.

- Le circuit d'eau de condensation

Il regroupe la machine à adsorption, le séparateur de circuit et la tour de refroidissement. Nous proposons également deux débitmètres sur les parties Machine-Séparateur et Tour - Séparateur. Le débit nominal est de 2.9 m<sup>3</sup>/h à la pression de 630 mbar. Nous proposons aussi le débitmètre H050.

### **III.2.2.3. Etablissement des listes de voies**

L'établissement du tableau de liste de voie constitue l'une des étapes importantes de l'instrumentation. Il s'agit ici de ressortir l'ensemble des données à enregistrer, ainsi que la plage dans laquelle elles se trouvent. Après cela, il faut aussi déterminer le type de signal qu'il envoie.

### **III.2.2.4. Choix d'enregistreur**

Il existe deux types de technologies permettant d'enregistrer des données. Ce sont les enregistreurs et les centrales d'acquisitions de données.

Un système d'acquisition de données (DAQ) est un système d'information qui recueille, stocke et distribue des informations. Il est utilisé dans l'électronique industrielle et commerciale et dans les équipements environnementaux et scientifiques pour capturer des signaux électriques ou des conditions environnementales sur un ordinateur (32).

Un enregistreur permet de stocker des données, il surveille et enregistre des données en temps réel, telles que la tension, la température et le courant. Un enregistreur est préféré à un système d'acquisition de données (DAQ) lorsque l'application ne nécessite pas un enregistrement à grande vitesse, mais il exige de longues durées d'enregistrement. Les enregistreurs de données sont moins coûteux que les systèmes DAQ.

Nous proposons les enregistreurs pour diverses raisons :

- Taux d'échantillonnage faible

Ce paramètre désigne la fréquence d'enregistrement des données. La fréquence de variation des températures au sein d'un tel système de production de froid par adsorption est faible. Le

système n'a donc pas besoin d'une grande fréquence d'enregistrement.

- Le coût relativement faible

Le coût d'un enregistreur tourne autour d'un de 100 000 F CFA alors que les Centrales d'acquisition de données sont supérieures à 500 000 F CFA (33,34).

- Disponibilité d'une grande variété

Il existe une multitude de fabricants qui propose des technologies assez innovantes.

- Moins complexe

Elle présente moins de complexité. Facile à installer la technologie est assez utilisée.

Comme dit plus haut, il existe une grande variété d'enregistreurs sur le marché et la technologie est facile à maîtriser. Il s'agit maintenant du choix de notre enregistreur. Il existe trente capteurs au total dont vingt-quatre capteurs de température et six capteurs de débit. Les débitmètres choisis présentent un système d'affichage intégré et ils peuvent se transmettre les données recueillies sur un ordinateur à travers un connecteur. On n'a donc pas besoin d'enregistreur pour les débitmètres.

Nous proposons donc l'enregistreur OM-CP-X12RTDTEMP-A2. Il peut prendre 12 entrées de thermocouple (35).

## IV. RESULTATS ET DISCUSSION

### IV.1. Etude de performances des climatiseurs

Deux séries de mesures ont été effectuées afin d'éviter les erreurs de mesure. L'Annexe III présentent les différentes mesures ainsi réalisées sur les climatiseurs de l'amphithéâtre II. Le Tableau 5 représente un extrait des différentes mesures ainsi réalisées.

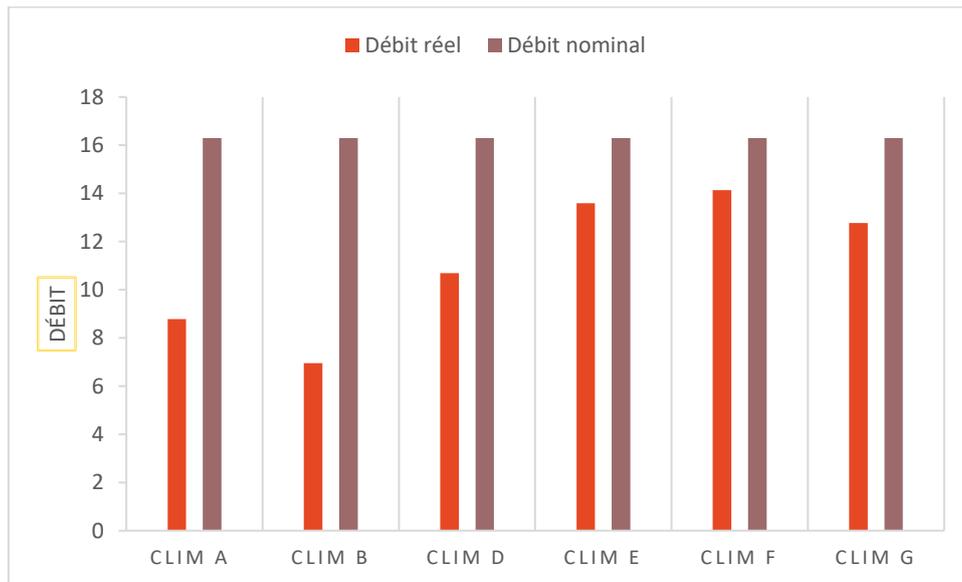
**Tableau 5 : Extrait des mesures effectuées sur les climatiseurs**

		Section	1	2	3	4	
Clim A	Mesure1	Aspiration	T_S	26,67	26,59	26,65	26,68
			T_R	19,53	19,5	19,56	19,55
			[%] H	52,06%	52,27%	52,30%	52,14%
			V1	1,02	0,759	0,836	0,996
		Soufflage	T_S	24,58	22,94	21,61	20,3
			T_R	18,16	17,34	16,95	16,97
			[%] H	54,30%	58,03%	63,37%	66,37%
			V2	2,233	1,799	2,425	2,498
	Mesure2	Aspiration	T_S	25,4	25,46	25,42	25,35
			T_R	17,79	17,79	17,77	17,72
			[%] H	47,90%	47,64%	47,70%	47,73%
			V1	0,9	0,6	0,753	1,06
		Soufflage	T_S	21,67	20,78	19,69	19,28
			T_R	16,46	14,93	14,6	14,55
			[%] H	46,20%	48,95%	51,64%	57,89%
			V2	2,111	1,966	2,22	2,41

#### IV.1.1. Débit

La Figure 7 représente les débits d'air qui assure l'échange de température. De façon générale elle montre que les climatiseurs ont de bons débits d'air. Nous pouvons ainsi remarquer trois niveaux de débits notamment les hauts débits composés des climatiseurs E et F qui ont plus de 75% du débit nominal qui avait des états de filtres relativement propres et donc facilitait le passage de l'airs. Les débits moyens constitués des climatiseurs G et D qui ont de 50% du débit nominal. Les faibles débits comprenant le climatiseur A et B qui ont moins 50% du débit nominal.

