



**DIMENSIONNEMENT D'UNE CHAMBRE FROIDE ET UNE
UNITE DE FABRIQUE DE GLACE SOLAIRE HYBRIDE
POUR LE MARCHE DE FRUITS ET LEGUMES DE FADA
NGOURMA**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU
GENIE INDUSTRIEL

OPTION : PRODUCTION ET GESTION DE L'ENERGIE (INP-HB)

Présenté et soutenu publiquement le 15/07/2024 par :

KOFFI Kouassi Landry (20230261)

MOBILITE MASTER 2 INGENIERIE GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE 2iE

Encadrant 2iE : Dr Sayon dit Sadio SIDIBE

Maitre de stage : M. Silvère SALGA

Structure d'accueil du stage : SALGATECH

Jury d'évaluation du stage :

Présidente de jury : **Dr. Marie SAWADOGO**

Membres et Correcteurs : **M. Racine KAMBWOLE**

Dr. Aboubakar GOMNA

Promotion 2023/2024

DEDICACE

A ma grande famille...

REMERCIEMENTS

Tout projet est généralement le résultat d'un travail d'équipe. En l'absence d'une équipe formelle, même les chercheurs les plus éminents bénéficient de la collaboration de leurs pairs. Nous saisissons cette opportunité pour exprimer nos sincères remerciements et notre gratitude envers :

- Dr. Moussa DIABY, Directeur Général de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB) ;
- Pr. El Hadji Bamba DIAW, Directeur Général de l'Institut 2iE ;
- Dr. Aka TANO, ex Directeur de l'Ecole Supérieure de l'Industrie (ESI), dont nous sommes issus ;
- Dr. Sayon dit Sadio SIDIBE, notre encadreur pédagogique, pour sa disponibilité, ses conseils, son encadrement ;
- Pr. Mamadou KOITA, Directeur des Etudes et des Affaires Académiques de l'institut 2iE, pour son accompagnement à notre insertion au sein de l'institut 2iE dans le cadre de la mobilité ;
- Pr. Moussa SORO, Chef du Département Génie Electrique Energétique et Industriel de l'institut 2iE, pour son accompagnement et ses conseils au cours de notre recherche de stage.
- Dr. Yohan RICHARDSON, Chef du département Science et Technique de l'Ingénieur de l'institut 2iE, pour son accompagnement à notre insertion au sein de l'institut 2iE dans le cadre de la mobilité ;
- Dr Kouamé Jean Moïse KOBENAN, Directeur des Etudes des Ingénieurs à l'INPHB, pour sa contribution à l'obtention de mon stage de fin d'étude ;
- La Direction et les Enseignants du Département Génie Mécanique et Energétique (G.M.E.) de l'ESI, pour leurs conseils et la qualité de la formation dispensée ;
- La Direction et les Enseignants du Génie Electrique Energétique et Industriel de l'institut 2iE, pour leurs conseils et la qualité de la formation dispensée ;
- M. Silvère SALGA, Président Directeur Général de SALGATECH, d'avoir validé mon stage au sein de son entreprise et pour ses conseils pendant la rédaction de ce mémoire.

Nous regrettons de ne pouvoir nommer tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet. Nous leur exprimons ici notre profonde gratitude.

RESUME

Le présent mémoire traite du dimensionnement d'une chambre froide et d'une unité de production de glace pour la conservation et la commercialisation des fruits et légumes de tout type. Et c'est un projet initié par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) en vue de contrer les pertes post-récoltes qui réduisent les productions alimentaires au Burkina Faso.

Nous avons abordé le travail par l'étude des techniques de conservation des fruits et légumes ce qui nous a permis de connaître la température et l'hygrométrie de conservation de la plupart d'entre eux. Elle nous a permis aussi de situer l'hygrométrie de **80 à 90 %** qui est la plage d'hygrométrie idéale pour la conservation des fruits et légumes sur une certaine durée.

Le dimensionnement de la chambre froide et de l'unité de fabrication de glace ont débuté par l'évaluation du bilan thermique suivi du calcul de la puissance frigorifique des deux unités. Le calcul de la puissance frigorifique effectué nous donne pour la chambre froide **6,62 kW** et pour l'unité de production de glace **4,26 kW**. Sur la base de ces résultats, le choix des composants frigorifiques a été effectué notamment le groupe condenseur, l'évaporateur, le détendeur thermostatique, le déshydrateur et le thermostat.

Nous avons ensuite procédé au dimensionnement du générateur solaire photovoltaïque, après avoir quantifié la demande en énergie par le biais de l'inventaire des équipements électriques et de leur temps de fonctionnement. Les résultats des calculs ont montré que, pour assurer une alimentation électrique fiable, il est nécessaire d'installer 64 modules PV de **320 Wc**, 4 onduleurs hybrides de 5 kVA chacun possédant (02) deux entrées MPPT, et une batterie de **250 Ah/48V** prévue pour une autonomie de 2 heures en cas de délestage pour la chambre froide.

Nous avons estimé le coût total de l'installation frigorifique et du générateur photovoltaïque ce qui nous revient à **41 034 502 XOF**. Cet investissement, bien que significatif, est justifié par les bénéfices attendus, d'amélioration de la qualité de vie des populations locales et de la promotion des pratiques énergétiques durables.

Mots-clés :

- **Dimensionnement ;**
- **Chambre froide ;**
- **Unité de fabrication de glace ; Fruits et légumes.**

ABSTRACT

The present thesis deals with the sizing of a cold storage room and an ice production unit for the preservation and commercialization of all types of fruits and vegetables. This project was initiated by the United Nations Development Programme (**UNDP**) to combat post-harvest losses that reduce food production in Burkina Faso.

We approached the work by studying the techniques for preserving fruits and vegetables, which allowed us to determine the optimal temperature and humidity for preserving most of them. This study also enabled us to identify a humidity range of **80 to 90%**, which is the ideal range for preserving fruits and vegetables for a certain duration.

The sizing of the cold storage room and the ice production unit began with the evaluation of the thermal balance, followed by the calculation of the refrigeration power for both units. The calculated refrigeration power requirements are **6.62 kW** for the cold storage room and **4.26 kW** for the ice production unit. Based on these results, the selection of refrigeration components was carried out, including the condenser unit, evaporator, thermostatic expansion valve, dehydrator, and thermostat.

We then proceeded to size the photovoltaic solar generator, after quantifying the energy demand through the inventory of electrical equipment and their operating times. The calculation results showed that, to ensure reliable power supply, it is necessary to install **64 PV** modules of **320 Wp**, **4 hybrid inverters of 5 kVA** each with two MPPT inputs, and a **250 Ah/48V** battery designed for **2 hours** of autonomy in case of power outages for the cold storage room.

We estimated the total cost of the refrigeration and photovoltaic generator installation, which amounts to **40,837,302 XOF**. Although this investment is significant, it is justified by the expected benefits, including improved quality of life for local populations and the promotion of sustainable energy practices..

Keywords:

- **Sizing ;**
- **Cold room ;**
- **Ice production unit ;**
- **Fruits and vegetables.**

LISTE DES ABREVIATIONS

Abréviations et sigles	Définition
AFNOR	Association française de Normalisation
2iE	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
BP	Basse pression
BT	Basse tension
CF	Chambre Froide
DAO	Dossier d'appel d'offre
DTU	Document Technique Unifié
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
GPV	Générateur Photovoltaïque
GWP	Potentiel de réchauffement global
HP	Haute pression
INPHB	Institut National Polytechnique Houphouët Boigny
ODP	Potentiel d'Appauvrissement de la couche d'Ozone
NF	Norme Française
PIB	Produit Intérieur Brut
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PV	Photovoltaïque
SC	Surchauffe
SR	Sous Refroidissement
SONABEL	Société nationale d'électricité du Burkina Faso
UFG	Unité de fabrication de glace
UTE	Union Technique de l'Electricité

SOMMAIRE

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS	II
RESUME.....	III
ABSTRACT	IV
LISTE DES ABREVIATIONS.....	V
SOMMAIRE	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
I. INTRODUCTION.....	1
II. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET DE LA ZONE D'ETUDE.....	2
III. PRESENTATION DU THEME D'ETUDE	4
IV. ETUDE TECHNIQUE DU PROJET	7
V. ESTIMATION DU COUT DU PROJET	55
VI. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	57
VII. CONCLUSION	61
RECOMANDATION	62
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	VIII
ANNEXES	XI

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Conditions de stockage des fruits et légumes (Extrait du site officiel institut International du froid)	10
Tableau 2 : Classification des fluides frigorigènes	14
Tableau 3 : Taux de renouvellement d'air dans la chambre froide.....	18
Tableau 4 : Bilan frigorifique de la chambre froide à Fada Ngourma	25
Tableau 5 : Bilan frigorifique de l'unité de fabrication de glace de Fada Ngourma	27
Tableau 6 : Choix des groupes de condensation selon les conditions de fonctionnement fixé (Extrait sur le logiciel en ligne de Coolselector et Tecumseh)	29
Tableau 7 : Caractéristiques techniques de l'évaporateur choisi, (Extrait du catalogue FRIGA-BORN)	31
Tableau 8 : Dimensionnement des conduites de l'installation frigorifique de la chambre froide	34
Tableau 9 : Dimensionnement des conduites de l'installation frigorifique de l'unité de fabrication de glace ..	35
Tableau 10 : Choix des organes annexes des deux unités frigorifiques chez Danfoss.....	36
Tableau 11 : Présentation des caractéristiques des modules PV à installer (Extrait de la fiche technique du panneau solaire BR320P).....	41
Tableau 12 : Résultat du dimensionnement de la batterie à installer	42
Tableau 13 : Coefficient de démarrage de quelques équipements électriques source : guide technique n°5 « les convertisseurs »	43
Tableau 14 : Dimensionnement des dispositifs de protection des modules PV (Extrait du guide UTE C15-712-1).....	46
Tableau 15 : Choix d'une mesure de protection par parafoudre ainsi que son type	47
Tableau 16 : Valeur de φ selon le résultat du tableau (extrait du guide UTE C15-712).....	48
Tableau 17 : Valeurs de δ selon la situation de la ligne aérienne (BT), du bâtiment ou du champ PV	48
Tableau 18 : Choix de I_n en fonction de FPV (extrait du guide UTE C15-712-2,).....	49
Tableau 19 : Tension assignée de tenue aux chocs U_w (extrait du guide UTE C15-712-2).....	50
Tableau 20 : Caractéristiques des appareils de protections contre les surtensions d'origine atmosphérique issues du dimensionnement.....	50
Tableau 21 : Caractéristiques de choix de l'inverseur de source automatique issues des calculs	54
Tableau 22 : Coût relatif aux équipements frigorifiques.....	55
Tableau 23 : Coût lié aux équipements solaires photovoltaïques	56
Tableau 24 : Coût associé à la main-d'œuvre nécessaire pour l'installation des équipements solaires et frigorifiques.....	56
Tableau 25 : Description des procédés technologiques du projet.	57

Tableau 26 : Synthèse des principales activités du projet de construction de la CF et l'UFG à Fada Ngourma	58
Tableau 27 : Evaluation des impacts significative du projet sur l'environnement et la société	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Structure organisationnelle de SALGATECH	2
Figure 2 : Situation administrative de la commune de Fada Ngourma	3
Figure 3 : Images illustrant la dégradation subit par les produits à température ambiante, (Extrait du site officiel : www.depositphotos.com).....	8
Figure 4 : Zone de production fruitière et maraîchère du Burkina Faso (Extrait du Rapport Générale pour l'Arboriculture juin 2011)	8
Figure 5 : Principe de fonctionnement des machines frigorifiques (Extrait du site officiel de l'ABCclim).....	12
Figure 6 : Température moyenne quotidienne maximale (ligne rouge) et minimale (ligne bleue), les fines lignes pointillées sont les températures moyennes perçues correspondantes. Extrait du site https://fr.weatherspark.com/	18
Figure 7 : Taux d'humidité relative, Extrait du site (https://planificateur.a-contresens.net/)	19
Figure 8 : Cycle frigorifique de la chambre froide (Extrait du logiciel CRE Chemour).....	27
Figure 9 : Cycle frigorifique de l'unité de fabrique de glace, (Extrait du logiciel CRE Chemour)	28
Figure 10 : Présentation de l'évaporateur serpentin de l'UFG, réalisée avec le logiciel SOLIDWORKS	32
Figure 11 : Présentation de l'unité de fabrique de glace, réalisée avec le logiciel SOLIDWORKS	32
Figure 12 : Aperçu du montage du détendeur thermostatique et du distributeur de liquide (Extrait du site officiel de Master cooling)	36
Figure 13 : Schéma frigorifique de l'unité de fabrique de glace réalisé pour un seul groupe condenseur	36
Figure 14 : Données météorologiques de la ville de Fada Ngourma sur RETScreen	38
Figure 15 : Résultats de la consommation énergétique de l'installation pour la chambre froide	39
Figure 16 : Résultats de la consommation énergétique de l'unité de fabrique de glace	39
Figure 17 : Cartographie du niveau kéraunique en nombre de jours (extrait du cours sur les systèmes PV connectés réseau, Dr. Ing. Alain K. TOSSA, Institut 2iE, 2022/2023)	48

I. INTRODUCTION

Selon le **FAO** (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), les pertes alimentaires désignent la diminution de la quantité et de la qualité des denrées alimentaires résultant des décisions et des mesures prises par les fournisseurs de produits alimentaires dans la chaîne, à l'exclusion des commerçants, des prestataires de services de restauration et des consommateurs. Chaque année, au niveau mondial, plus de **37%** (1), de la production alimentaire est perdue dans la chaîne d'approvisionnement, selon une étude réalisée par la **FAO**. Dans cette même proportion, les fruits et les légumes représentent à eux seuls entre **40 et 50%** (2) des pertes agricoles, soit la moitié. Ces chiffres sont préoccupants et soulignent l'ampleur du problème à l'échelle mondiale. Cependant, le problème est bien identifié : c'est la conservation alimentaire qui n'est certainement pas bien maîtrisée.

En Afrique subsaharienne, les pertes après la récolte représentent environ la moitié de la production alimentaire, soit une estimation dépassant les **40%** (2) de la production alimentaire. Par exemple, au Burkina Faso, un pays de cette zone, rien qu'avec les mangues, chaque année, environ **50%** (3),(4) de sa production nationale est perdue. Des efforts gouvernementaux sont déployés chaque année pour transformer et conserver les produits agricoles afin de limiter la famine dans le pays, mais cela reste toujours insuffisant. C'est dans cette vision de réduction de la famine que s'inscrit la société SALGATECH. Elle se distingue par son expertise dans la conception et l'installation des chambres froides solaires ainsi que des unités de fabriques de glace, utilisant des matériaux locaux privilégiant une approche écologique. Son objectif est de soutenir les initiatives gouvernementales visant à améliorer la conservation des denrées alimentaires à l'échelle nationale.

Au regard de ce qui précède, Fada Ngourma, une ville située à l'Est du pays se verra doter d'une telle technologie sur son marché local de fruit et légumes. Un projet entièrement financé par PNUD et qui sera réalisé par SALGATECH. Le travail demandé consiste à: « **dimensionner une chambre froide et une unité de fabrique de glace solaire hybride pour le compte du marché de fruits et légumes de Fada Ngourma** ».

II. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET DE LA ZONE D'ETUDE

II.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

II.1.1. Présentation de SALGATECH

SALGATECH est une entreprise opérant dans le secteur de l'énergie renouvelable. C'est une société à responsabilité limitée, fondée en 2018 par M. Silvère SALGA. Elle est spécialisée dans la conception, la production et l'installation des chambres froides multifonctions ainsi que des unités de fabriques de glace. Cette expertise est déployée sur le marché du Burkina Faso, où SALGATECH commercialise ses solutions innovantes pour répondre aux besoins de conservations alimentaires et de fabrique de glaces, contribuant ainsi à la promotion de pratiques durables et à l'amélioration des infrastructures locales.

II.1.2. Vision et perspectives de SALGATECH

La société SALGATECH veut :

- Contribuer à l'économie par le payement des impôts et des taxes à l'administration fiscale ;
- Réduire les importations et l'utilisation de chambres froides, nuisibles à l'environnement ;
- Renforcer les chaines agricoles et alimentaires en réduisant les pertes post-récoltes.

II.1.3. Structure organisationnelle de SALGATECH

La **Figure 1** présente la structure organisationnelle de SALGATECH.