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN



**Figure 7 : Comparaison des débits d'air**

Le débit d'air est assuré par les ventilateurs centrifuges des climatiseurs mais les filtres propres permettent aussi la circulation d'air et donc aux climatiseurs d'avoir un bon débit. Pour les climatiseurs D, E, F et G les filtres étaient dans des états de filtres propres et donc nous pouvons dire que le fait qu'ils n'atteignent pas leur débit nominal est dû à l'état des ventilateurs. Pour les climatiseurs A et B on note des filtres sales et aussi des ventilateurs sales.

### **IV.1.2. Puissance frigorifique**

La Figure 8 représente la production de froid réelle par rapport au froid que le climatiseur est supposé fournir. On remarque qu'il n'y a pas de climatiseur à sa production de froid nominale. L'ancienneté pourrait bien être la cause. Cependant les climatiseurs peuvent être repartis selon leurs puissances frigorifiques. On distingue donc une première catégorie moyenne composée des climatiseurs D, E, F et G ; Une deuxième catégorie faible constituée des climatiseurs A et G.

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

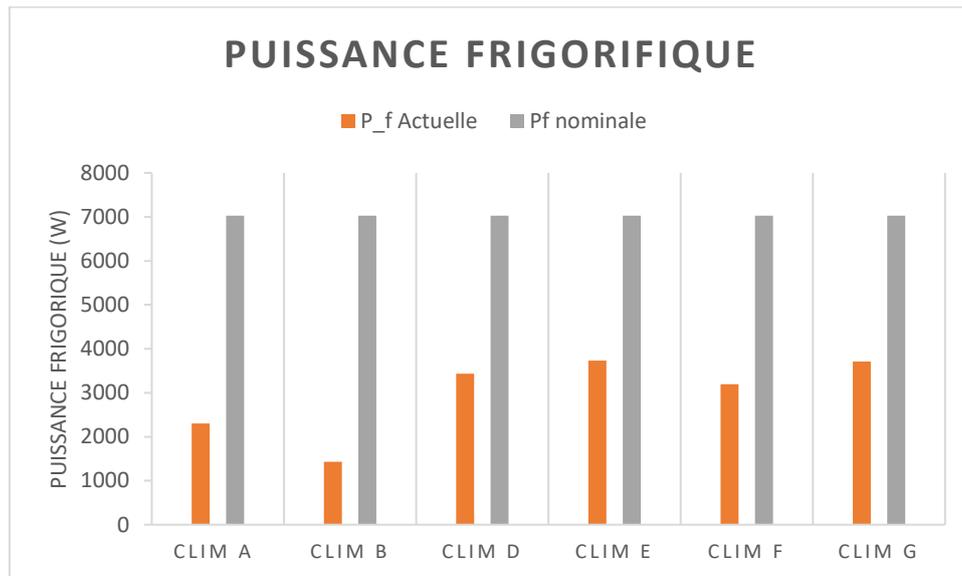


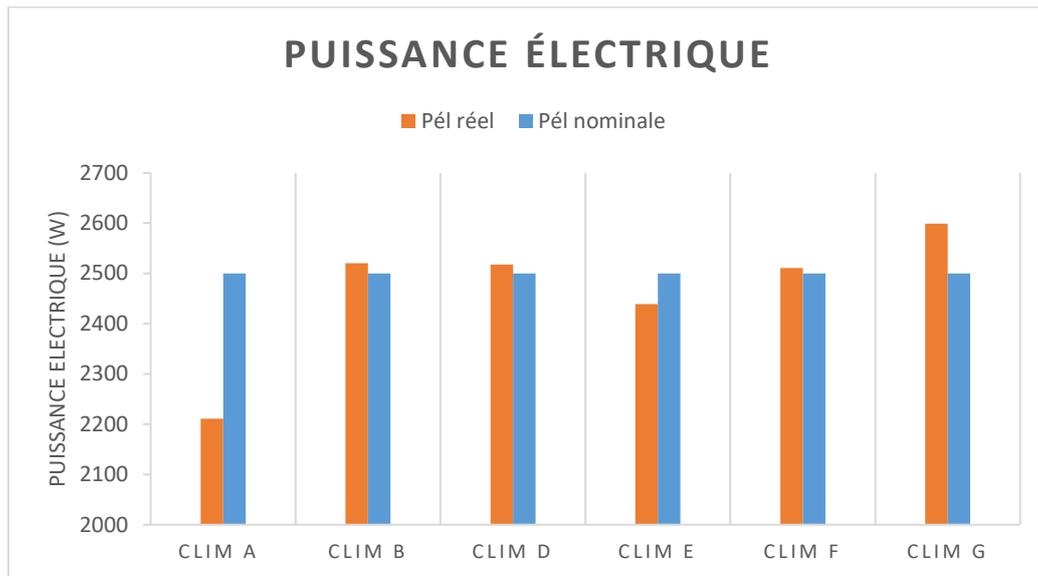
Figure 8 : Comparaison des puissances frigorifiques

Les graphes des puissances frigorifiques présentent une certaine corrélation avec les graphes des débits, en raison du fait que la puissance frigorifique est proportionnelle au débit. Cependant, il convient de noter que cette corrélation ne s'applique pas aux climatiseurs E et F. Il est important de souligner que la puissance frigorifique dépend également de la variation d'enthalpie, laquelle est influencée par les températures de l'air. À cet égard, il est probable que les climatiseurs E et F soient davantage sujets à l'encrassement des fluides frigorigènes à l'intérieur des tubes.

## IV.2. Puissance électrique

La Figure 9 illustre la relation entre la puissance électrique consommée et la puissance électrique nominale des climatiseurs. On observe des écarts entre les puissances électriques réelles et les puissances électriques nominale de chaque climatiseur. Le climatiseur A a une consommation d'énergie électrique qui est inférieure à la puissance électrique nominale de plus de 1300 W. cet écart est le plus grand et est corrélée à l'écart de sa puissance frigorifique . Lors des mesures on a pu remarquer . En revanche, les climatiseurs A et E présentent des puissances électriques inférieures à leurs puissances nominales.