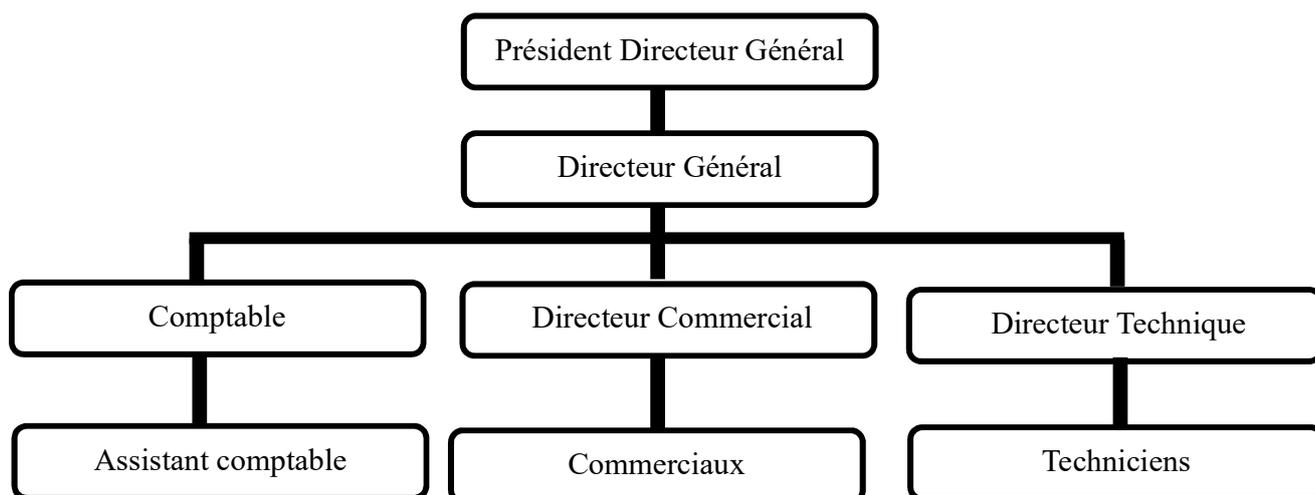


Figure 1: Structure organisationnelle de SALGATECH

II.2. ZONE D'ETUDE

Ce projet est en cours de réalisation au Burkina Faso plus précisément dans la zone Est à Fada Ngourma. C'est le chef-lieu de la commune, de la province et de la région. Elle est située à 220 km de Ouagadougou sur l'axe Ouagadougou-Niamey (RN4). Selon le RGPH, elle comptait en 2019, environ 73 200 habitants. La **Figure 2** présente la situation administrative de la commune de Fada Ngourma.

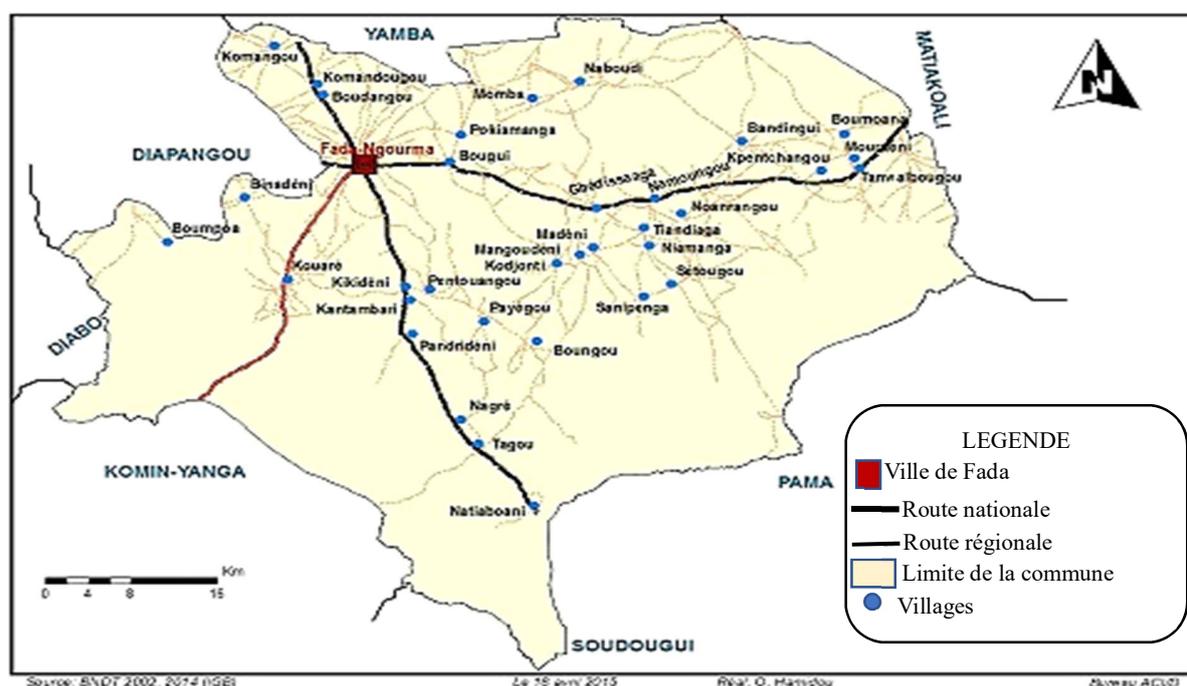


Figure 2 : Situation administrative de la commune de Fada Ngourma

Elle est bordée :

- Au Nord par la commune rurale de Yamba ;
- Au Sud par la commune urbaine de Pama et la province de Koulpélogo ;
- A l'Est par la commune rurale de Matiakoali ;
- Et à l'Ouest par la commune rurale de Diapangou et Diabo.

III. PRESENTATION DU THEME D'ETUDE

III.1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET

Le sous-secteur fruit et légume a pris de l'essor dans cette décennie au Burkina Faso. Cependant, une grande partie de de la production est perdue durant la période qui sépare la production à la consommation. Les producteurs de fruits et légumes ont des pertes qui se situent entre **30%** et **40%** (7) de leur production chaque année. Et ces pertes sont dues à la non maîtrise des techniques de conservation des produits. Pour résoudre le problème, la PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement) à initier le projet COLIBRI. Dans le but d'installer des chambres froides et des unités de fabrique glaces respectueuses de l'environnement.

III.2. OBJECTIF DU PROJET

L'objectif de ce projet est d'améliorer la conservation et la commercialisation des produits maraichers, des fruits et des légumes au marché de Fada N'Gourma afin de minimiser les pertes post-récoltes.

III.3. CAHIER DE CHARGES DU PROJET

Dans le cahier de charges, il est question de dimensionner une chambre froide d'une capacité de **35 m³** à températures positives (**2 à 6°C**) pour la conservation des fruits et légumes de tout type. L'installation est alimentée avec deux sources c'est-à-dire le **Solaire PV et la SONABEL** avec une autonomie de **2 heures** en cas de délestage. La source principale est le générateur solaire photovoltaïque et SONABEL la secondaire. Le cycle d'introduction et de sortie des marchandises dans la chambre froide n'est pas défini. Cela fera l'objet de détermination. Elle est équipée de 3 lampes LED internes et 1 lampe externe LED de **75W** chacune et des projecteurs solaires sont également prévus à l'externe pour le service de nuit. Le dimensionnement de la machine à glace est basée sur une production de **20 000 XOF** de glace par jours soit un total de **400 sachets de 50 XOF**. La capacité prévue est de **2 m³** et doit également avoir deux sources d'alimentations, mais sans autonomie en cas de délestage. Le fluide frigorigène imposé est du R452A.

III.4. HYPOTHESES DE TRAVAIL

Pour le dimensionnement des deux unités, il est essentiel de formuler des hypothèses qui tiennent compte des conditions locales, des besoins spécifiques du marché et des contraintes techniques.

- La chambre froide doit être dimensionnée pour stocker une certaine quantité de fruits et légumes afin de répondre aux besoins du marché local ;
- L'unité de fabrication de glace doit produire par jour une certaine quantité de glace pour répondre aux besoins des commerçants du marché et de la ville ;
- Les relevés météorologiques de la région montrent une moyenne de 10 heures d'ensoleillement par jour ;
- La glace produite après chaque 24 heures est recueillie dans une glacière afin d'éviter une ouverture constante de la porte et favoriser la production continue.

III.5. VISITE DU SITE

Une visite du site a été réalisée le 11 Mars 2024 lors de la livraison des composants électriques du générateur PV ce qui nous a permis de connaître l'état d'avancement du projet. A cette date les travaux effectués étaient :

- **Les gros œuvres** (dalle de 15cm d'épaisseur en béton armé dosé à 350kg/m³, parois en maçonnerie de parpaings pleins de 20cmx20cmx40cm, remblais, carreaux antidérapants grés céramique de 30cmx30cm, enduits, raccordement etc.) y compris retombée de fondations, marches, rampes d'accès (pente maximale 6,5 %) ;
- La fabrication et installation du **hangar en menuiserie métallique** avec la couverture constituée par les panneaux solaires de la chambre froide et de l'unité de fabrication de glace (angle d'inclinaison 15°) ainsi que les chéneaux métalliques d'évacuation des eaux (pente minimale de 10%) des panneaux solaires. Y compris les peintures, le panneau complet d'identification, les chéneaux et leur étanchéité en irène de premier choix ou autre produit d'étanchéité de qualité équivalente ou supérieur etc ;
- La fabrication de **garde-corps en menuiserie métallique** (poteaux en tubes ronds lourds 40/49 et autres éléments constituants en tubes ronds lourds de 26/34). Y compris les peintures ;
- L'installation de la chambre froide de 35 m³ et de l'unité de fabrication de glace de 2 m³ ;
- L'installation des **lampadaires complets économiques LED solaire** fixés sur les 4 angles de l'abri hangar y compris équipements solaires, projecteurs, dispositions de protection et de sécurité. (*Voir annexe B11*)

III.6. DEMARCHES METHODOLOGIQUES

La démarche méthodologique engagée afin de mener à bien cette étude se dévoile comme suit :

- Étude des conditions de stockage des fruits et légumes ;
- Évaluation des charges thermiques et détermination de la puissance frigorifique des deux unités ;
- Évaluation individuelle du besoin en énergie des deux unités, suivie du dimensionnement du générateur photovoltaïque ;
- Sélection des composants des installations frigorifiques et électriques ;
- Évaluation du coût de l'installation ;
- Rédaction de la notice d'impact environnemental ;
- Conception détaillée des schémas électriques et frigorifiques des deux unités.

Dans la continuité de cette étude, nous nous sommes employés à suivre scrupuleusement ces différentes étapes pour aborder le sujet.

III.7. NORMES DE TRAVAIL

Les notes de calcul, plan d'exécution, tous les matériaux et matériels entrant dans les compositions des ouvrages, l'exécution des travaux, doivent satisfaire aux normes règles ou règlement en vigueur au Burkina Faso à la date de signature du marché. Il s'agit notamment :

- Les Normes Françaises (AFNOR et UTE). En particulier la Norme NF EN 378 : 2017 pour les Systèmes frigorifiques et Pompes à chaleur; NF P75-401 (réf. DTU 45.1) relative aux marchés de travaux de bâtiment pour l'isolation thermique des bâtiments frigorifiques et des locaux à ambiance régulée, le Code de la santé publique, la méthode HACCP et les règlements relatifs à la sécurité alimentaire, la norme NF C15 100 qui traite des installations électriques à basse-tension (BT) et qui encadre la conception et la mise en œuvre des installations photovoltaïques, les guides C15-712 relatifs aux installations photovoltaïques avec/sans stockage et raccordées/non raccordé au réseau public de distribution ;
- Les règlements et normes Européenne y relative dont Règlement CE n°178/2002 du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires ;

- Les normes de la construction et d'installation électrique en vigueur au Burkina Faso ;
- Loi sur le contrôle des importations/ décret fixant la liste des produits soumis à autorisation spéciale d'importation ;
- Règlement n°04/2005/CM/UMOA sur les SAO ;

IV. ETUDE TECHNIQUE DU PROJET

IV.1. GENERALITE SUR LA CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES

Après les récoltes, les fruits et légumes suivent un circuit de commercialisation plus ou moins long. Durant lequel ils subissent des contraintes thermiques pouvant affecter leur qualité, leur valeur nutritionnelle, le développement bactérien et aussi des champignons responsables de leur mauvais goût. En raison de la diversité de nature et d'origine, ces produits évoluent aussi différemment en fonction des conditions extérieures comme la température, l'hygrométrie, la ventilation et la lumière. Pour garder leur bon état alimentaire chez les consommateurs, une chaîne de conservation de courte et longue durée est envisageable pour éviter la prolifération des bactéries et des champignons dangereux pour la santé avant la consommation.

IV.1.1. Définition de la conservation alimentaire selon FAO

La conservation alimentaire désigne l'ensemble des méthodes et techniques mise en œuvre pour prolonger la durée de conservation des aliments, en préservant leurs qualités, la sécurité et leurs valeurs nutritionnelles (9),(10),(11). Elle ne consiste pas à l'élimination des bactéries et des champignons mais plutôt à la limitation de leurs développements en les privant d'une ou plusieurs conditions favorables comme l'eau, l'oxygène, l'énergie et la nourriture.

IV.1.2. Etat des fruits et légumes sans conservation

Les fruits sont des organes comestibles des plantes à fleurs qui contiennent les graines et succèdent à la fleur et les légumes sont les parties des plantes potagères qui se consomment. Ça peut être les fruits, les graines, les fleurs, les tiges, les bulbes, les feuilles, les tubercules, les germes ou les racines des plantes. À température ambiante, ils peuvent perdre jusqu'à **50%** de leurs précieux nutriments par jours et le processus de dégradation chimique ou thermique (la multiplication des bactéries toutes les 20 minutes) s'enclenche comme nous pouvons le voir sur les images de la **Figure 3**.

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrication de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

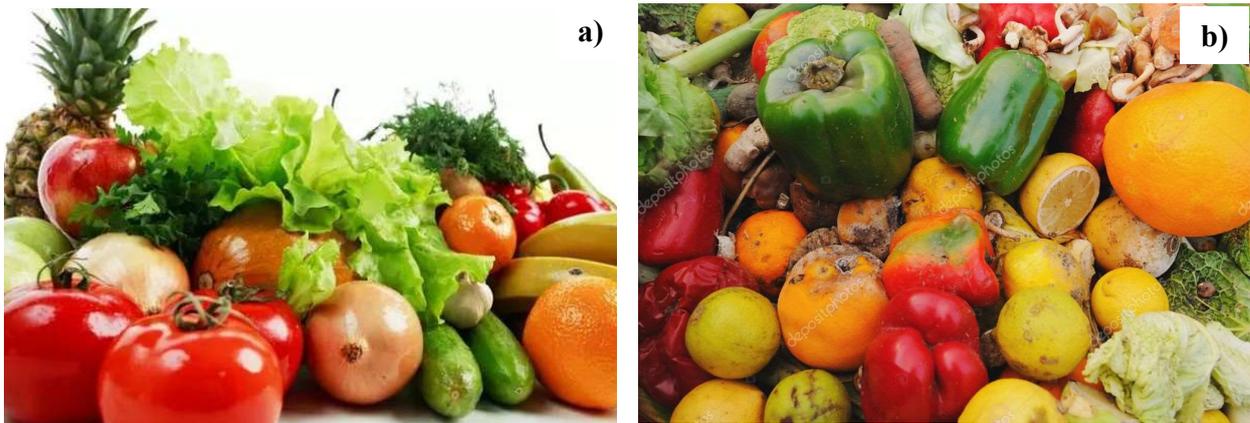


Figure 3 : Images illustrant la dégradation subit par les produits à température ambiante, (Extrait du site officiel : www.depositphotos.com)

La **Figure 4**, nous montre que la région de l'Est enregistre la plus faible production fruitière et une production moyenne de produit maraîchère dans tout le pays. Ce qui sous-entend que la majorité de ces produits (fruits et légumes) qui seront vendus sur le marché de fruit et légume de Fada Ngourma viendront probablement des autres localités où la production est la plus forte. Ces produits sont essentiellement composés des mangues, des tomates, des oignons, des agrumes, des choux, des carottes, des pommes, des papayes, des haricots etc. A partir de ceux-ci, nous allons faire un bilan thermique approprié. (*Voir IV.4*)

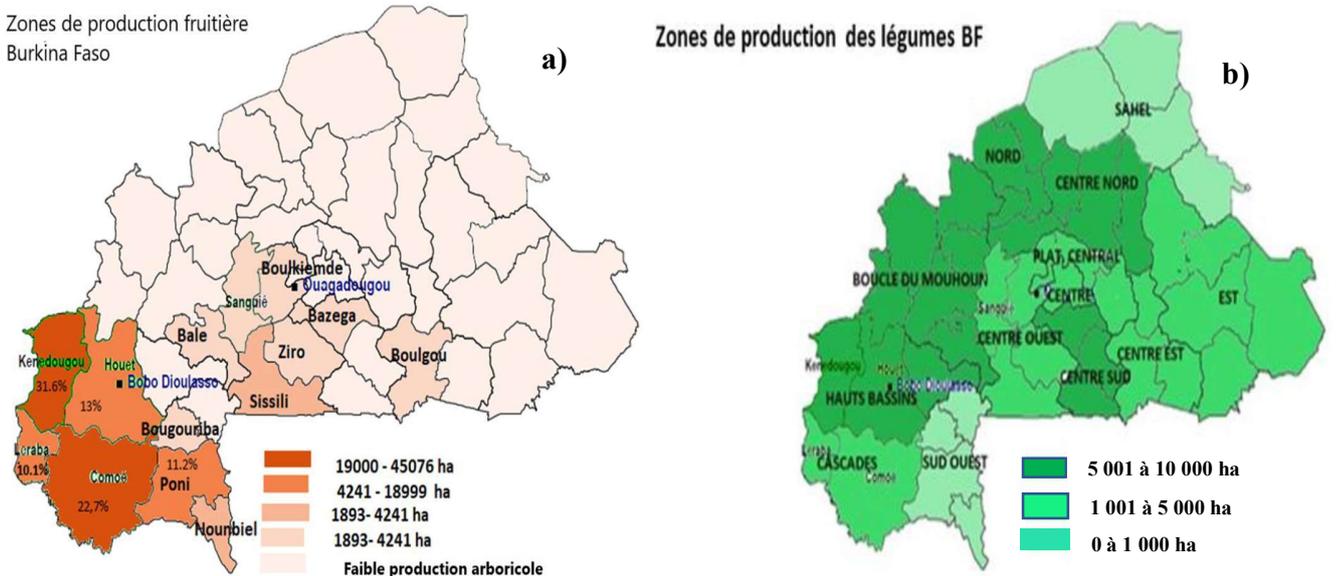


Figure 4 : Zone de production fruitière et maraîchère du Burkina Faso (Extrait du Rapport Générale pour l'Arboriculture juin 2011)

IV.1.4. Différentes techniques de conservation alimentaire

Il existe plusieurs moyens techniques de conservation des aliments, nous avons :

- **La conservation par le traitement thermique** : C'est la méthode de conservation par la chaleur. Elle se compose de trois (03) techniques de conservation ;
 - **La pasteurisation** réalisée autour de **80 °C**, permet de mieux conserver les nutriments en éliminant les micro-organismes et non leurs spores. Ainsi après celle-ci, les fruits et légumes sont à conserver à basse température pour éviter qu'ils germent de nouveau ;
 - **La stérilisation** réalisée entre **116 et 140°C**, permet d'éliminer entièrement les micro-organismes ainsi ils sont conservables à température ambiante ;
 - **La pasteurisation stérilisante** réalisée autour de **100°C** sur les fruits et légumes avec un taux d'acidité élevé pour pouvoir les conserver à température ambiante ;
- **La conservation par séchage** : Cette méthode consiste à déshydrater les fruits et légumes pour éliminer une proportion d'eau qu'ils contiennent. C'est une méthode de conservation très ancienne. Aujourd'hui, avec l'évolution de la technologie les procédés de séchage ont grandement évolué ;
- **La conservation sous atmosphère contrôlée (AC) et modifiée (AM)** : C'est une méthode de conservation de fruits et légumes qui consiste à soustraire dans une chambre de l'air et à y injecter du gaz carbonique (CO₂) pour ralentir leurs processus de respirations et de dégradations ;
- **La conservation par le froid** : C'est une méthode de conservation qui consiste à réfrigérer ou à congeler un produit pour ralentir ou stopper la multiplication des bactéries pathogènes, sans les tuer ;
- **La conservation par le sel ou la salaison** : C'est une technique qui consiste à conserver un aliment avec le sel sec. Elle permet de déshydrater l'aliment pour mieux le conserver.

IV.1.5. Conditions de stockage des fruits et légumes à longue durée

Les conditions de stockages des fruits et légumes spécifiées dans le DAO sont :

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

- Température de conservation entre 2 et 6 °C ;
- Humidité relative de conservation non spécifiée, mais elle se situera entre 80 et 90% (Tableau 1).

Tableau 1 : Conditions de stockage des fruits et légumes (Extrait du site officiel institut International du froid)

PRODUITS			PROPRIÉTÉS THERMIQUES				CONSERVATION DE PRODUITS FRAIS			
			Point de congèl	Chaleur spécifique en kJ/kg *C		Chaleur latente de congélation en	Chaleur de respiration	Tempér.de conserv.	Humidité relative	Durée de conserv.
Groupes	Catégories	Nom	°C	Avant congèl.	Après congèl	kJ/kg	KJ/kg 24h	°C	%	t
G1	FRUITS ET LEGUMES	Oranges	-2,2	3,77	1,89	293,3	0,42 à 1,05	0 à +1	85 à 90	1 à 4 mois
		Fraises	-1,1	3,85	2,01	301,68	2,51 à 3,77	0	85 à 90	1 à 5 jours
		Poires	-1,9	3,56	1,89	280,73	0,75 à 0,92	0 à -1	85 à 90	1 à 6 mois
		Pommes	-2	3,6	1,89	280,73	0,42 à 1,68	-1 à +3	85 à 90	2 à 5 mois
		Pêches	-1,5	3,77	1,89	293,3	0,92 à 1,47	-1 à +1	85 à 90	1 à 4 sem.
		Pamplemousses	-2	3,77	1,89	293,3	0,84 à 1,47	0 à +10	85 à 90	4 à 6 sem.
		Carottes	-1,4	3,6	1,88	293,3	2,09	0	90	1 à 2 sem.
		Choux - fleurs	-0,5	3,94	1,97	310,06	1,26 à 2,09	0	85 à 90	2 à 3 sem.
		Champignons	-1	3,9	1,97	301,68	6,28	0 à +1	85 à 90	3 à 5 jours
G2	FRUITS ET LEGUMES	Épinards	-0,9	3,94	2,01	310,06	4,19 à 5,03	0 à - 0,5	90 à 95	2 à 6 sem.
		Concombres	-0,8	3,9	1,97	301,68	2,3	+7 à +10	90 à 95	1 à 2 sem.
		Pommes de terre	-1,7	3,44	1,8	259,78	3,35 à 7,54	+7 à +10	85 à 90	4 à 8 mois
		Melons	-1,4	4,06	2,05	322,63	2,1 à 4,19	+ 4 à + 10	85 à 90	1 à 4em.
		Citrons	-2,2	3,85	1,93	297,49	1,26 à 3,35	+7 à +10	85 à 90	6 à 8 sem.
		Mandarines	-2,2	3,98	2,14	293,3	1 à 1,5	+4 à +7	85 à 90	3 à 6 sem.
		Ananas	-1,5	3,77	1,89	284,92		7	85 à 90	2 à 4 sem.
G3	FRUITS ET LEGUMES	Haricots frais	-1,2	3,44	1,97	297,49	8,38	+4 à +7	85 à 90	8 à 10 jours
		Tomates mûres	-0,5	3,98	2,01	314,25	2,09 à 3,35	+7 à +10	85 à 90	2 à 7 jours
G4	FRUITS ET LEGUMES	Bananes	-2,2	3,35	1,76	251,4	8,38 à 25,14	+ 14 à + 16	90	1 à 2 Sem
		Tomates variées	-0,5	3,98	2,01	314,25	3,77 à 1,15	+ 11 à + 14	85 à 90	3 à 5 sem.
G4	FRUITS ET LEGUMES	Haricots sacs	-	1,26	1,01	41,9	-	+2 à +5	70	6 mois
		Oignons	-	3,81	1,93	280,73	0,75 à 0,84	0 à 3	70 à 75	6 mois

IV.1.6. Opérations préliminaires et complémentaires des fruits et légumes

Avant d'introduire les fruits et légumes dans la chambre froide certaines opérations préliminaires et complémentaires sont nécessaires comme :

- **Le nettoyage et le tri** : C'est une étape très importante qui consiste à nettoyer et à retirer les produits déjà de mauvaise qualité et du lot de conservations ;
- **Le refroidissement initial** : Avant de mettre les fruits et légumes venant directement des récoltes dans les chambres froides, il est important d'abaisser leurs températures. Les produits peuvent être laissés à l'air libre pendant un certain temps et le refroidissement se fera à température ambiante ;
- **La maturation complémentaire** : C'est aussi un moyen de permettre à certains fruits et légumes cueillis avant maturité d'atteindre ce stade une fois sortis de la CF. Cependant, ce n'est pas destiné à tous les fruits et légumes cette opération. Car avec les pommes et les tomates cueillies avant maturité, ils sont capables de mûrir dans la CF.

IV.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CHAMBRE FROIDE

Une chambre froide de réfrigération commerciale permet de conserver les produits alimentaires dans leur état de fraîcheur originel, en plus ou moins grande quantité, en vue d'une consommation ultérieure. Elle évite les pertes de couleur, de qualités gustatives, de valeur nutritive et de poids des produits entreposés. Ainsi, l'installation frigorifique doit respecter les règles d'hygiène et de sécurité. Elle doit être conforme à la norme NF E 35-400 et l'installation électrique à la norme NF C 15-100. Son principe de fonctionnement est basé sur celle de la machine frigorifique qui est composé (**Figure 5**):

- D'un compresseur (1) ;
- D'un condenseur (2) ;
- D'un détendeur (3) ;
- D'un évaporateur (4) ;
- Des organes annexes.

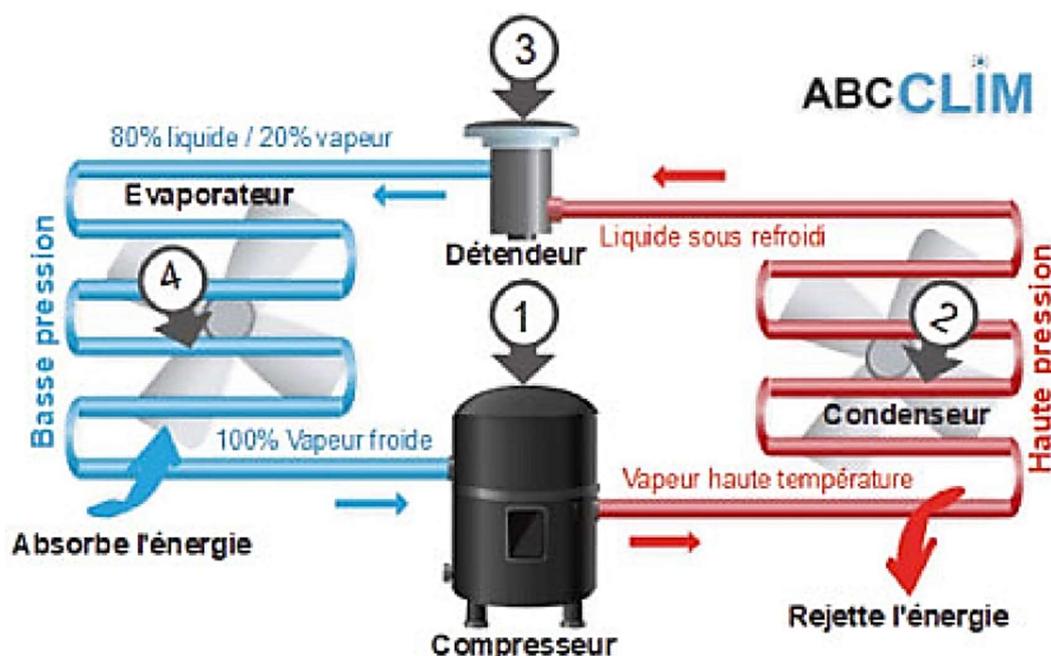


Figure 5 : Principe de fonctionnement des machines frigorifiques (Extrait du site officiel de l'ABCclim)

IV.2.1. Compresseur

Le compresseur est l'élément moteur car il assure la mise en pression et en circulation du fluide frigorigène ce qui fait monter sa température. Il est actionné par un moteur électrique dont la consommation électrique est liée à la différence de pression (HP –BP) et représente jusqu'à 80 % de la consommation électrique de toute l'installation frigorifique. Il existe plusieurs types de compresseurs :

- Hermétiques : Le moteur électrique et le compresseur sont dans une cloche ;
- Semi-hermétiques ;
- Ouverts ; (Extrait du livre ABC du froid de Robert THERVILLE, page 95)

IV.2.2. Condenseur

Le condenseur est un dispositif de transfert de chaleur équipé d'ailettes conçues pour accroître la surface d'échange thermique, facilitant ainsi la transition du fluide frigorigène de son état gazeux à liquide. Sa consommation électrique moyenne représente environ 10% de la consommation

électrique totale du système frigorifique (*Extrait du livre ABC du froid de Robert THERVILLE, page 117*).

IV.2.3. Détendeur

Le détendeur permet de n'injecter dans l'évaporateur que la quantité de fluide frigorigène nécessaire à l'absorption des apports calorifiques de l'enceinte refroidie. Il établit la frontière entre la haute et la basse pression. Bien qu'il soit un élément passif du circuit frigorifique, il est indispensable pour réaliser le cycle de compression/détente, qui assure le transfert efficace de chaleur de l'évaporateur au condenseur. (*Extrait du livre ABC du froid de Robert THERVILLE, page 131*)

IV.2.4. Evaporateur

L'évaporateur, également un échangeur de chaleur, capte l'énergie du milieu à refroidir grâce à l'évaporation du fluide frigorigène, qui se produit après son expansion. Sa consommation électrique moyenne représente environ 10% de la consommation électrique totale de l'installation frigorifique. (*Extrait du livre ABC du froid de Robert THERVILLE, page 145*)

IV.2.5. Fluide frigorigène

Les appellations des fluides frigorigènes diffèrent avec les pays (aux USA, Fréon ou Génértron, Forane en France, Arcton en Grande Bretagne et Algofréné en Italie). Il s'agit de substances chimiques qui se liquéfient facilement et dont la chaleur latente de vaporisation est exploitée pour produire du froid. Les fluides frigorigènes sont nombreux, comprenant à la fois des composés anciens et des plus récents.

IV.2.5.1. Classification

Actuellement, les fluides frigorigènes les plus fréquemment employés dans l'industrie frigorifique sont des dérivés fluorés et chlorés d'hydrocarbures, avec l'ammoniac qui demeure encore utilisé. Les dérivés chloro-fluorés sont issus du méthane (CH₄) ou de l'éthane (C₂H₆), où des atomes de fluor et de chlore remplacent les atomes d'hydrogène (*Extrait du livre ABC du froid de Robert THERVILLE, page 171*). On trouve :

Tableau 2 : Classification des fluides frigorigènes

Nom codé	Désignation	Description
CFC	Chlorofluorocarbone	Tous les atomes d'hydrogène ont été remplacés par du chlore ou du fluor
HCFC	Hydro Chlorofluorocarbone	Il subsiste de l'hydrogène et ils contiennent du chlore
HFC	Hydrofluorocarbone	Il subsiste de l'hydrogène mais ils ne contiennent pas du chlore
FC	Fluorocarbone	Ils ne contiennent ni de l'hydrogène, ni du Chlore (hydrocarbures complètement fluorés)
HC	Hydrocarbures	Ils contiennent de l'hydrogène, mais pas du fluor ni du chlore

IV.2.5.2. Critères de sélection

Pour sélectionner judicieusement un fluide frigorigène adapté à une application spécifique, plusieurs critères doivent être pris en considération :

- **Critères thermodynamiques** : Ils sont essentiels car les systèmes frigorifiques sont soumis aux lois de la thermodynamique ;
- **Critères de sécurité** : Il est primordial d'assurer la sécurité des personnes et des biens en cas de fuite de frigorigène dans l'atmosphère ;
- **Critères techniques** : Ils ont des conséquences sur la faisabilité et la fiabilité du système frigorifique, ainsi que sur les interactions entre le fluide frigorigène et les composants du système ;
- **Critères environnementaux** : Leur importance est aujourd'hui bien connue, car ces critères ont conduit à l'abandon de certains frigorigènes en raison de leur impact sur l'environnement ;
- **Critères économiques** : Ils restent au cœur des considérations techniques, étant donné leur influence sur les coûts associés.