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN



**Figure 9 : Comparaison des puissances électriques**

La puissance électrique est le seul paramètre qui ne connaît pas de baisse dans l'état actuel des climatiseurs, à quelques exceptions près, notamment pour les climatiseurs A et E. En effet, avec l'ancienneté, les moteurs ont tendance à consommer plus que leur puissance nominale.

Le climatiseur G, par exemple, a une puissance électrique supérieure de plus de 100 W à sa puissance électrique nominale, probablement en raison de l'ancienneté du climatiseur. Par contre le climatiseur A a une consommation électrique de 2200 W, alors que sa puissance électrique nominale est de 2500 W, ce qui est corrélé à sa production frigorifique. On déduit donc qu'il y a une insuffisance de fluide frigorifique. Le climatiseur B a la plus basse puissance frigorifique, et sa puissance électrique est élevée, ce qui entraîne une surconsommation d'énergie électrique par rapport à sa puissance frigorifique fournie.

#### **IV.2.1. Coefficient de performance**

La Figure 10 représente le COP actuel par rapport au COP théorique des différents climatiseurs

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

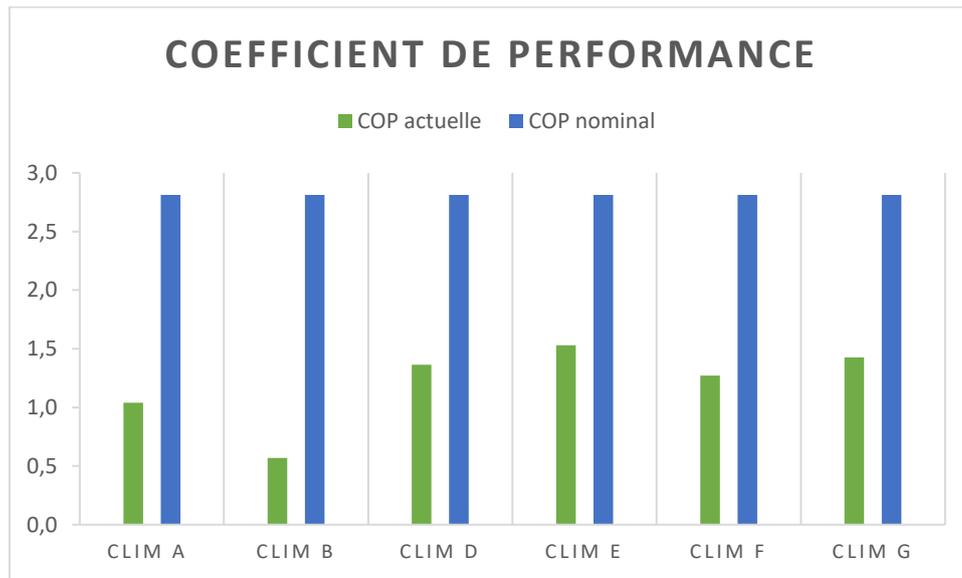


Figure 10 : Comparaison des coefficients de performance

Le graphe des coefficients de performance est corrélé au graphe des puissances frigorifiques car le coefficient de performance est proportionnel à la puissance frigorifique. En effet, le graphe de la puissance électrique des climatiseurs peut varier selon le climatiseur, mais cette variation est généralement faible par rapport à la puissance frigorifique. Ainsi, c'est la puissance frigorifique qui a un impact significatif sur la variation du coefficient de performance. Pour illustrer cela, le plus grand écart entre la puissance électrique réelle et la puissance électrique nominale est de 300 W, tandis que du côté de la puissance frigorifique, il y a une différence de plus de 5000 W.

Par ailleurs la production totale actuelle représente 42% de la production totale de froid nominale. Cette situation soulève des problèmes en termes de satisfaction des besoins de refroidissement ou de climatisation. Il est donc évident que l'introduction d'une nouvelle technologie de climatisation était nécessaire dans ce contexte. Cette technologie peut permettre d'améliorer le confort dans le bâtiment.

### IV.3. Instrumentation du système de production de froid par adsorption

Les spécifications requises pour les capteurs, telles que la plage de fonctionnement, la précision et la nécessité d'un conditionneur, sont enregistrées dans le Tableau 6 pour chaque capteur.

Tableau 6 : La liste des voies

	Mesurande	Plage	Précision	Précision (%)	Capteur	Conditionneur	Alimentations	Choix du capteur	Sortie
<b>Tour de refroidissement</b>	Température	20 °C à 40 °C	1.5 °C	0.4 %	Thermocouple	OUI	OUI	Type K	(4 -20 ) mA
<b>Séparateur de circuit</b>	Température	20 °C à 42 °C	1.5 °C	0.4 %	Thermocouple	OUI	OUI	Type K	(4 -20 ) mA
<b>Machine</b>	Température	08 °C à 95 °C	1.5 °C	0.4 %	Thermocouple	OUI	OUI	Type K	(4 -20 ) mA
<b>Ballon d'eau chaude</b>	Température	50 °C à 95 °C	1.5 °C	0.4 %	Thermocouple	OUI	OUI	Type N	(4 -20 ) mA
<b>Ballon d'eau froide</b>	Température	08 °C à 21 °C	1.5 °C	0.4 %	Thermocouple	OUI	OUI	Type K	(4 -20 ) mA
<b>Bouche de soufflage</b>	Température	08 °C à 21 °C	1.5 °C	0.4 %	Thermocouple	OUI	OUI	Type K	(4 -20 ) mA
<b>Capteur solaire</b>	Température	Plus de 95 °C	1.5 °C	0.4 %	Thermocouple	OUI	OUI	Type K	(4 -20 ) mA
<b>Tour de</b>	Débit	0.5 m <sup>3</sup> /h à	0.05 m <sup>3</sup> /h	0.5 %	Coriolis	NON	OUI	H050	(12-

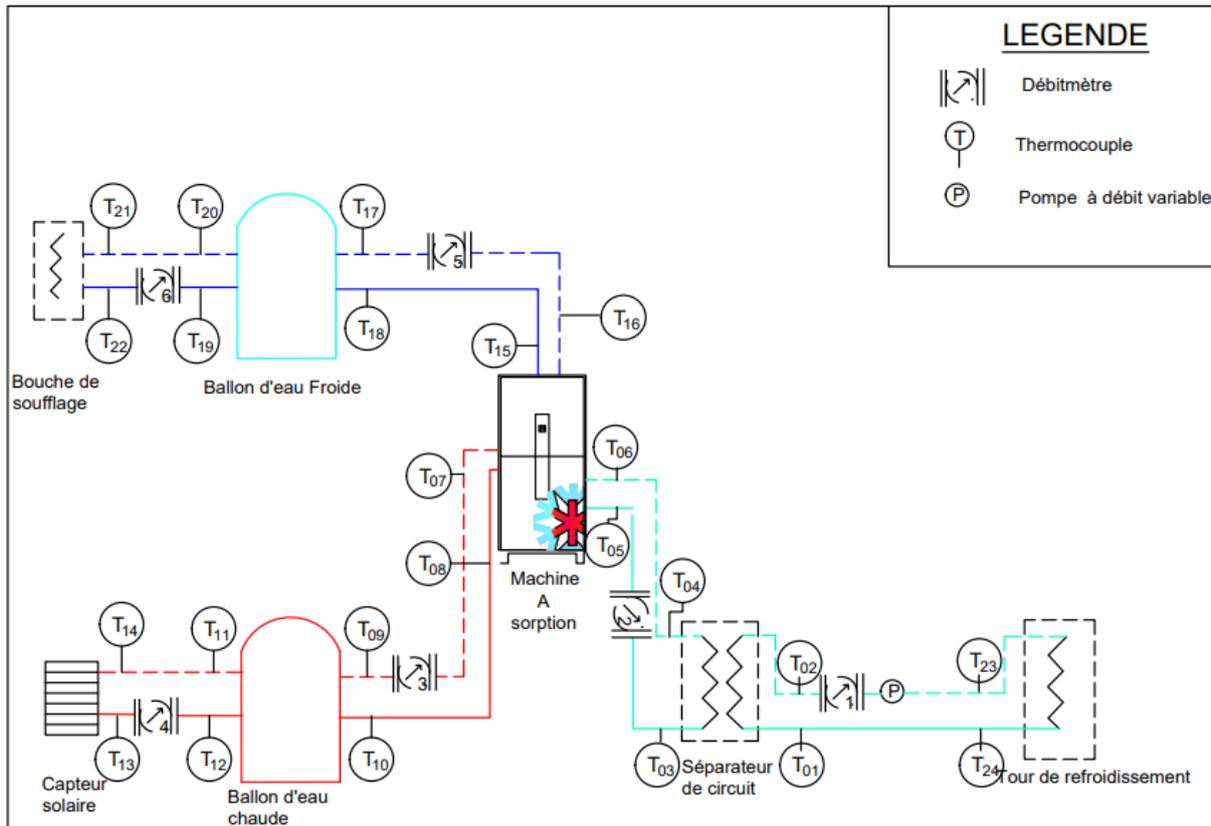
ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

<b>refroidissement - Séparateur de circuit</b>		9 min <sup>3</sup> /h							201 Hz
<b>Séparateur de circuit Machine</b>	Débit	0.5 m <sup>3</sup> /h à 9 min <sup>3</sup> /h	0.05 m <sup>3</sup> /h	0.5 %	Coriolis	NON	OUI	H050	(12- 201) Hz
<b>Machine-Ballon d'eau chaude</b>	Débit	0.5 m <sup>3</sup> /h à 9 min <sup>3</sup> /h	0.05 m <sup>3</sup> /h	0.5 %	Coriolis	NON	OUI	H050	(12- 201) Hz
<b>Machine-Ballon d'eau froide</b>	Débit	0.5 m <sup>3</sup> /h à 9 min <sup>3</sup> /h	0.05 m <sup>3</sup> /h	0.5 %	Coriolis	NON	OUI	H100	(12- 201) Hz
<b>Ballon d'eau froide - Bouche de soufflage</b>	Débit	0.5 m <sup>3</sup> /h à 9 min <sup>3</sup> /h	0.05 m <sup>3</sup> /h	0.5 %	Coriolis	NON	OUI	H100	(12- 201) Hz
<b>Ballon d'eau chaude - Capteur solaire</b>	Débit	0.5 m <sup>3</sup> /h à 9 min <sup>3</sup> /h	0.05 m <sup>3</sup> /h	0.5 %	Coriolis	NON	OUI	H050	(12- 201) Hz

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A  
L' AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

Pour établir la liste des voies, nous avons déterminé les précisions pouvant être admises, ainsi que la nécessité de conditionneur en fonction du type de capteur choisi. Il en résulte donc de ce tableau que les sorties des capteurs sont de 4 mA à 20 mA et de 12 Hz à 20 Hz.

Afin d'assurer une évaluation précise du coefficient de performance, il est essentiel d'installer les capteurs conformément au schéma illustré dans la. Figure 11.



**Figure 11 : schéma d'instrumentation du système du production de froid par adsorption**

## **V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

---

### **V.1. Conclusion**

Le présent document traite des données sur les performances des climatiseurs de l'amphithéâtre II du campus 2iE à Kamboinsé. Cette étude a permis de constater que la production actuelle de froid ne représente que 42% de la puissance installée. De plus, il aborde l'instrumentation du nouveau système de production de froid par adsorption envisagé. En ce qui concerne l'instrumentation du système de production de froid par adsorption, elle requiert au total six débitmètres et vingt-quatre thermocouples.