IV.3. SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE LA CHAMBRE FROIDE COMMERCIALE ET DE L'UNITE DE FABRIQUE DE GLACE

IV.3.1. Données techniques de la chambre froide à Fada Ngourma

A Fada Ngourma, la capacité de la chambre froide à installer est de 35 m^3 qui représente le volume interne selon le cahier de charges. Ainsi, elle aura les dimensions intérieures suivantes :

- Longueur : $L_i = 5 \text{ m}$;
- Largeur : $l_i = 3 \text{ m}$;
- Hauteur : $H_i = 2,4 \text{ m}$;

Les dimensions extérieures sont obtenues grâce à ces expressions :

- Longueur : $L_e = L_i + 2e = 5,2 \text{ m}$;
- Largeur : $l_e = l_i + 2e = 3,2 \text{ m}$;
- Hauteur : $H_e = H_i + 2e = 2,5 \text{ m}$;
- Épaisseur de l'isolant : $e = 100 \text{ mm}$; Ce choix est effectué en fonction de l'écart de température entre le milieu extérieur et l'intérieur de la CF (*Voir Annexe A3*) ;
- Température de conservation de 2 à 6°C ; (*vient du cahier de charge*);
- Hygrométrie de 80 à 90% ; Voir **Tableau 1** qui présente les conditions idéales de stockages des fruits et légumes.
- Nature de l'isolant : polyuréthane expansé :
 - Conductivité thermique $\lambda_p = 0,023 \text{ W/m.K}$, un paramètre déterminant dans le choix des isolants. Un isolant est considéré comme idéal, lorsque la valeur de la conductivité est faible. Dans le cadre de l'isolation des chambres froides, elle ne doit pas dépasser les $0,36 \text{ W/m.K}$.
 - Prix et résistance mécanique moyens ;
 - Stable dans le temps ;
 - Isolation et pare vapeur très bon mais très inflammable ;
 - Masse volumique 40 à 45 kg/m^3 .

IV.3.2. Données techniques de la structure de l'unité de fabrication de glace Fada Ngourma

La capacité de l'UFG à installer est de 2 m³ selon le cahier de charges. Ainsi, elle aura les dimensions intérieures suivantes :

- Longueur : $L_i = 2$ m Température de l'eau de l'ONEA : $T_{ec} = 26$ °C ;
- Largeur : $l_i = 1$ m Température des glaces : $T_{se} = - 18$ °C (la température normalisée d'un congélateur) ;
- Hauteur : $H_i = 1$ m
- Épaisseur de l'isolant : $e = 125$ mm ; Ce choix est effectué en fonction de l'écart de température entre le milieu extérieur et l'intérieur de l'UFG (*Voir Annexe A3*) ;
- Longueur : $L_e = L_i + 2e = 2,25$ m ;
- Largeur : $l_e = l_i + 2e = 1,25$ m ;
- Hauteur : $H_e = H_i + 2e = 1,25$ m ;
- Capacité thermique de l'eau à $P=1$ atm $C_{peau} = 4,1945$ kJ/kgK ;
- Nature de l'isolant : polyuréthane expansé ;
- Masse d'eau à congeler M_e ;
- Capacité thermique de la glace $C_{pglace} = 2,11$ kJ/kg.K ;
- Chaleur latente de l'eau $L_{eau} = 335$ kJ/kg ;
- Après un sondage réalisé auprès des vendeuses de glace, nous avons constaté que la masse de glace 50 XOF se situe entre 1 et 2 kg dépendant de la vendeuse. Cependant, nous on prendra une masse de glace $M_g = M_e = 1,25$ kg car nous fournirons un objet de calibrage de 1,25 litres ;
- Masse volumique de l'eau $\rho_{eau} = 1000$ kg/m³.

IV.3.3. Orientation de la chambre froide

L'orientation de la chambre froide est imposée par celle des panneaux solaires photovoltaïques en vue de garder une production maximale à l'inclinaison optimale. Ainsi, on aura :

- Les deux parois verticales dans le sens de la longueur sont orientées au Sud et au Nord ;
- Les deux parois verticales dans le sens de la largeur sont orientées à l'Est et à l'Ouest.

IV.3.4. Isolation des parois de la chambre froide

Les parois de la chambre froide sont conçues avec des panneaux en sandwich faite en polyuréthane et de l'acier inoxydable (*Acier inox 25%Cr, 20%Ni*).

IV.3.5. Charge maximale de la chambre froide

La contenance maximale de la chambre froide en kg est déterminée par la formule suivante (*Extrait du PFE de Papa ABDOULAYE et Mouhamadou GUEYE de l'ESP du Sénégal page 63*) :

$$C_m = A \cdot H_g \cdot d_e \cdot n_0 \quad [1]$$

Avec :

- $A = 15 \text{ m}^2$: Surface au sol de la chambre froide en m^2 (*Voir IV.3.1*) ;
- $H_g = 2 \text{ m}$: Hauteur maximale de gerbage en m ;
- d_e : Densité d'entreposage des fruits et légumes en kg/m^3 ; Compte tenu du fait que nous ne connaissons pas le type de fruit ou légume qui sera le plus stocker. Alors, on prendra la densité d'entreposage du produit le plus élevé, soit $600 \text{ kg}/\text{m}^3$. (*Voir Annexe A1*)
- $a = 0,25$: Coefficient de répartition des différents produits dans la chambre froide
- n_0 : Coefficient d'occupation des marchandises, (en tenant compte passages, des espacements à respecter entre les caisses ou palette) ;

Dans l'*Annexe A2*, on a le coefficient d'occupation des marchandises, (en tenant compte passages, des espacements à respecter entre les caisses ou palette), à rotation rapide, on prend $n_0 = 0,45$;

$$C_m = 15 \times 2 \times 600 \times 0,45$$

$C_m = 8100 \text{ kg}$ soit une charge maximale **8,1 tonnes de fruits et légumes** ;

$$\text{Le taux de remplissage } \tau_r = \frac{A \times H_g}{V_{cf}} = \frac{15 \times 2}{35} \times 100 = 86 \% ;$$

La rotation journalière ou la cadence représente la quantité de produits à introduire ou faire à sortir par jour de la chambre froide. On prend généralement 25 % de de la charge maximale, d'où $R_j = 0,25 \times C_m = 0,25 \times 8100 = 2025 \text{ kg}$;

- **Taux de renouvellement de l'air**

Le renouvellement de l'air de façon régulière va permettre de conserver au mieux les produits (fruits et légumes). Un renouvellement d'air insuffisant peut entrainer une détérioration rapide des fruits et légumes. Car ils dégagent des substances qui altèrent la composition chimique de l'atmosphère de la pièce.

En pratique, R désigne le taux de renouvellement (*Voir annexe A5*) et par interpolation, on obtient pour un volume interne de **35 m³** un taux de renouvellement de **16,25** (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Taux de renouvellement d'air dans la chambre froide

Local	Volume (m3)	R
Chambre froide positive	35	16,25

IV.3.6. Données climatiques de la ville de Fada Ngourma

Après la consultation de plusieurs sites météorologiques notamment le site (<https://fr.weatherspark.com/>) et (<https://planificateur.a-contresens.net/>), nous avons relevé les données climatiques sur cinq années passées (2020, 2021, 2022, 2023 et 2024) pour le mois de Mars, Avril et Mai. Les résultats obtenus sont sensiblement les mêmes. On a :

- Une température maximale moyenne $T_m = 39^\circ\text{C}$ (en Avril) **Figure 6** ;
- Une hygrométrie 53 % **Figure 7** ;

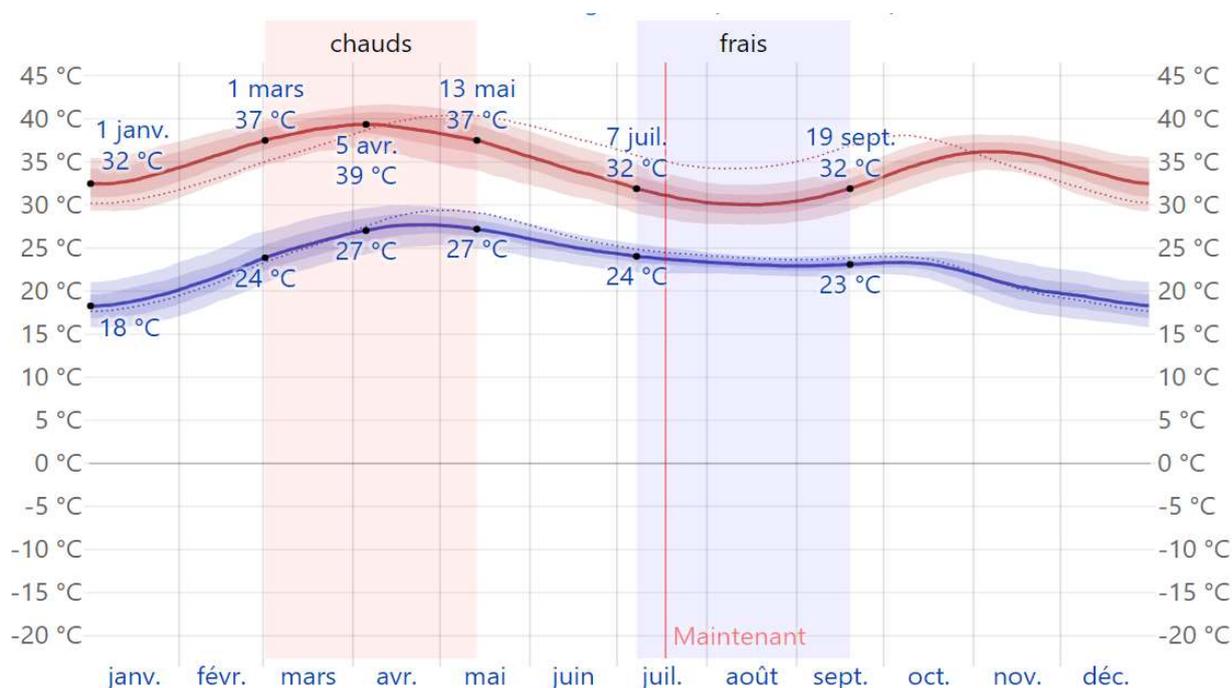


Figure 6 : Température moyenne quotidienne maximale (ligne rouge) et minimale (ligne bleue), les fines lignes pointillées sont les températures moyennes perçues correspondantes. Extrait du site <https://fr.weatherspark.com/>

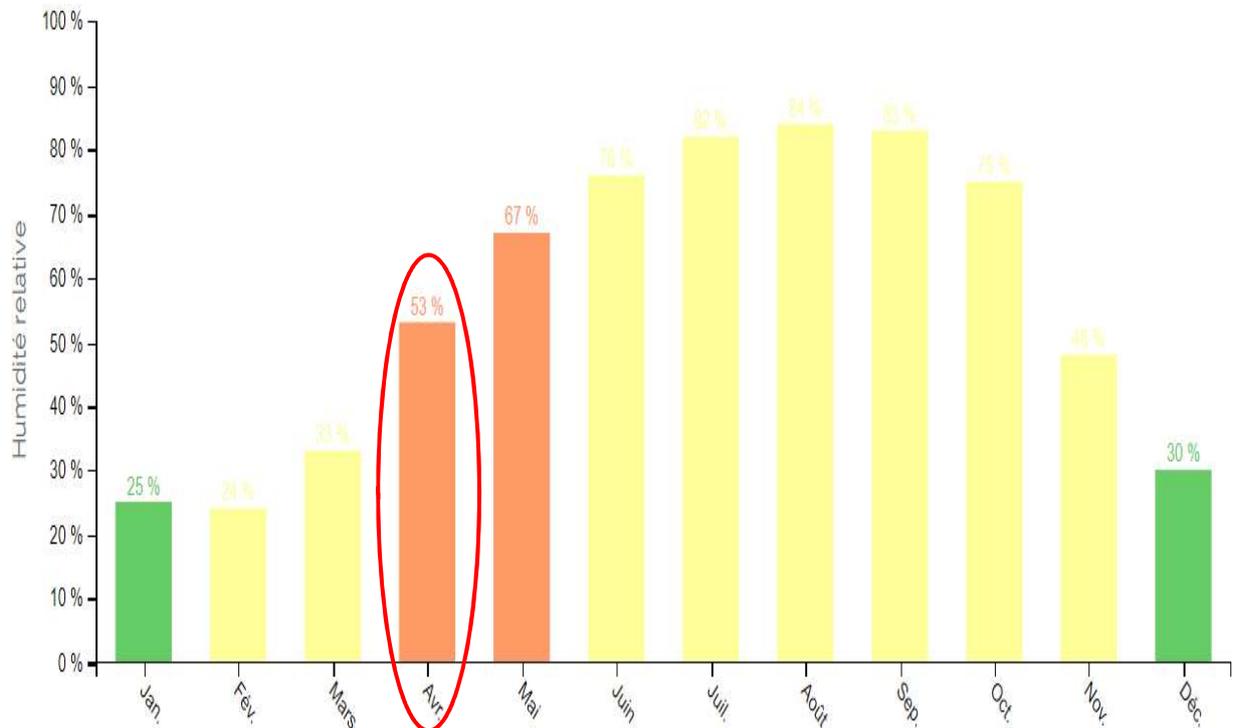


Figure 7 : Taux d'humidité relative, Extrait du site (<https://planificateur.a-contrasens.net/>)

IV.4. BILAN FRIGORIFIQUE

Le bilan frigorifique est évalué par le calcul et la sommation des charges thermiques à travers les enveloppes et autres. Il nous permet de déterminer la puissance frigorifique de la machine. Cette dernière représente la quantité d'énergie frigorifique utile ou nécessaire, d'une part, à la congélation ou au refroidissement des denrées, d'autre part pour compenser les apports thermiques extérieurs et intérieurs. Il représente la somme de deux (02) composantes : Les charges thermiques externes et internes. Toutes ces formules sont extraites du livre *ABC du froid de Robert THERVILLE* à la page 247.

IV.4.1. Détermination des charges thermiques externes

IV.4.1.1. Charges thermiques par transmission à travers les parois

Les charges thermiques résultant des transmissions à travers les parois sont déterminées selon l'expression suivante :

$$Q_{tr} = 24 \times K \times S_m \times \Delta T \times 3,6 \quad [2]$$

- K : Coefficient global d'échange de chaleur en W / m². K, pour une isolation en polyuréthane expansé. Avec e=100mm, on a K=0,19 W/m².K et pour e= 125, on a K =0,15 W/m².K (*Annexe A3*) ;
- S_m : Aire moyenne des parois en (m²) ;
- ΔT : Ecart de température (en K) propre à chaque paroi entre T_{amb} (température ambiante de l'air externe) et T_{cf} (température dans la chambre froide).
- 24 : durée d'une journée en heures.

IV.4.1.2. Charges thermiques par renouvellement d'air

La quantité d'énergie thermique contenue dans la masse d'air introduite lors du renouvellement de l'air dans la chambre froide peut être évaluée à l'aide de l'expression suivante :

$$Q_{re} = \frac{R \cdot V_{cf} \cdot (h_{ext} - h_{int})}{v_g} \quad [3]$$

- Q_{re} : Quantité de chaleur journalière par renouvellement d'air (kJ).
- V_{cf} : Volume de la chambre froide (en m³).
- Δh : Différence d'enthalpie entre l'ambiance dans la chambre froide et l'ambiance extérieure (kJ/kg). (*Voir Annexe A7*)
- v_g : Volume spécifique de l'air extérieur en m³/kgAS.
- R : taux de renouvellements de l'air sur 24 h.

IV.4.2. Détermination des charges thermiques internes

On les regroupe en deux catégories : les charges thermiques indépendantes et dépendantes des denrées entreposées.

IV.4.2.1. Détermination des charges thermiques indépendantes des denrées entreposées

Charges thermiques dues à l'éclairage

La chaleur émise par les lampes à l'intérieur d'une chambre froide peut être calculée à l'aide de l'expression suivante :

$$Q_{ec} = P_u \cdot S \cdot t \quad [4]$$

Avec :

- P_u : Puissance unitaire d'une lampe (W/m^2), ;
- S : Surface au sol de la chambre froide en (m^2) ;
- t : Temps d'éclairage ou de fonctionnement en seconde (s).

Charges thermiques dues aux personnes

Chaque individu émet une certaine quantité d'énergie thermique, laquelle croît proportionnellement à la baisse de la température ambiante. Dans notre situation, nous prendrons $q_h = 372 \text{ W}$ à une température de 2°C . La charge thermique peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$Q_{pe} = q_h \cdot N \cdot t_j \quad [5]$$

Avec :

- N : nombre de personnes deux (02) au maximum ;
- q_h : Puissance totale émise par individu en W /personne;
- t_j : Temps de séjour ou travail en (s).

Charges thermiques dues aux moteurs des ventilateurs

Les moteurs des évaporateurs constituent également des sources de chaleur, dont la quantification peut être réalisée à l'aide de la relation suivante :

$$Q_{vent} = \frac{P_{vent} \cdot S \cdot t}{1000} \quad [6]$$

Avec :

- Q_{vent} : quantité de chaleur journalière dégagée par les ventilateurs des évaporateurs en (kJ) ;
- P_{vent} : puissance du ventilateur par surface, généralement, on prendra 30 W/m^2 ;
- t : temps de fonctionnement des ventilateurs en(s) ;

- S : La surface au sol de la chambre froide en (m²).

Charges thermiques dues aux résistances de dégivrage

Dans les chambres froides négatives, il est indispensable de prévoir une résistance de dégivrage. La chaleur induite par le dégivrage peut être exprimée par :

$$Q_{resist} = \frac{P_r \cdot n \cdot t}{1000} \quad [7]$$

Avec :

- Q_{resist} : quantité de chaleur journalière dégagée par les résistances de dégivrage (kJ) ;
- P_r : puissance de la résistance électrique en (W) ;
- t : temps de fonctionnement des résistances en(s) ;
- n : le nombre de résistances.

Charges thermiques dues aux emballages

Les emballages des produits entrants représentent également des sources de chaleur. Cette énergie peut être évaluée à l'aide de l'expression suivante :

$$Q_{emb} = m_{emb} \cdot C_{emb} \cdot \Delta T \quad [8]$$

Avec :

- m_{emb} : Masse d'emballage en (kg), on prend un ratio compris entre 10 et 20 % de la masse de denrée introduite par jours.
- C_{emb} : Chaleur spécifique des emballages en (kJ/kg°C);
- ΔT : Différence de température des emballages entrante et celle à l'intérieur de la chambre froide en (°C).

IV.4.2.2. Charges thermiques internes dépendantes des denrées entreposées

Charges thermiques dues aux denrées entrantes

Les fruits et légumes pénétrant dans la chambre froide présentent une température excédant celle régnant à l'intérieur de la pièce, induisant ainsi un dégagement d'énergie thermique. Dans le cadre du processus de réfrigération, la charge thermique désigne la quantité de chaleur sensible à extraire des fruits et légumes afin de réduire leur température pour mieux les conserver.

$$Q_d = m_d \times C_{pd} \times (T_p - T_f) \quad [9]$$

Avec :

- Q_d : apport de chaleur par les denrées en kJ ;
- m_d : masse des denrées introduites dans la chambre froide par jour en kg ;
- C_{pd} : capacité thermique massique des denrées en kJ/kg.°C ;
- T_p : température initiale des denrées (avant refroidissement) en °C ;
- T_f : température finale des denrées égale à la température de la chambre froide en °C.

Charges thermiques dues à la respiration des produits (Fruits et légumes)

Après leur récolte, les fruits et légumes entament un processus de respiration qui génère de la chaleur, quantifiable par l'expression suivante :

$$Q_{resp} = m_d \cdot L_{resp} \quad [10]$$

Avec :

- m_d : Masse des denrées dans la chambre froide en kg ;
- L_{resp} : Chaleur de respiration des fruits stockés (kJ /kg).

IV.4.3. Détermination des charges thermiques non quantifiables

Les charges non quantifiables, (Q_{sup}) représentent entre 5 et 10% de la charge totale de la chambre froide. Par la suite, il convient d'ajouter la charge thermique supplémentaire (Q_{ic}) résultant du caractère commercial de l'installation, laquelle varie entre 10 et 20% de la charge totale de la chambre froide.

IV.4.4. Somme des charges thermiques de la chambre froide

La charge thermique globale est résultante de la somme de toutes les charges thermiques évaluées précédemment :

$$Q_g = Q_{tr} + Q_{re} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_{me} + Q_d + Q_{resp} + Q_{rde} + Q_{vent} + Q_{emb} + Q_{sup} + Q_{ic} \quad [11]$$

IV.4.5. Calcul de la puissance frigorifique moyenne

La puissance frigorifique moyenne requise pour satisfaire la charge thermique globale, que nous avons précédemment déterminée, est définie comme le quotient de cette dernière et de la durée de fonctionnement de notre groupe frigorifique.

$$\phi_0 = \frac{Q_g}{t} \quad [12]$$

Avec

- Q_g : La charge globale en kJ ;
- t : Le temps de fonctionnement du produit en (s) ;

Les résultats du bilan frigorifique de la chambre froide et de l'unité de fabrication de glace sont respectivement dans le **Tableau 4** et **Tableau 5**.

IV.5. RESULTATS DU BILAN FRIGORIFIQUE DES DEUX UNITES

IV.5.1 Résultats du bilan frigorifique de la chambre froide

Les résultats du bilan frigorifique de la chambre froide sont présentés dans le **Tableau 4**. La puissance frigorifique obtenue, en tenant compte de la chaleur latente de respiration de **8,38 kJ/kg**, la plus élevée parmi les produits, s'élève à **6,62 kW** (Voir **Tableau 1**), sur la base de **8100 kg**. Le produit concerné est le haricot vert, avec une densité d'entreposage de **600 kg/m³**. Les **5 %** de sécurité ont été calculés sur la base du taux de remplissage de la chambre, qui sera déjà de **86 %** du volume brut de la chambre froide avec les 8,1 tonnes de produits. Le taux de remplissage maximal possible serait de **90 %**, soit une charge supplémentaire de **400 kg**, avec un bilan thermique de **9 523 kJ**, faible par rapport à la Q_{sup} estimée.

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrication de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Tableau 4 : Bilan frigorifique de la chambre froide à Fada Ngourma

N°	Formules	Application numérique	Résultats	Unités
1	$Q_{trg} = Q_{tr1} + Q_{tr2}$	$Q_{trg} = 4798 + 35\ 458$	40 256,59	en kJ
	$Q_{tr1} = 24 \times K \times S_{mp} \times \Delta T_1 \times 3600$	$Q_{tr1} = 24 \times 0,19 \times 56,8 \times (39 - 2) \times 3,6$	35 458	en kJ
	$Q_{tr2} = 24 \times K \times S_{ms} \times \Delta T_2 \times 3600$	$Q_{tr2} = 24 \times 0,19 \times 15,8 \times (20 - 2) \times 3,6$	4 798	en kJ
2	$Q_{re} = \frac{R.V_{cf} \cdot (h_{ext} - h_{int})}{v_g}$	$Q_{re} = \frac{15 \times 35 \times (108,96 - 11,85)}{0,94270863}$	54 081,13	en kJ
3	$Q_{ec} = P_{us} \cdot t \cdot n$	$Q_{ec} = 0,075 \times 57600 \times 4$	17 280	en kJ
4	$Q_{pe} = q_h \cdot N \cdot t_j$	$Q_{pe} = 270 \times 2 \times 28800$	15 552	en kJ
5	$Q_d = \frac{m_d \cdot C_{pd}(T_p - T_f)}{1}$	$Q_d = 810 \times 4,06 \times (39 - 2)$	121 678,20	en kJ
6	$Q_{vent} = \frac{P.S.t}{1000}$	$Q_{vent} = \frac{30 \times 15 \times 24 \times 86400}{1000}$	38 880	en kJ
7	$Q_{resp} = m_d \cdot L_{resp}$	$Q_{resp} = 8100 \times 8,38$	67 878	en kJ
8	$Q_{emb} = m_{emb} \cdot C_{emb} \cdot \Delta T$	$Q_{emb} = 120 \times 2 \times (40 - 2)$	9 120	en kJ
9	$Q_{cf} = Q_{tr} + Q_{re} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_{me} + Q_d + Q_{resp} + Q_{rde} + Q_{vent} + Q_{emb}$		364 725,92	en kJ
10	$Q_{sup} = 0,05 \times Q_{cf}$		18 236,30	en kJ
11	$Q_{ic} = 0,06 \times Q_{cf}$		21 883,56	en kJ
12	$Q_g = Q_{sup} + Q_{ic} + Q_{cf}$		404 845,78	en kJ
13	$\phi_0 = \frac{Q_g}{t}$	$\phi_0 = \frac{404\ 845,78}{17 \times 60 \times 60}$	6,62	en kW

IV.5.2 Résultats du bilan frigorifique de la chambre froide

Le **Tableau 5** présente le bilan frigorifique de l'unité de fabrication de glace. Ce bilan est calculé de manière similaire au précédent, avec certaines exceptions. Les charges thermiques non prises en compte incluent celles dues à la respiration des produits (l'eau ne respire pas), celles dues à l'ouverture des portes (la production est entièrement vidée à chaque ouverture), celles dues à l'éclairage (pas de lampe interne), et celles dues aux ventilateurs (pas de ventilateur interne). Les charges prises en compte sont les suivantes :

- Q_p : Charge thermique due aux transmissions à travers les parois de l'unité de fabrication de glace ; elle est déterminée avec la même expression du point (**IV.4.1.1**)
- Q_{c1} : Charge thermique due au refroidissement des 500 kg d'eau jusqu'à 0°C ;
- Q_{c2} : Charge thermique due à la congélation des 500 kg d'eau ;
- Q_{c3} : Charge thermique due au refroidissement des 500 kg de glace jusqu'à -18°C ;
- Q_{emb} : Charge thermique due aux emballages ; généralement, on considère 1 % de la masse, multipliée par la chaleur spécifique moyenne et la différence de température, soit 470 kJ. Cependant, pour des raisons de sécurité, nous avons pris 3 % de la charge totale liée à la congélation des 500 kg d'eau, soit 7 482,23 kJ ;
- Q_{sup} : Charge thermique difficilement quantifiable ; il faut noter que l'unité de fabrication de glace ne peut pas être chargée au-delà des 500 kg, elle n'est donc pas liée à la charge, mais à la fabrication entièrement artisanale (due aux irrégularités dans la conception). Nous avons pris la valeur maximale de 10 % des charges totales, soit 28 369,83 kJ.

En résumé, nous obtenons un bilan frigorifique de **4,26 kW**.

Tableau 5 : Bilan frigorifique de l'unité de fabrication de glace de Fada Ngourma

N°	Formules	Application numérique	Résultats	Unités
1	$Q_p = 24 \times K \times S_m \times \Delta T$	$Q_p = 24 \times 0,15 \times 11,66 \times (39+18) \times 3,6$	8 613,48	en kJ
2	$Q_{C1} = M_e \times C_{peau} \times (T_{ee} - T_g)$	$Q_{C1} = 500 \times 4,1945 \times (26 - 0)$	54 528,50	en kJ
3	$Q_{C2} = M_e \times L_{eau}$	$Q_{C2} = 500 \times 335$	167 500,00	en kJ
4	$Q_{C3} = M_e \times C_{pglace} \times (T_g - T_{es})$	$Q_{C3} = 500 \times 2,11 \times (0 + 18)$	18 990,00	en kJ
5	$Q_{emb} = 0,03 \times Q_c$	$Q_{emb} = 0,03 \times (54528,5 + 167500 + 18990)$	7 230,56	en kJ
6	$Q_U = Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3} + Q_{emb}$		256 862,53	en kJ
7	$Q_{sup} = 0,075 \times Q_U$	$Q_{sup} = 0,075 \times 256 862,53$	19 264,69	en kJ
8	$Q_g = Q_{sup} + Q_U$	$Q_g = 256 862,53 + 19 127,22$	276 127,22	en kJ
9	$\phi_0 = \frac{Q_g}{t}$	$\phi_0 = \frac{276 127,22}{64800}$	4,26	en kW

IV.6. SELECTION DES COMPOSANTS FRIGORIFIQUES

IV.6.1. Choix du fluide frigorigène

Le DAO, nous impose le choix du fluide frigorigène R452A pour la chambre froide et l'unité de fabrication de glace. Le R452A a été mis en service pour remplacer le R404A, R507, R407A et R407F qui ont un GWP (Global Warming Potential) supérieur à 2500. Il est de la série 400 donc c'est un mélange zéotropique de trois fluides frigorigènes que sont le R125, R32 et R1234yf. Les propriétés du R452A sont les suivantes :

- Température critique $T_c = 74,9^\circ\text{C}$;
- Pression critique $P_c = 40,02$ bars ;
- Température d'ébullition sous la pression atmosphérique $T_e = -47^\circ\text{C}$;
- Solubilité dans l'eau : Négligeable ;
- Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone : $ODP = 0$;

- Potentiel d'effet de serre global à 100 ans : $GWP_{100} = 2141$;
- $G_{lde} = 3$;
- Application : Basse et Moyenne température ;
- Niveau de sécurité : A2 de groupe L1 ;
- Le R452A est compatible avec les équipements, les composants, le lubrifiant et les joints des installations A404A et R507 existant ;
- Le R452A est compatible avec les huiles polyolester (POE).

IV.6.2. Conditions et hypothèses de fonctionnement

Les données suivantes concernent la chambre froide :

- Production de froid nette : $\phi_0 = 6,62$ kW ;
- Température d'évaporation : $\Theta_0 = T_i - \Delta t = 2 - 5 = -3$ °C ; (Δt vient de l'Annexe A5)
- Pression d'évaporation et condensation : $P_0 = 5,08$ bars ; $P_k = 23,99$ bars ;
- Température de condensation : $\Theta_k = T_{amb} + 14 = 39 + 14 = 53$ °C ; (Annexe A6)
- Surchauffe de la vapeur dans l'évaporateur : $SC = 7$ K ;
- Sous-refroidissement : $SR = 5$ K ; (ABC du froid de Robert THERVILLE, page 407)
- Surchauffe à l'aspiration : $SC = 3$ K ;
- Refroidissement dans la conduite liquide : $SR = 3$ K ;
- Différence de température : $\Delta t = 5$ K pour une hygrométrie de 90 % (Voir Annexe B6).

Les données suivantes concernent l'unité de production de glace :

- Production de froid nette : $\phi_0 = 4,26$ kW ;
- Température d'évaporation : $\Theta_0 = T_i - \Delta t = -18 - 5 = -23$ °C ; (Δt vient de l'Annexe A5)
- Pression d'évaporation et de condensation $p_0 = 2,55$ bars ; Pression : $p_k = 22,35$ bars ;
- Température de condensation : $\Theta_k = T_{amb} + 11 = 39 + 11 = 50$ °C ; (Annexe A6)
- Surchauffe de la vapeur dans l'évaporateur : $SC = 7$ K ;
- Sous-refroidissement : $SR = 5$ K ;
- Surchauffe à l'aspiration : $SC = 3$ K ;
- Refroidissement dans la conduite liquide : $SR = 3$ K ;

IV.6.3. Tracer du cycle frigorifique de l'installation

La **Figure 8** présente le cycle frigorifique de la chambre froide

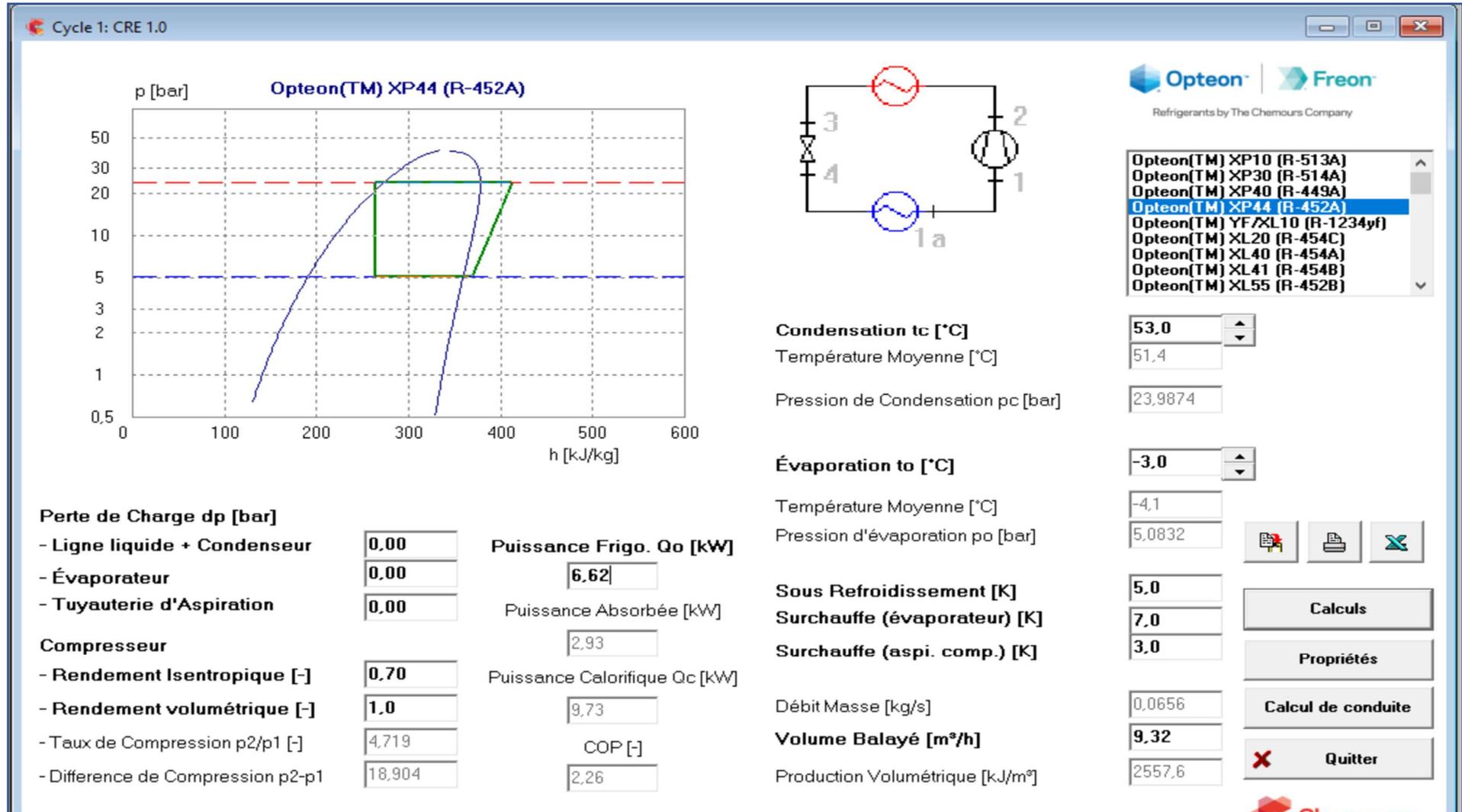


Figure 8 : Cycle frigorifique de la chambre froide (Extrait du logiciel CRE Chemour)

La **Figure 9**, nous présente le cycle frigorifique de l'unité de fabrication de glace.