### **V.2. Perspectives**

Les perspectives s'étendent sur les climatiseurs, mais aussi sur le système de production de froid par adsorption. Les climatiseurs dont les débits d'air sont relativement faibles et moyens nécessiteraient que l'on fasse une maintenance des ventilateurs et que l'on nettoie les dépôts de poussière sur les filtres. Les climatiseurs C et H ne produisent pas froid, les pannes peuvent donc survenir des compresseurs ou bien du manque de fluide frigorigène. Les climatiseurs qui ont notamment des coefficients de performance nécessiteraient une maintenance sur le circuit frigorifique. Concernant le système de production de froid par adsorption le présent document traite de l'instrumentation il serait donc intéressant voir important de faire des études de rentabilités de la machine à adsorption.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Kemajou A, Tseuyep A. Le confort thermique en climat tropical humide vers un réaménagement des normes ergonomiques.
2. N'Tsoukpoe KE, Yamegueu D, Bassole J. Solar sorption refrigeration in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. juill 2014;35:318-35.
3. N'tsoukpoe KE, Lekombo SC, Kemausor F, Ko GK, Diaw EHB. Overview of solar thermal technology development and applications in West Africa: Focus on hot water and its applications. *Scientific African*. 1 sept 2023;21:e01752.
4. Climate Consulting [Internet]. 2022 [cité 27 juin 2023]. Rendement pompe à chaleur: définition et calcul COP SCOP SEER. Disponible sur: <https://climate.selectra.com/fr/renovation-energetique/pompe-a-chaleur/rendement>
5. Sedona. Thermor. [cité 27 juin 2023]. EER : Définition du coefficient de performance frigorifique. Disponible sur: <https://www.thermor.fr/inspiration/dans-l-air-du-temps/quest-ce-que-l-eer-et-pourquoi-est-ce-important>
6. Yang Z, Ding L, Xiao H, Zhang G, Wang B, Shi W. All-condition measuring methods for field performance of room air conditioner. *Applied Thermal Engineering*. 5 nov 2020;180:115887.
7. Setyawan A, Badarudin A. Performance of a residential air conditioning unit under constant outdoor air temperature and varied relative humidity. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng*. avr 2020;830(4):042032.
8. Yau YH, Pean HL. The performance study of a split type air conditioning system in the tropics, as affected by weather. *Energy and Buildings*. 1 avr 2014;72:1-7.
9. 14:00-17:00. ISO. [cité 18 juin 2023]. ISO 13253:2017. Disponible sur: <https://www.iso.org/fr/standard/63407.html>
10. Store | Standards Australia [Internet]. [cité 15 juin 2023]. Disponible sur: <https://store.standards.org.au/reader/as-nzs-3823-4-1-2014?preview=1>
11. Mavuri DSP. Field Behaviour of Inverter Air Conditioners Effect on Seasonal Performance. 2015;4(8).
12. GB/T 7725-2022\_English: PDF (GB/T7725-2022) [Internet]. [cité 15 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GBT7725-2022>
13. Wu JH, Yang LD, Hou J. Experimental performance study of a small wall room air conditioner retrofitted with R290 and R1270. *International Journal of Refrigeration*. 1 nov 2012;35(7):1860-8.
14. Afnor EDITIONS [Internet]. [cité 15 juin 2023]. NF EN 14825. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-14825/climatiseurs-groupes-refroidisseurs-de-liquide-et-pompes-a-chaleur-avec-com/fa187180/82985>
15. Billard É, Cocq T, Picgirard F, Hoarau G, Martin JF, Castaing-Lasvignottes J, et al.

Performance study of a split system in tropical climate. 2021.

16. Afnor EDITIONS [Internet]. [cité 15 juin 2023]. JIS B 8615-3. Disponible sur: <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/jis-b-86153//as024014/290339>
17. Miyata M. Energy efficiency evaluation of multiple split-system air conditioners with unbalanced load operation for building energy simulation. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci. févr 2019;238(1):012082.
18. Pro-face France | IHM, écran tactile, PC industriel, logiciels & IOT [Internet]. [cité 18 juin 2023]. Normes coréennes. Disponible sur: <https://www.proface.com/fr/support/worldwide/safety/kcc>
19. Park YC, 문제명, 홍주태. An Overview on Standards for Seasonal Performance Evaluation of Multi-type Air Conditioners. Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering. 2004;16(1):91-100.
20. AC\_Test\_Methods\_Report\_Final\_V2\_incl\_JP\_KO.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2023]. Disponible sur: [https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2020/12/AC\\_Test\\_Methods\\_Report\\_Final\\_V2\\_incl\\_JP\\_KO.pdf](https://www.iea-4e.org/wp-content/uploads/2020/12/AC_Test_Methods_Report_Final_V2_incl_JP_KO.pdf)
21. Munk J, Shen B, Gehl A. Cost-Optimized Cold Climate Heat Pump Development and Field Test [Internet]. 2021 août [cité 14 juin 2023] p. ORNL/TM-2021/2044, 1814297. Report No.: ORNL/TM-2021/2044, 1814297. Disponible sur: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1814297/>
22. 02\_Machines\_frigorifiques\_sorption.pdf [Internet]. [cité 18 juin 2023]. Disponible sur: [https://www.solaire-collectif.fr/photo/img/Froid%20solaire/Fiches%20techniques%20composants/02\\_Machines\\_frigorifiques\\_sorption.pdf](https://www.solaire-collectif.fr/photo/img/Froid%20solaire/Fiches%20techniques%20composants/02_Machines_frigorifiques_sorption.pdf)
23. Diny M. Etude du fonctionnement d'une machine frigorifique à adsorption : modélisation des transferts de chaleur et de masse et optimisation du fonctionnement de la machine [Internet] [phdthesis]. Université Henri Poincaré - Nancy 1; 1996 [cité 16 juin 2023]. Disponible sur: <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01753520>
24. Appareil de mesure de vitesse d'air et d'IAQ universel testo 400 | Appareils portable Avec sonde fixe | Appareils portable | Produits | Testo S.à.r.l. [Internet]. [cité 18 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.testo.com/fr-FR/testo-400/p/0560-0400>
25. Wattmètre PCE-PCM 1 | PCE Instruments [Internet]. [cité 18 juin 2023]. Disponible sur: [https://www.pce-instruments.com/french/instruments-de-mesure/mesureur/wattm%C3%A8tre-digital-pce-instruments-wattm%C3%A8tre-pce-pcm-1-det\\_174037.htm](https://www.pce-instruments.com/french/instruments-de-mesure/mesureur/wattm%C3%A8tre-digital-pce-instruments-wattm%C3%A8tre-pce-pcm-1-det_174037.htm)
26. Ressources Superprof - Cours théoriques, leçons et exercices [Internet]. 2021 [cité 16 juin 2023]. Gaz Parfait et Gaz Réel | Superprof. Disponible sur: <https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/cours-ps-1/2nde-ps-1/particularites-gaz-parfait-gaz-reel.html/>
27. cours\_batterie\_froide.pdf [Internet]. [cité 16 juin 2023]. Disponible sur: <https://formation->

## ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A

### L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

energetique.fr/images/LPCuvette/BacProTMSEC/cours/cours\_batterie\_froide.pdf

28. PT100/PT1000 [Internet]. [cité 20 juin 2023]. Disponible sur: [http://www.modular1.fr/tech\\_sheet\\_PT100\\_fr\\_4.html](http://www.modular1.fr/tech_sheet_PT100_fr_4.html)
29. Bronkhorst [Internet]. [cité 16 juin 2023]. Principe de mesure du débit massique Coriolis. Disponible sur: <https://www.bronkhorst.com/fr-fr/service-assistance/technologies/principe-de-mesure-du-debit-massique-coriolis/>
30. SILVER AUTOMATION INSTRUMENTS LTD. [Internet]. [cité 16 juin 2023]. Avantages et inconvénients du débitmètre vortex. Disponible sur: <https://fr.silverinstruments.com>
31. SILVER AUTOMATION INSTRUMENTS LTD. [Internet]. [cité 18 juin 2023]. Débitmètre magnétique. Disponible sur: <https://fr.silverinstruments.com>
32. Icy Science [Internet]. 2023 [cité 16 juin 2023]. Qu'est-ce qu'un système d'acquisition de données? - définition de techopedia - Dans les nouvelles 2023. Disponible sur: <https://fr.theastrologypage.com/data-acquisition-system>
33. Combien coûte un système d'acquisition de données? | Guide complet Hellopro [Internet]. [cité 18 juin 2023]. Disponible sur: <https://conseils.hellopro.fr/combien-coute-un-systeme-d-acquisition-de-donnees-2529.html>
34. Enregistreur de données (data logger) de température [Internet]. Labbox France. [cité 18 juin 2023]. Disponible sur: <https://fra.labbox.com/produit/enregistreur-de-donnees-data-logger-de-temperature/>
35. r.o JE spol s. www.jakar.cz. [cité 16 juin 2023]. Current Data Logger with 4, 8, 12 or 16-channels :: OMEGA Engineering. Disponible sur: <https://www.jakar.cz/en/p/current-data-logger-with-4-8-12-or-16-channels>

## ANNEXES

### Annexe I : Fiche technique des climatiseurs

#### CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

- Poids net - Unité extérieure : (kg) 35
- La dimension du tuyau (pouces) - Côté liquide 1/4
- La dimension du tuyau (pouces) - Côté gaz 1/2
- Réfrigérant : R410
- Niveau de pression sonore : 44 dB [unité intérieure (Salut)
- 53 dB [unité extérieure (Salut)
- Consommation : de 1740 à 1790 watts
- Puissance frigorifique : 5.01 ampères
- Capacité de refroidissement BTU / h 18.000
- Puissance d'entrée-A ; 220-240V, 50Hz
- Dimensions (W x H x D) - Unité extérieure : 780 x 540 x 269 mm
- Dimensions (W x H x D) - Unité intérieure : 1050 x 313 x 313 mm
- Courant de fonctionnement : de 8,2 à 7,8 ampères
- Débit d'air : 16,1 m<sup>3</sup>/min
- Poids net unité interieur : 11,5 kg

**Annexe II : Débitmètres de Micro Motion**

Micro Motion définit comme *débit nominal* le débit d'eau pour lequel, dans les conditions de référence, le débitmètre génère une perte de charge voisine de 1 bar.

Débit massique Coriolis

Débit volumique de tous les modèles

Modèle	Débit nominal			Débit maximal		
	gal US/min	barils/h	l/h	gal US/min	barils/h	l/h
H025	6	9	1 366	12	18	2 720
H050	19	27	4 226	36	52	8 160
H100	86	123	19 510	144	206	32 650
H200F	136	194	30 857	384	550	87 100
H200S	262	374	59 520	384	550	87 100
H300	587	839	133 356	1 047	1 497	238 499

## Annexe III : Recueil de données

		Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Clim A	Mesure1	Aspiration	T_S	26,67	26,59	26,65	26,68	26,57	26,47	26,46	26,48	26,48	26,51	26,54	25,34
			T_R	19,53	19,5	19,56	19,55	19,41	19,32	19,38	19,41	19,45	19,54	19,58	18,3
			[%] H	52,06%	52,27%	52,30%	52,14%	51,86%	51,82%	52,19%	52,26%	52,53%	52,87%	52,97%	51,26%
			V1	1,02	0,759	0,836	0,996	0,794	1,14	0,901	1,266	1,507	1,03	1,076	1,256
		Soufflage	T_S	24,58	22,94	21,61	20,3	20,1	19,68	19,26	18,98	18,6	18,28	18,28	18,03
			T_R	18,16	17,34	16,95	16,97	16,82	16,9	16,74	16,7	16,6	16,32	16,13	15,9
			[%] H	54,30%	58,03%	63,37%	66,37%	71,14%	73,23%	75,02%	77,88%	79,18%	79,86%	80,81%	80,82%
			V2	2,233	1,799	2,425	2,498	2,825	2,222	2,795	3,163	3,207	2,804	3,909	2,025
	Mesure2	Aspiration	T_S	25,4	25,46	25,42	25,35	25,04	25,15	25,23	25,25	25,27	25,29	25,29	24,1
			T_R	17,79	17,79	17,77	17,72	17,49	17,76	17,8	17,79	17,79	17,79	17,8	17,78
			[%] H	47,90%	47,64%	47,70%	47,73%	47,85%	48,95%	48,80%	48,66%	48,65%	48,57%	48,54%	48,34%
			V1	0,9	0,6	0,753	1,06	1,073	1,42	1,65	1,418	1,621	1,33	1,616	1,29
		Soufflage	T_S	21,67	20,78	19,69	19,28	18,59	18,18	17,66	17,05	16,86	16,01	15,49	15,49
			T_R	16,46	14,93	14,6	14,55	14,54	14,33	14,56	14,24	13,72	13,79	13,09	12,58
[%] H			46,20%	48,95%	51,64%	57,89%	60,53%	60,56%	68,34%	69,59%	69,83%	71,93%	72,52%	72,18%	
V2			2,111	1,966	2,22	2,41	1,64	2,242	2,8	2,79	3,407	2,43	3,43	2,88	
Clim B	Mesure1	Aspiration	T_S	26,59	26,82	26,88	26,93	26,94	26,99	27	27,02	27,05	27,04	27,03	26,32
			T_R	20,07	20,43	20,44	20,42	20,41	20,44	20,43	20,41	20,43	20,41	20,39	18,63
			[%] H	55,68%	56,67%	56,43%	56,05%	55,90%	55,84%	55,71%	55,53%	55,45%	55,41%	55,37%	48,48%
			V1	0,78	0,716	0,73	0,804	1,075	1,03	0,9	0,903	1,015	0,955	1,13	1,08
		Soufflage	T_S	24,29	22,42	21,01	20,01	19,29	19,31	18,78	18,21	17,7	17,67	17,51	17,4
			T_R	16,23	14,76	14,12	13,99	13,78	14,41	14,22	13,99	13,98	14,27	14,58	14,91
			[%] H	0,4387	0,4393	0,4707	0,5185	54,74%	59,36%	61,38%	63,53%	67,10%	69,70%	73,63%	76,80%
	V2	2,702	2,61	1,015	0,7	1,238	1,471	0,95	1,34	1,4	2,034	3,4	2,9		
	Mesure2	Aspiration	T_S	24,71	24,78	24,82	24,92	24,95	25,08	25,05	25,07	25,01	24,72	23,97	23,28
			T_R	17,9	17,35	17,51	17,53	17,49	17,7	17,69	17,6	17,46	18,15	19,06	19,18