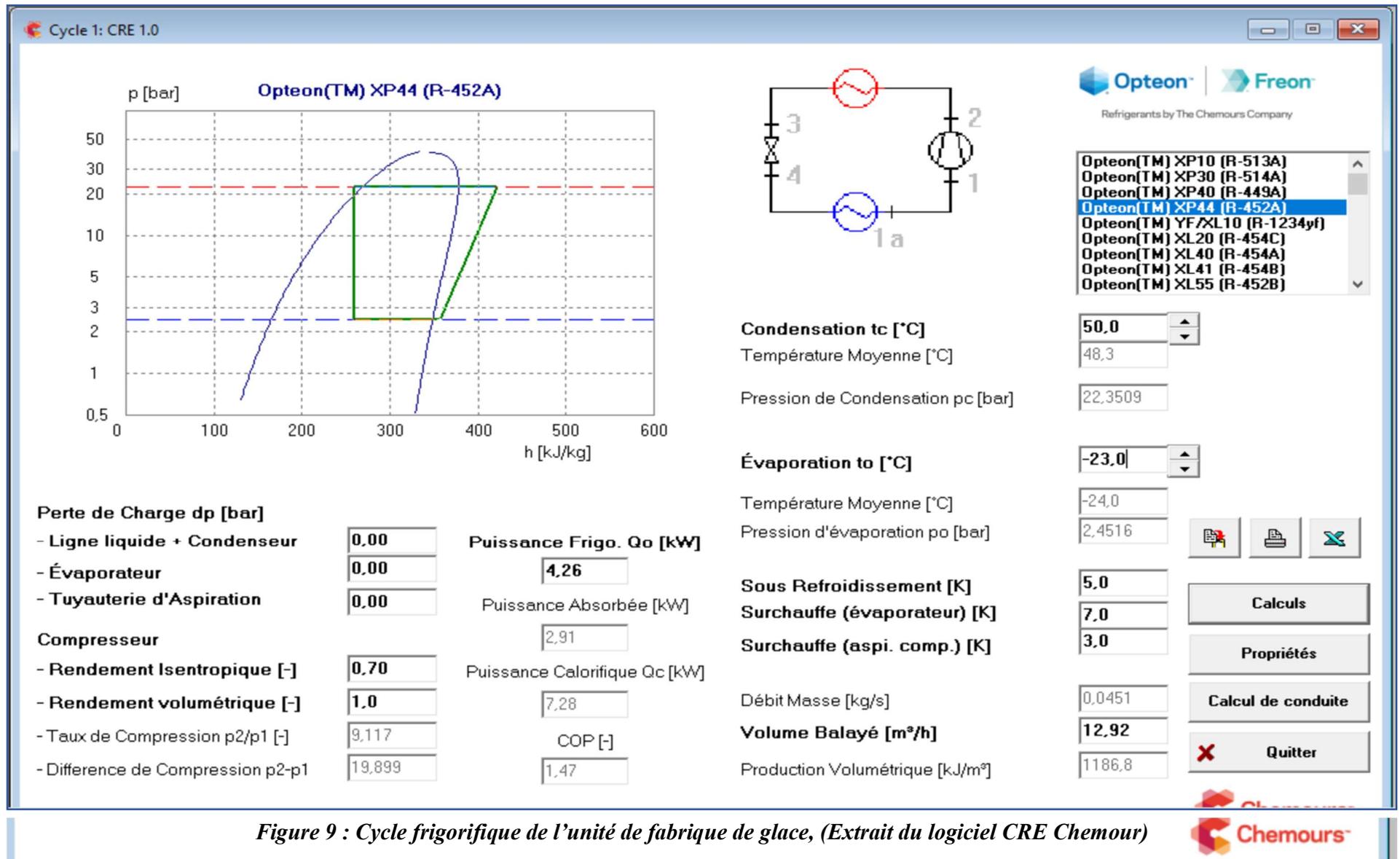


Figure 9 : Cycle frigorifique de l'unité de fabrication de glace, (Extrait du logiciel CRE Chemour)

IV.6.4. Choix des organes des systèmes frigorifiques

IV.6.4.1. Choix du groupe condenseur

L'utilisation du logiciel Chemours pour le tracé du cycle frigorifique nous a permis de déterminer les caractéristiques des deux unités, comme illustré dans les *Figure 8* et *Figure 9*.

En Afrique, les fabricants d'équipements frigorifiques les plus présents dans le secteur du froid commercial sont Tecumseh (pour les unités hermétiques) et Danfoss. Par conséquent, la sélection des groupes de condensation et autres équipements a été réalisée en collaboration avec les logiciels en ligne fournis par ces fabricants, notamment Coolselector et le logiciel de Tecumseh..

Ainsi, nous avons opté pour le groupe de condensation Danfoss (*OP-MPXM057ML P00G*) pour alimenter notre installation de chambre froide.

En général, on utilise une installation à 2 étages de compression à partir des conditions suivantes :

- $\tau > 7$ pour le R717 (NH₃) ;
- $\tau > 10$ pour le R12, R22, R404A, R452A etc. (conformément au cours du Dr N'Guessan YAO, « Physique du froid », Polycopie INP-HB 2010, page 119).

Pour l'unité de fabrication de glace, nous avons un taux de compression de $\tau_c = 9,117 \leq 10$ d'où le choix d'une installation mono étagé.

Ainsi, on choisira deux (02) groupes de condensation (SILFH2480P-XC) chez Tecumseh qui répondent aux conditions de fonctionnement pour alimenter notre UFG (*voir Tableau 6 pour les caractéristiques*).

Tableau 6 : Choix des groupes de condensation selon les conditions de fonctionnement fixé (Extrait sur le logiciel en ligne de Coolselector et Tecumseh)

N°	Logiciels	Unités	Référence	Caractéristiques techniques						
				P_{ab} (W)	COP	ϕ_0 (W)	I (A)	f(Hz)	plage tension	Quantité
1	Données									
2	Coolselector	Chambre froide	OP-MPXM057ML P00G	3 633	1,84	6 863	16,94	50	220-240V	1
3	Tecumseh	Fabrique de glace	SILFH2480P-XC	1 900	1,40	2 130	6,39	50	220-240V	2

Les groupes de condensation comprennent les éléments suivants, selon les dossiers techniques des fabricants:

- Échangeur de chaleur à microcanaux (MCHE): *il est idéal pour une utilisation dans les systèmes de conditionnement d'air résidentiels et commerciaux, ainsi que dans des équipements de réfrigération visant l'efficacité énergétique et la réduction de la charge de réfrigérant ;*
- Compresseur scroll : *Il bénéficie d'un avantage unique, il accepte une tension de démarrage deux fois inférieure à celle d'un **piston** et à tension égale a un temps de démarrage quatre fois plus court ;*
- Réservoir avec vanne d'arrêt ;
- Vannes à boule : *Elle se compose d'un corps de vanne et d'une boule rotative pour réguler le débit. Élément de régulation des procédés industriels, la vanne à boule utilise idéalement un mécanisme de passage intégral ou de passage réduit. L'orifice cylindrique permet le passage du fluide au centre de la boule, qui arrête l'écoulement simplement en se tournant d'un quart de tour ;*
- Voyant de liquide : *C'est un organe de diagnostic visuel. Il est équipé d'un élément sensible (sel chimique) qui change de couleur en fonction de la teneur en humidité du circuit frigorifique. Lorsque celui-ci est vert, le circuit est considéré comme sain. En revanche, lorsqu'il vire au jaune, cela indique probablement que le déshydrateur est saturé d'humidité et doit être remplacé. La présence d'humidité ne doit pas être tolérée, afin d'éviter la formation d'acides nocifs au bon fonctionnement de l'installation. La présence de bulles visibles à travers le voyant peut indiquer un manque de fluide (dans certaines conditions), une évaporation partielle du fluide (due à une chute de pression) ou un faible sous-refroidissement ;*
- Pressostats HP/BP ;
- Udskifteligt tørrefilter ;
- Contrôleur électronique : C'est l'organe qui assurent le contrôle de l'installation ;
- Sectionneur principal (Interrupteur principal avec protection contre les surcharges) ;
- Ventilateur et condensateurs de compresseurs ;
- Contacteur du compresseur ;

- Relais de surveillance de l'alimentation ;
- Logement robuste et résistant aux intempéries ;
- Régulateur d'injection de liquide (Module B Plus) ;
- Détendeur électronique (ETS6) : *Lorsqu'il est associé au régulateur de surchauffe Danfoss et aux capteurs de pression et température, le détendeur est conçu pour une injection de liquide précise dans les évaporateurs. Le détendeur est totalement équilibré, offrant une fonction bidirectionnelle ainsi qu'une fonction d'arrêt étanche de l'électrovanne dans les deux sens de débit. La conception du détendeur repose sur un moteur bipolaire permettant une régulation précise du débit. ;*
- Les composants connectés sont équipés d'un port Schrader.

IV.6.4.2. Choix de l'évaporateur

A présent, nous allons choisir un évaporateur pour notre installation de chambre froide. On a :

- Puissance frigorifique Nominale $\phi_n = 6,62 \text{ kW}$;
- Coefficient d'hygrométrie $1,15/1,25 = 0,92$;
- Coefficient de correction de DT1 $8/10 = 0,8$;
- Coefficient du fluide frigorigène $1/1 = 1$;
- Coefficient du matériau de l'ailette $1/0,97 = 1,031$. (*Voir annexe A 11*)

La puissance de l'évaporateur à choisir sera $\phi_n = 6,62 \times 0,92 \times 0,8 \times 1,03 = 5,02 \text{ kW}$.

En tenant compte de nos calculs, notre choix se porte sur l'évaporateur de référence TA3L4P sc2 chez FRIGA BOHN (Fabricant d'évaporateur présent sur le marché africain).

Tableau 7 : Caractéristiques techniques de l'évaporateur choisi, (Extrait du catalogue FRIGA-BORN)

Composants	Caractéristiques techniques						
	Pe(W)	S(m2)	ϕ_0 (W)	qa(m3/h)	Imax(A)	Pa τ (dB)	M(kg)
Evaporateur	370	18,13	5 660	4 185	1,8	42	32,2

Pour l'unité de fabrication de glace

Au niveau de l'unité de fabrication de glace, nous allons dimensionner l'évaporateur car la fabrication se fera directement à l'atelier de SALGATECH.

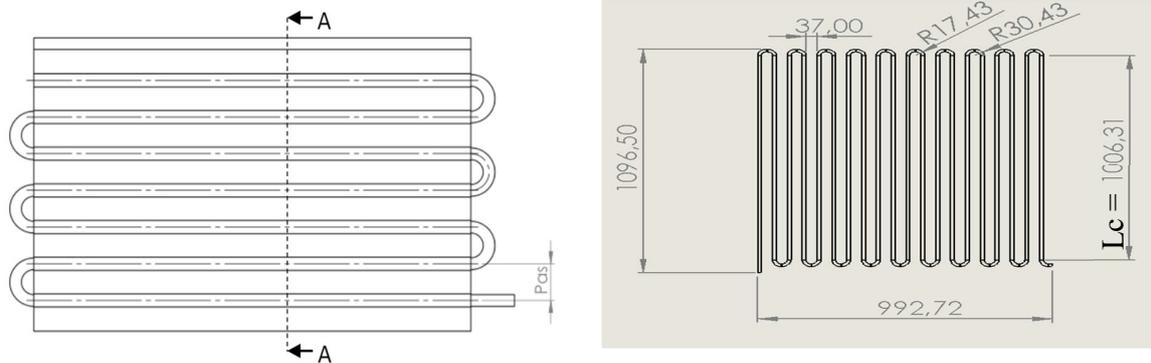


Figure 10 : Présentation de l'évaporateur serpentin de l'UFG, réalisée avec le logiciel SOLIDWORKS

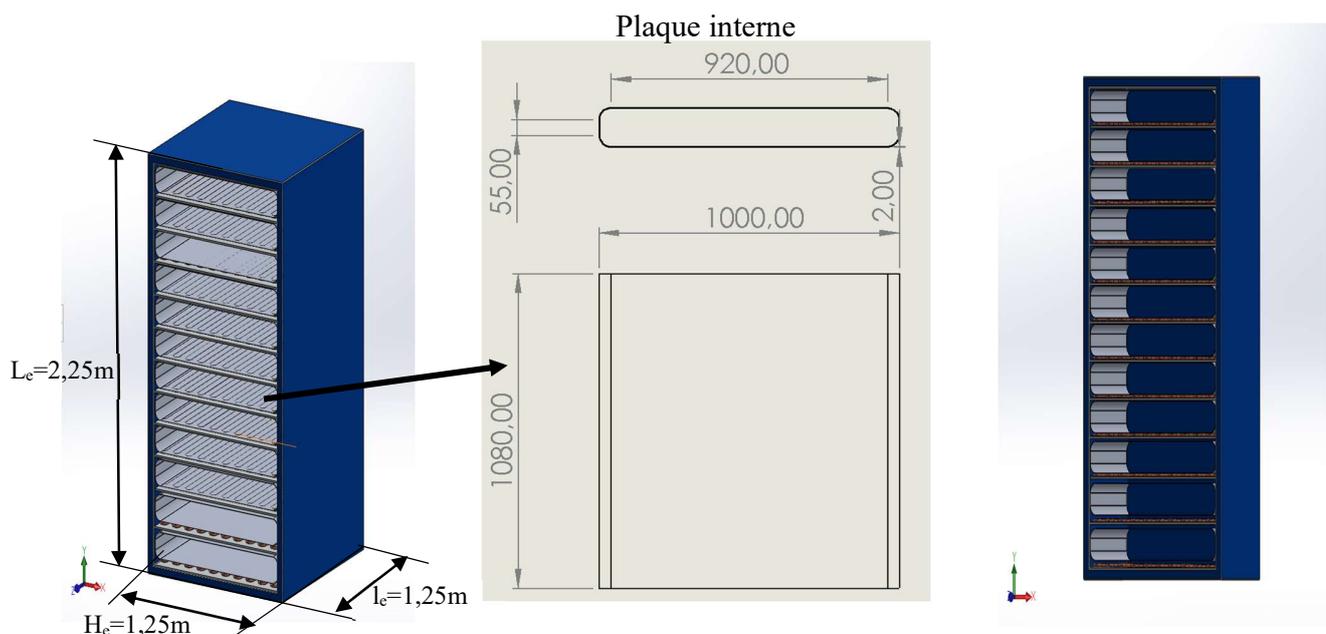


Figure 11 : Présentation de l'unité de fabrication de glace, réalisée avec le logiciel SOLIDWORKS

L'évaporateur est de type serpentin avec les caractéristiques suivantes :

- Puissance frigorifique nominale $\phi_n = 4260 \text{ W}$;
- Le pas = 70 mm ; (**Figure 10**)
- La longueur de la conduite (L) , Ce que nous allons déterminer .

On estime que la puissance frigorifique absorbée à l'intérieur de l'UFG peut être évaluée avec cette expression. Les expressions suivantes sont tirées du cours du Pr N'GUESSAN Yao Remi, « Echangeur thermique », Polycopie INP-HB 2016.

$$\phi_i = U_i \cdot A_i \cdot (T_i - T_{\text{évap}}) \quad [13]$$

$$A_i \cdot U_i = \frac{\phi_0}{T_i - T_{\text{évapo}}}$$

T_i et $T_{\text{évap}}$: Température interne et la température d'évaporation ;

$$A_i \cdot U_i = \frac{4260}{-18+20} = 2130 \text{ W/K} ; \text{ Or on sait que } \phi_0 = \frac{\Delta T}{R_T}$$

D'où, on tire la longueur de la conduite d'évaporation (L) :

$$L = A_i \cdot U_i \times (R_{\text{plaque}} + R_{\text{tube}}) \quad [14]$$

Avec :

- $R_{\text{plaque}} = \frac{e_{\text{plaque}}}{k_{\text{plaque}} \times \text{Pas}} + \frac{\frac{\text{Pas}}{2}}{k_{\text{plaque}} \times e_{\text{plaque}}} = \frac{2 \times 10^{-3}}{160 \times 0,05} + \frac{0,025}{160 \times 0,002} = 0,0783036 \text{ m.K/W}$
- $R_{\text{tube}} = \frac{\ln(\frac{d_e}{d_i})}{2\pi k_{\text{tube}}} = \frac{\ln(\frac{12,7}{11})}{2 \times 3,14 \times 380} = 6,0219 \times 10^{-5} \text{ m.K/W}$

$L = A_i \cdot U_i \times (R_{\text{plaque}} + R_{\text{tube}}) = 2130 \times (0,0783036 + 6,0219 \times 10^{-5}) = 167 \text{ m}$, qui représente la longueur totale du cuivre nécessaire pour la fabrication de l'évaporateur.

La **Figure 10** illustre le modèle à concevoir en respectant les dimensions suivantes:

- Pas = 50 mm ; $L_c = 1006,31 \text{ mm}$, $N_{\text{coude}} = 13 \text{ coudes (Figure 10)}$

$$L_{\text{totale}} = L_c \times 14 + L_{\text{coude}} \times 13 \quad [15]$$

$$\text{Avec } L_{\text{coude}} = \frac{2 \times \pi \times R \times \alpha}{360} = \frac{2 \times \pi \times 25 \times 10^{-3} \times 180}{360} = 0,0785 \text{ m}$$

$$\text{D'où } L_{\text{totale}} = L_c \times 14 + L_{\text{coude}} \times 13 = 1,00631 \times 14 + 0,0785 \times 13 = 15,12 \text{ m}$$

A partir des résultats obtenus, nous évaluons à **181,4 m** la longueur utile pour la fabrication des 12 évaporateurs. Et chaque évaporateur sera de **15,1 m**.

La **Figure 11** présente un schéma de l'unité de fabrication de glace (UFG). Celle-ci se compose d'un corps principal (en bleu), des évaporateurs, et des structures internes en aluminium à chaque niveau, destinées à augmenter la surface d'échange thermique avec les sachets d'eau. On a les dimensions de la structure interne :

$$\text{Longueur} = 0,92 \times 2 + 0,055 \times 2 + \frac{2 \times \pi \times 0,010 \times 90 \times 4}{360} = \mathbf{2,0128 \text{ m}} ;$$

$$\text{largeur} = \mathbf{1,08 \text{ m}} ;$$

Nous optons pour (02) deux plaques d'aluminium de **2000×6000 mm** avec une épaisseur de **2 mm**.

IV.6.4.3. Choix des conduites

La surface interne d'une conduite se calcule avec l'expression suivante :

$$A_i = \frac{q_m \times v_i}{w_i} \text{ en m}^2 \quad [16]$$

Avec q_m : débit massique en kg/s

v_i : volume massique du fluide dans la conduite en m^3/kg

w_i : Vitesse du fluide à l'intérieur de la conduite m/s (*Extrait du livre de l'ABC du froid de Robert Therville, page 170*)

en aspiration $6 \leq w_i \leq 15$; on prend $w_i = 14$ m/s

au refoulement $8 \leq w_i \leq 15$; on prend $w_i = 14$ m/s

dans la conduite liquide $0,5 \leq w_i \leq 1$; on prend $w_i = 1$ m/s

Tableau 8 : Dimensionnement des conduites de l'installation frigorifique de la chambre froide

Conduites	q_m (kg/s)	v_i (m ³ /kg)	w_i (m/s)	A_i (m ²)	Matériau	Dimension (pouce)	w_{ir} (m/s)	$L_{équi}$ (K/m)
Aspiration	0,06560	0,0441	14	0,000206729	cuivre	3/4"	12,77	0,11
liquide	0,06560	0,00098	1	6,41568E-05	cuivre	1/2"	0,82	0,01

Pour le choix des sections normalisées voir *Annexe A10*.

Tableau 9 : Dimensionnement des conduites de l'installation frigorifique de l'unité de fabrication de glace

Conduites	qm(kg/s)	vi(m ³ /kg)	w _i (m/s)	Ai (m ²)	Materiau	Dimension (pouce)	w _{ir} (m/s)	L _{équi} (K/m)
Aspiration	0,04510	0,0963	14	0,000310332	cuivre	7/8"	11,24	0,07
liquide	0,04510	0,00096	1	0,000043296	cuivre	3/8"	0,86	0,02

Les fabricants donnent déjà les sections de sortie de leur groupe condenseur (voir fiche technique fabricant). Pour notre part, avec l'aide du logiciel CRE chemour, nous allons vérifier si la vitesse d'écoulement interne respecte la plage standard de vitesse définie. Le **Tableau 8** et **Tableau 9** résument notre travail.

IV.6.4.4. Les organes annexes

Les organes annexes sont des organes de diagnostic et de protection des organes principaux. On trouve généralement le déshydrateur, voyant liquide et l'électrovanne. Le choix se fera chez Danfoss avec leur logiciel coolselector à partir des conditions de fonctionnement spécifiées.

- **Déshydrateur** est indispensable pour assurer le bon fonctionnement d'une installation frigorifique. Son rôle principal est de piéger les impuretés et l'humidité présentes dans le circuit frigorifique. Il est constitué de petites billes absorbant l'humidité du circuit frigorifique ;
- **Thermostat** est un dispositif qui permet de maintenir une température constante dans un espace donné en contrôlant le système de chauffage ou de climatisation. C'est un outil essentiel pour assurer un confort thermique optimal dans nos maisons et bâtiments, tout en réduisant notre consommation énergétique.
- **La vanne électromagnétique (VEM) ou l'électrovanne** permet d'interrompre l'écoulement du fluide frigorifique. Cette vanne possède de multiples applications, mais elle est principalement utilisée sur la ligne liquide. Elle permet d'éviter la migration du liquide dans l'évaporateur lors de l'arrêt de l'installation ou d'être utilisée pour le fonctionnement en mode "pump down".

Tableau 10 : Choix des organes annexes des deux unités frigorifiques chez Danfoss

Unités	Nom	Caractéristiques techniques				
		Type	DN(mm)	cartouche (micron)	ΔP (bar)	Ve (m/s)
Chambre froide	Déshydrateur	DC40163	10	1	0,015	1,16
	Thermostat			-		
	Electrovanne	EVU5	10	-	0,073	0,95
Unité de fbrique de glace	Déshydrateur	DMC2033	10	1	0,011	0,89
	Thermostat			-		
	Electrovanne	EVU5	10	-	0,1	0,95

IV.6.5. Schéma et fonctionnement de l'unité de fabrique de glace

La **Figure 13**, nous présente le schéma du circuit frigorifique de l'unité de fabrique de glace. Le schéma est réalisé pour un seul groupe condenseur car les deux montages sont similaires. Le condenseur alimente en fluide frigorigène le détendeur thermostatique qui est connecté au distributeur de liquide. Cette dernière possédant (06) six sorties connectées à chaque évaporateur de l'UFG. D'où le choix de deux groupes condenseurs, deux détendeurs thermostatiques et deux distributeurs de liquide.

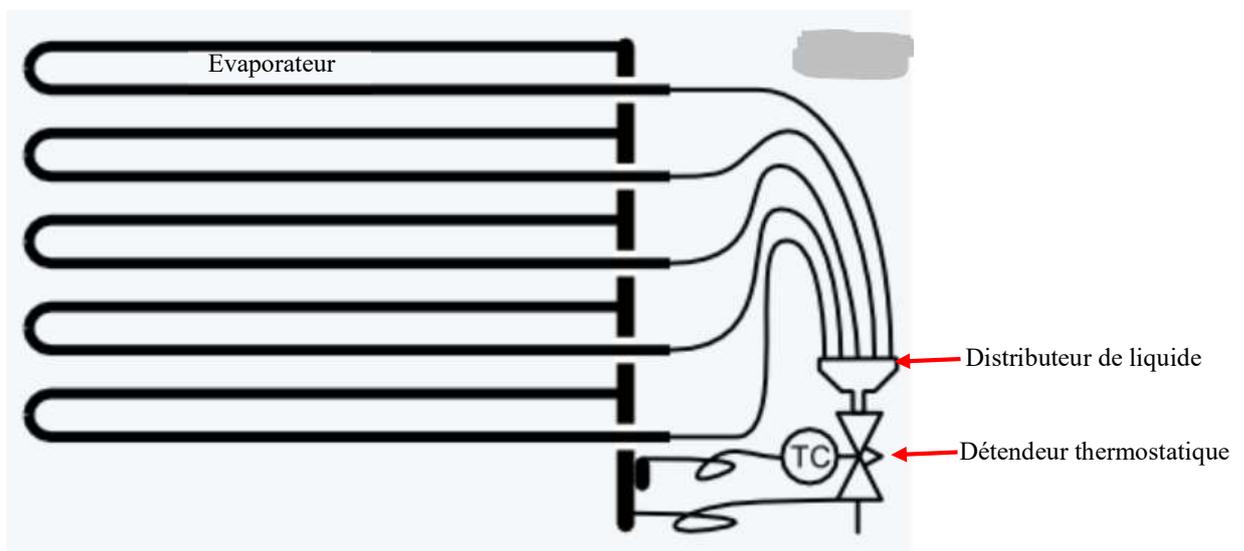


Figure 12 : Aperçu du montage du détendeur thermostatique et du distributeur de liquide (Extrait du site officiel de Master cooling)

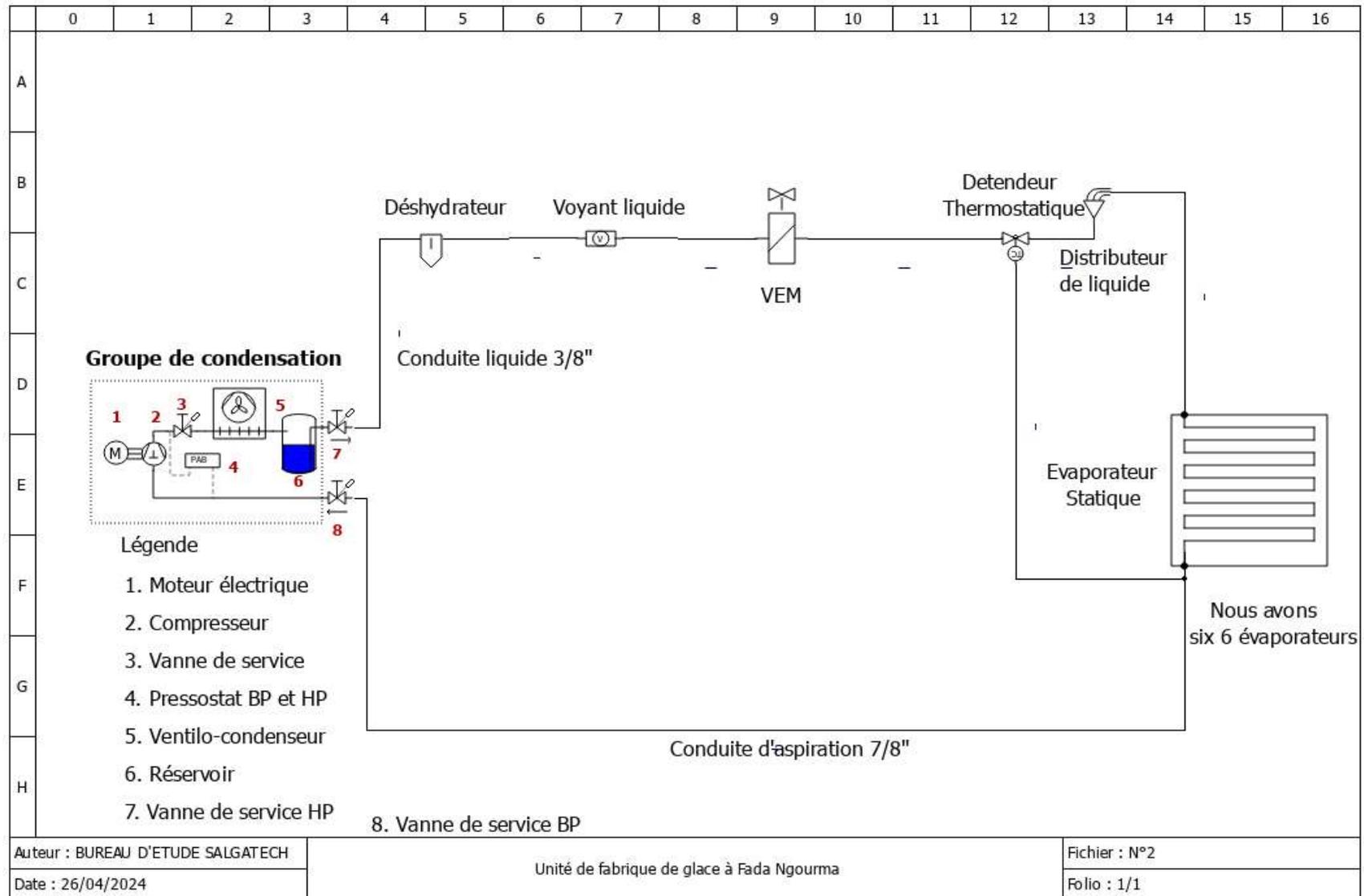


Figure 13 : Schéma frigorifique de l'unité de fabrication de glace réalisé pour un seul groupe condenseur

IV.7. DIMENSIONNEMENT DU GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE ET CHOIX DES EQUIPEMENTS

L'équilibre nécessaire au bon fonctionnement du générateur photovoltaïque (GPV) dépend de la balance entre l'énergie produite et l'énergie consommée sur une période donnée. Ainsi, deux principes doivent être respectés :

- La quantité d'énergie produite par jour par le générateur photovoltaïque (GPV) doit toujours être supérieure ou égale aux besoins énergétiques quotidiens de l'utilisateur ;
- La quantité d'énergie réellement consommée par jour et par l'utilisateur doit toujours rester inférieure à la quantité d'énergie réellement produite par jour par le générateur photovoltaïque (GPV).

IV.7.1. Paramètres d'étude

Dans le processus de dimensionnement, on distingue deux catégories de paramètres à étudier :

- Les paramètres techniques, comprenant :
 - L'énergie quotidienne sur site ;
 - L'énergie quotidienne fournie par le système ;
 - La demande maximale en énergie ;
 - La demande future en énergie.
- Les paramètres économiques, exprimés en coût (en FCFA), qui impliquent de déterminer :
 - Le coût actuel des différents composants du système (tels que les modules PV, les accumulateurs, les systèmes de conditionnement, etc.) ;
 - Le coût actuel d'exploitation du système (maintenance, entretien, réparation).

IV.7.2 Ensoleillement du site

Les informations météorologiques pour le site de Faga Ngourma sont recueillies à l'aide du logiciel RETScreen. Le mois le moins ensoleillé dans cette ville est août, avec une irradiation moyenne sur un plan horizontal de **5,84 kWh/(m².jr)** **Figure 14**. Un dimensionnement basé sur le rayonnement de ce mois pourrait potentiellement répondre à la demande énergétique pour l'ensemble de l'année. On prendra un temps d'ensoleillement de 10 heures qui représente bien la période de production des panneaux solaires.