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

			[%] H	52,00%	48,30%	49,09%	48,69%	48,28%	48,94%	49,02%	48,39%	47,82%	53,52%	63,64%	68,72%
			V1	0,9	0,656	0,727	1,051	1,111	1,331	1,072	1,057	1,311	1,043	1,055	1,001
		Soufflage	T_S	22,67	22,36	22,11	21,76	21,66	21,47	21,25	20,89	20,66	20,64	20,15	19,4
			T_R	19,37	19,45	19,47	19,35	19,38	19,47	19,3	19,7	19,11	19,13	18,44	18,54
			[%] H	74,07%	76,78%	78,77%	80,35%	81,32%	82,89%	83,79%	85,48%	86,83%	87,16%	88,01%	89,10%
			V2	2,702	2,61	0,978	0,7	1,238	1,471	0,95	1,34	1,6	2,034	3,4	2,9
Clim D	Mesure1	Aspiration	T_S	25,19	25,84	26,2	26,22	26,27	26,4	26,7	26,86	26,65	26,51	26,5	26,62
			T_R	19,29	20,23	20,23	20,02	19,98	20,01	20,36	20,36	19,97	19,85	19,98	20,09
			[%] H	58,23%	60,59%	58,66%	57,29%	56,74%	56,81%	56,82%	56,04%	54,76%	54,75%	55,55%	55,65%
			V1	1,15	1,102	1,175	1,203	1,56	1,36	1,527	1,277	1,108	1,15	1,035	0,98
		Soufflage	T_S	21,35	19,96	19,05	18,14	17,32	16,98	16,73	16,96	17,06	16,95	16,81	16,7
			T_R	16,27	16,46	16,41	15,92	15,31	15,18	15,3	16,09	16,23	15,9	15,76	15,62
			[%] H	60,09%	70,76%	77,02%	80,09%	81,49%	83,01%	86,48%	91,47%	32,16%	90,06%	90,03%	89,75%
			V2	2,855	3,077	3,549	3,102	2,7	3,315	4,015	3,749	3,509	3,408	3,605	2,4
	Mesure2	Aspiration	T_S	23,97	24,62	25,07	25,41	25,68	25,78	25,83	25,99	26,06	25,98	25,93	24,3
			T_R	16,73	17,65	18,1	18,44	18,68	18,95	19,17	19,2	18,87	18,5	18,29	16,44
			[%] H	48,49	50,92	51,44	51,77	51,9	53	54,08	53,45	51,11	49,34	48,34	45,12
			V1	1,908	1,606	1,492	1,396	1,21	1,714	1,516	1,41	1,521	1,4	1,425	1,346
		Soufflage	T_S	21,72	20,33	19,47	18,41	18,02	17,33	17	16,71	16,27	16,03	15,92	14,95
			T_R	14,98	15	14,99	14,56	14,53	14,32	14,4	14,32	13,99	13,78	13,94	14,01
		[%] H	49	57,23	62,68	66,65	69,24	72,76	76,14	77,81	78,51	78,62	81,04	84,02	
		V2	2,11	3,155	2,612	3,853	3,293	3,845	3,685	3,2	3,195	3,441	3,521	2,617	
Clim E	Mesure1	Aspiration	T_S	26,46	26,4	26,48	27,04	26,85	26,58	26,47	26,47	26,35	26,4	26,5	24,35
			T_R	19,67	19,85	20,03	20,62	20,05	19,79	19,79	19,81	19,79	19,82	20,05	19,5
			[%] H	53,89	55,28	55,97	56,65	54,23	54,06	54,59	54,72	55,19	55,1	55,99	54,84
			V1	1,403	1,508	1,666	1,62	1,527	1,607	1,4	1,811	1,508	1,608	1,304	1,4
		Soufflage	T_S	21,05	18,87	18,14	17,41	16,92	16,51	15,91	15,69	15,55	15,41	15,36	15,3
			T_R	15,36	14,9	14,92	14,86	14,83	14,8	14,37	14,35	14,45	14,38	14,45	14,52
			[%] H	55,4	66,14	71,64	76,79	80,55	83,83	85,11	86,91	89,17	89,87	90,98	91

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

Clim F	Mesure2	Aspiration	V2	2,617	3,038	3,927	4,006	4,118	4,354	4,44	4,493	4,202	4,56	5,009	4,814	
			T_S	25,26	25,62	25,81	26,19	26,11	26,1	26,09	25,94	25,86	25,89	25,96	26,03	
			T_R	18,7	18,88	19,1	19,63	19,6	19,66	19,67	19,55	19,57	19,65	19,68	19,72	
			[%] H	54,15	53,39	53,76	55,03	55,27	55,66	55,81	55,89	56,37	56,71	56,51	56,01	
		V1	1,64	1,753	1,84	2,002	1,98	2,046	1,613	2,36	2,377	2,499	1,65	1,91		
		T_S	25,23	24,58	23,14	22,48	22,16	22,03	21,61	20,81	19,85	19,1	18,27	18,07		
		T_R	19,72	19,72	19,74	17,76	19,52	19,78	20,18	19,56	18,22	16,99	16,26	15,72		
		[%] H	60,71	60,71	64,61	66,61	76,53	80,75	80,82	83,13	78,46	75,76	75,41	77,33		
	V2	2,6	3,35	3,22	3,801	4,45	4,13	3,95	4,544	4,402	4,35	4,622	3,945			
	Clim G	Mesure1	Aspiration	T_S	23,21	23,96	24,14	24,35	24,44	24,63	24,81	24,82	24,87	24,92	25,29	25,52
				T_R	18,57	18,32	18,44	18,44	18,64	18,8	18,65	18,7	18,88	18,98	19,55	19,48
				[%] H	6489,00%	5876,00%	5851,00%	5134,00%	5813,00%	5813,00%	5618,00%	5646,00%	5733,00%	5768,00%	5930,00%	5764,00%
				V1	1,609	1,492	1,881	2,05	1,75	1,84	1,953	1,974	1,821	1,809	1,666	1,609
			Soufflage	T_S	21,68	20,03	18,55	18,31	19,95	18,11	17,24	16,95	15,73	16,5	16,14	16,09
T_R				16,28	16,28	15,91	16,47	16,54	16,9	15,77	15,64	15,47	15,11	14,73	14,68	
[%] H				58,16%	68,81%	76,76%	83,47%	57,11%	88,94%	86,30%	87,65%	88,10%	86,76%	86,41%	86,47%	
V2				3,131	3,6	3,107	4,202	4,003	4,377	4,675	5,053	5,05	4,871	5,011	4,521	
Mesure2		Aspiration	T_S	24,26	24,28	24,3	24,38	24,38	24,4	24,5	24,64	24,74	24,86	24,86	24,82	
			T_R	17,73	17,58	17,56	17,77	17,71	17,84	17,18	18,47	18,53	18,35	17,95	17,68	
			[%] H	53,28%	52,24%	52,04%	52,94%	52,52%	53,26%	54,85%	55,99%	55,81%	54,01%	51,58%	50,11%	
			V1	1,3	1,25	1,521	1,14	2,05	2,26	2,406	2,221	2,128	1,8	1,575	1,677	
		Soufflage	T_S	22,56	23,01	22,34	22,76	21,62	20,29	19,6	18,54	18,16	17,89	17,7	17,6	
			T_R	15,8	16	15,2	15,78	15,25	14,94	15,01	14,92	14,96	14,93	14,97	15,04	
	[%] H		49,10%	51,03%	53,00%	48,71%	51,37%	57,01%	61,97%	68,64%	71,76%	73,61%	75,43%	76,88%		
	V2		3,445	4,2	4,05	4,258	3,68	4,4	4,82	4,68	4,655	4,626	4,535	4,721		
Mesure1	Aspiration	T_S	25,68	25,91	25,94	25,97	25,99	26,05	25,77	25,86	25,85	25,87	25,79	25,85		
		T_R	18,87	18,9	18,93	19,04	19,05	19,07	18,84	18,96	18,87	18,78	18,67	18,71		
		[%] H	53,02%	52,06%	52,07%	52,57%	52,55%	52,44%	52,41%	52,66%	52,18%	51,52%	51,28%	51,24%		
		V1	1,405	1,111	1,24	1,44	1,78	1,875	1,526	1,704	1,504	1,47	1,501	1,811		

ANALYSE TECHNIQUES DES PERFORMANCES D'INSTALLATION A L'AMPHITHATRE II A 2iE KAMBOINSIN

Mesure2	Soufflage	T_S	22,76	21,2	19,23	17,84	17,21	16,88	16,69	16,06	15,96	15,94	16,17	16,64
		T_R	16,26	15,91	14,9	14,67	14,6	14,8	14,97	14,34	14,55	14,61	14,93	15,19
		[%] H	51,84%	58,45%	63,62%	71,81%	76,12%	80,60%	83,78%	83,51%	86,34%	87,13%	88,09%	86,31%
		V2	2,22	3,517	3,65	3,995	4,22	4,521	4,621	4,704	4,814	5,004	4,915	3,545
	Aspiration	T_S	24,77	24,73	24,76	24,74	24,71	24,65	24,55	24,56	24,55	24,55	24,52	24,52
		T_R	17,38	17,42	17,5	17,46	17,43	17,38	17,36	17,46	17,46	17,42	17,37	17,34
		[%] H	48,53%	48,95%	49,30%	49,18%	49,13%	49,14%	49,48%	50,06%	50,10%	49,84%	49,68%	49,51%
		V1	1,24	1,406	1,734	1,66	1,566	1,89	1,317	1,618	2,02	1,668	2,05	2,005
	Soufflage	T_S	19,7	18,12	17,03	16,27	15,8	15,88	15,67	15,49	15,32	15,11	15,01	15,18
		T_R	13,34	12,72	12,55	12,4	12,6	13,13	13,11	13,12	13,09	12,92	12,99	13,15
		[%] H	49,00%	54,11%	60,13%	64,45%	69,88%	73,95%	75,57%	77,19%	78,38%	78,55%	80,17%	80,15%
		V2	1,681	3,316	3,25	3,528	3,303	4	4,775	4,31	4,125	4,625	4,225	3,042

### Annexe IV : Catalogue d'enregistreur

<b>To Order</b>	
<b>P/N</b>	<b>Description</b>
OM-CP-QUADPROCESS-30MA-A2	4-Channel 30 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-QUADPROCESS-160MA-A2	4-Channel 160 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-QUADPROCESS-3A-A2	4-Channel 3 A Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-OCTPROCESS-30MA-A2	8-Channel 30 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-OCTPROCESS-160MA-A2	8-Channel 160 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-OCTPROCESS-3A-A2	8-Channel 3 A Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-X12PROCESS-30MA-A2	12-Channel 30 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-X12PROCESS-160MA-A2	12-Channel 160 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-X12PROCESS-3A-A2	12-Channel 3 A Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-X16PROCESS-30MA-A2	16-Channel 30 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-X16PROCESS-160MA-A2	16-Channel 160 mA Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-X16PROCESS-3A-A2	16-Channel 3 A Current Data Logger, USB-A to micro USB cable, universal power adapter
OM-CP-BAT103	Replacement 9V lithium battery