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

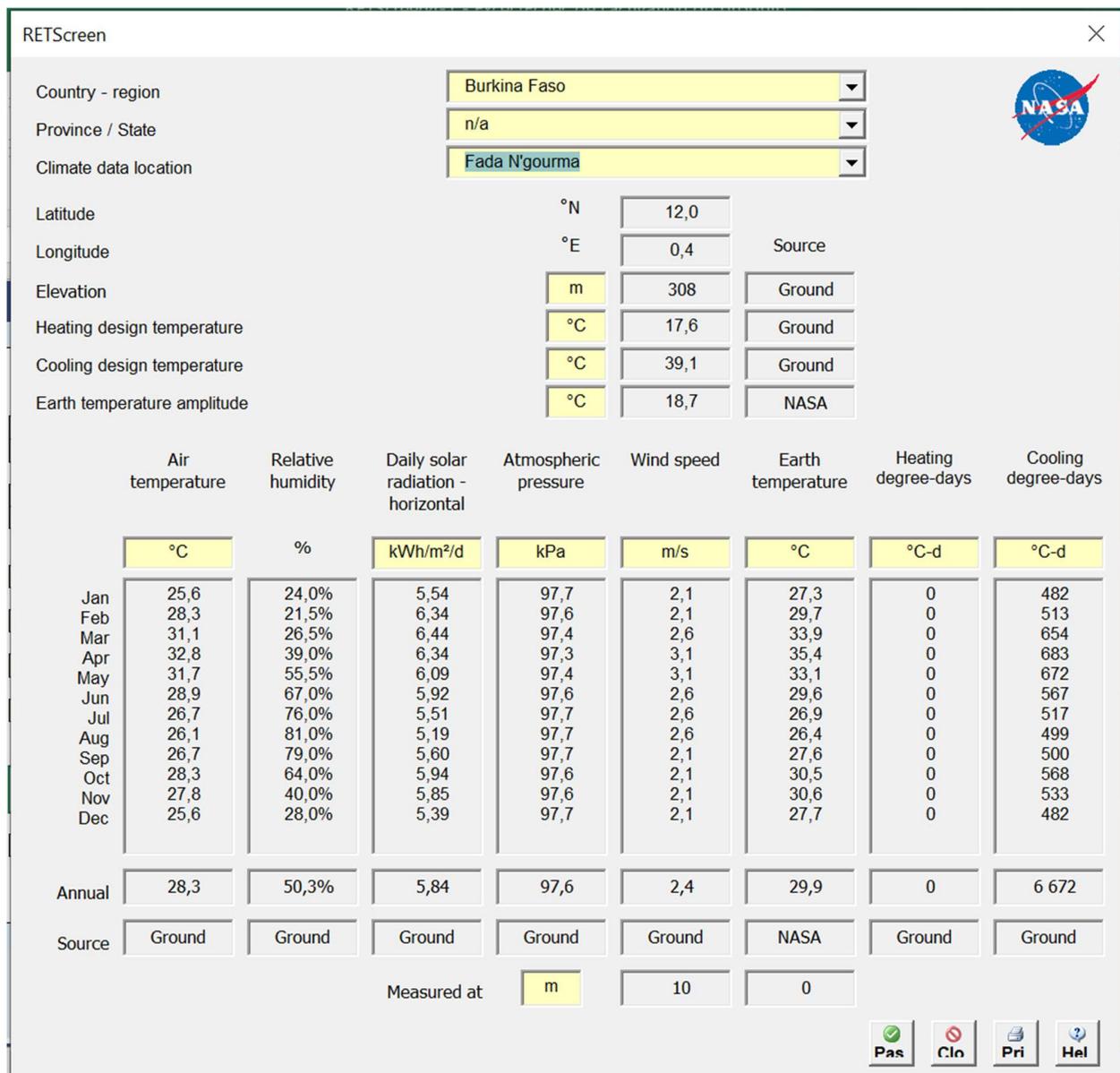


Figure 14 : Données météorologiques de la ville de Fada Ngourma sur RETScreen

IV.7.3. Consommation énergétique

La consommation énergétique quotidienne désigne l'énergie consommée par les appareils électriques de notre installation, notée E_{cmax} en Wh. On le fera indépendamment l'estimation de la consommation énergétique quotidienne des deux installations avec le logiciel PVsyst.

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma



Figure 15 : Résultats de la consommation énergétique de l'installation pour la chambre froide



Figure 16 : Résultats de la consommation énergétique de l'unité de fabrique de glace

IV.7.4. Puissance crête de l'installation

La puissance crête du générateur à installer dépend de l'irradiation du lieu et de la consommation énergétique. Elle est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$P_C = \frac{E_{cmax}}{I \times k} \quad [17]$$

P_C : Puissance crête en Wc

E_{Cmax} : énergie consommée en kWh/j (*Figure 15, Figure 16*)

I : irradiation en kWh/ (m²j)

k : coefficient correcteur qui prend en compte :

- L'incertitude météorologique ;
- L'inclinaison non corrigée des modules selon les saisons ;
- Le rendement de charge et de décharge de la batterie (90%) ;
- La baisse des caractéristiques des modules dans le temps (perte de rendement, vieillissement, etc.) ;
- Le rendement du régulateur ;
- Les pertes dans les câbles et connexions.

Les valeurs suivantes sont retenues pour le coefficient k , conformément au cours du Pr Mohamed SAKO, « Systèmes Photovoltaïques », Polycopie INP-HB 2016, page 62 :

- Pour les systèmes avec batterie, $0,55 < k < 0,75$, avec une valeur usuelle de $k = 0,65$;
- Pour les systèmes sans batterie, $k = 0,8$.

$$P_C = \frac{43\,646}{5,84 \times 0,65} = 11,498 \text{ kWc pour la chambre froide}$$

$$P_C = \frac{38\,626}{5,84 \times 0,8} = 8,268 \text{ kWc pour l'unité de fabrication de glace.}$$

Les modules PV choisis sont de marque GLOBOL BRASIL avec les caractéristiques techniques suivantes :

Tableau 11 : Présentation des caractéristiques des modules PV à installer (Extrait de la fiche technique du panneau solaire BR320P)

Désignation	Valeurs
Type de cellule	Polycristallin
Puissance maximale	320 Wc
Tension à puissance maximale	37,3V
Tension en circuit ouvert (V _{oc})	45,79 V
Courant de court-circuit (I _{sc})	9,93 A
Courant à puissance maximale	8,58 A
Coefficient de température de P _{max}	-0,43 %/°C
Coefficient de température de cov	-0,34 %/°C

Pour calculer le nombre de panneaux qu'il nous faudra. Nous avons procédé de la façon suivante :

$$N_{mod} = \frac{P_c}{P_{Cmod}} \quad [18]$$

$$N_{mod} = \frac{11,498}{0,32} = 35,93 \text{ soit } \mathbf{36} \text{ panneaux pour la chambre froide}$$

$$N_{mod} = \frac{8,268}{0,32} = 25,84 \text{ soit } \mathbf{26} \text{ panneaux pour l'unité de fabrication de glace}$$

Avec :

N_{mod} : Nombre de module à installer ;

P_c : puissance crête de l'installation en kW ;

P_{cmod} : puissance crête d'un module en kW

Les résultats montrent que pour satisfaire la demande en énergie, il faut installer :

- 36 panneaux pour la chambre froide ;
- 26 panneaux pour l'unité de fabrication de glace.

IV.7.5. Choix de la tension de l'installation solaire

La tension d'utilisation du système photovoltaïque dépend de sa puissance crête :

- 12 V pour $P_c < 150 \text{ Wc}$
- 24 V pour $150 \text{ Wc} < P_c < 1000 \text{ Wc}$
- **48 V pour $P_c > 1000 \text{ Wc}$**

En tenant compte de la puissance crête de nos installations, la tension d'utilisation requise pour le générateur PV est de **48V (tension système)**.

IV.7.6. Dimensionnement de la batterie de stockage

L'autonomie de la chambre froide est de 2 heures (*Cahier de charge*) ce qui représente le temps de fonctionnement de notre groupe de condensation. Le fonctionnement de la chambre froide n'étant pas régulier le compresseur s'arrêtera à cause de la régulation du groupe de condensation. En tenant compte de ce temps mort à chaque arrêt, nous avons estimé l'autonomie à 6 heures soit à **0,2 jour**.

Tableau 12 : Résultat du dimensionnement de la batterie à installer

N°	Formules			Résultats		Observation
1	$C_b = \frac{E_{Cmax} \times N}{P_D \times U_{sys}}$	$C_b = \frac{43\ 646 \times 0,2}{0,8 \times 48}$		227		en Ah
2	Données	Ec (Wh)	U _{sys} (V)	N	PD	Cb choisi(Ah)
3	Valeur	43 646	48	0,2	0,8	250

Avec :

- C_b : Capacité des batteries à installer ; E_c : Energie consommée par la chambre froide ;
- P_D : Profondeur de décharge des batteries N : Autonomie de la chambre froide **0,2 jours** ;
- U_{sys} : Tension du système = $U_{bat\ choisi}$: Tension de la batterie choisie.

On choisira une batterie au lithium de 200 Ah/48 V chez felicity de ref. LFBF 48250-S

(Voir annexe B3)

IV.7.7. Dimensionnement de l'onduleur

Les onduleurs sont des convertisseurs électriques qui assurent la conversion du courant alternatif (AC) en courant continu (CC). Nous disposons de plusieurs catégories d'onduleur que sont :

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrication de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

- Les onduleurs à onde sinusoïdale pure ;
- Les onduleurs à onde sinusoïdale modifiée ;
- Les onduleurs à onde carrée.

Leurs dimensionnements sont basés sur les paramètres suivants :

La détermination de la puissance nominale de l'onduleur dans un système photovoltaïque autonome, notamment en site isolé, requiert le strict respect des critères suivants :

- La puissance de l'onduleur doit surpasser immédiatement la puissance totale requise par l'ensemble des récepteurs de l'installation concernée : $P_{ond} > P_{ab}$
- En présence de moteurs tels que (des climatiseurs, moulins à écraser, pompes hydrauliques, compresseurs, surpresseurs, ascenseurs, portails motorisés, etc.), il est impératif de tenir compte du courant d'appel au démarrage de ces équipements (caractérisé par un courant de démarrage élevé) : généralement, $I = 3 \times I_{nominale}$ pour les moteurs triphasés, ($I = 6 \times I_{nominale}$) pour les moteurs monophasés, ou encore $P_{ab} = k \times P_{nominale}$. Par conséquent, il convient de multiplier la puissance requise au démarrage des moteurs par un coefficient de démarrage k.

Toutefois, certains onduleurs tolèrent des surcharges temporaires pendant un laps de temps défini.

$$P_{surcharge\ onduleur} > P_{ab} = (P_{récepteur\ ordinaire} + \sum P_{moteur} \times k). \quad [19]$$

Le tableau ci-dessus, nous donne le coefficient de démarrage de quelques appareils électriques.

Tableau 13 : Coefficient de démarrage de quelques équipements électriques source : guide technique n°5 « les convertisseurs »

Appareils électriques domestiques/électroménagers/professionnels	Coefficient de démarrage
Lampes(fluorescente, led, incandescence, halogène), radiateur, hifi, sèche-cheveux, TV, ordinateur, imprimante, photocopieur, cafetière, bouilloire, fer à lisser, brosse à dents électriques, chauffe-eau électrique (ballon eau chaude)...	1
Outillages portatifs (perceuse, meuleuse, scie sauteuse, décapeur thermique, marteau perforateur, friteuse, marteau piqueur...)	1,5
Outillages portatifs (ponceuse, scie circulaire, aspirateur, cisaille, pulvérisateur de peinture ou pompe à piston...), lampe néon, lampe fluo compact, four à microondes, ventilateur, mélangeur/malaxeur...	2

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Réfrigérateur domestique, sèche-linge, bétonnière, compresseur d'air, monte-charge/moteur électrique en charge, pompe à chaleur(PAC), pompe immergée, pompe de relevage, treuil, ouverture motorisée, congélateur...	3
Machine à laver le linge, climatiseur, nettoyeur haute pression, scie à bois...	4
Réfrigérateur ou glacière à compression...	8

$P_{\text{Surcharge onduleur}} > P_{ab} = 75 \times 4 + 3\,633 \times 3 + 185 \times 2 + 5 = 11\,574 \text{ W}$ (Figure 15) pour la chambre froide ;

$P_{\text{Surcharge onduleur}} > P_{ab} = 3\,800 \times 3 + 5 = 11\,005 \text{ W}$ (Figure 16) pour l'unité de fabrique de glace.

En observant les résultats obtenus, nous allons prendre quatre (02) onduleurs **IVGM 5048** de 5 kVA de Felicity pour chaque installation, car nos deux groupes disposent d'un régulateur de démarrage ce qui limitera le courant au démarrage.

IV.7.8. Configuration du champ PV

Nombre maximal de modules par onduleur

Le nombre maximal de modules par onduleur est proportionnel à la puissance maximale admise en entrée DC de notre onduleur par rapport à la puissance crête de notre module. Ce qui nous donne :

$$N_{\text{max modules}} \leq \frac{P_{\text{max.ond}}}{P_{\text{mod}}} \quad [20]$$

Avec

- $N_{\text{max modules}}$: Nombre de modules que peut supporter l'onduleur ;
- $P_{\text{max_ond}}$: puissance maximale de l'onduleur en W ;
- P_{mod} : puissance crête d'un module en W.

$$N_{\text{max modules}} \leq \frac{6500}{320} = 20,313 \text{ modules PV par onduleur}$$

Nombre maximal de module en série

Le nombre de module à mettre en série est donné par l'expression suivante :

$$\frac{U_{\text{minMPPond}}}{U_{\text{min_pm_mod}}} \times 1,1 < N_s < \frac{U_{\text{maxMPPond}}}{U_{\text{max_pm_mod}}} \times 0,95 \quad [21]$$

- $U_{\text{min MPP_ond}}$ et $U_{\text{max MPP_ond}}$: Représentent la plage de tension MPPT en entrée de l'onduleur.

➤ $U_{min_pm_mod}$ et $U_{max_pm_mod}$: Représentent la tension maximale et minimale des modules.

$$U_{max\ mod} = U_{max\ pm\ mod} \times \left(1 + \frac{k}{100} \times (T_{cellule\ min} - T_{STC})\right) \quad [22]$$

$$U_{max\ mod} = 37,3 \times \left(1 - \frac{0,34}{100} \times (25,50 - 25)\right) = 37,23\ V$$

$$U_{min\ mod} = U_{max\ pm\ mod} \times \left(1 + \frac{k}{100} \times (T_{cellule\ max} - T_{STC})\right) \quad [23]$$

$$U_{min\ mod} = 37,3 \times \left(1 - \frac{0,34}{100} \times (58,10 - 25)\right) = 33,1\ V$$

$$\text{Avec } T_{cellule\ min} = T_{ambient\ min} = 25,5\ ^\circ C$$

$$\text{Avec } T_{cellule\ max} = T_{ambient\ max} + 25^\circ C \text{ et } T_{STC} = 25\ ^\circ C$$

La température minimale et maximale des cellules sont respectivement $25,5^\circ C$ et $58,1^\circ C$.

$$AN : \quad \frac{90}{33,1} \times 1,1 < N_s < \frac{550}{37,23} \times 0,95 \quad \longrightarrow \quad 2,99 < N_s < 14,03$$

Chaque onduleur peut supporter entre **3 à 14 modules PV en série**. Cependant les calculs effectués précédemment, nous ont permis d'estimer le nombre de panneaux pour chaque unité. En se basant sur ces deux résultats, on dira que :

- Pour la chambre froide, on prendra 36 modules pour deux (02) onduleurs de 5 kVA ;
- Pour l'unité de fabrication de glace, on prendra 28 modules pour deux (02) onduleurs de 5 kVA.

Nombre de string

Le nombre maximum de chaînes se calcule par la formule suivante :

$$N_{string} \leq \frac{I_{DC\ max\ ond}}{I_{SC\ mod}} \quad \longrightarrow \quad N_{string} \leq \frac{15}{8,58} \leq 1,74\ strings \quad [24]$$

Chaque onduleur dispose de deux (02) entrées (trackers MPP) et sur chaque tracker le nombre de chaîne MPP admissible est (01).

Tension au borne de chaque string

La tension au borne de chaque string peut être calculer par la formule suivante :

$$U_{MPPT_string} = U_{MPPT_modules} \times N_{modules_série} \quad [25]$$

$$U_{MPPT_string} = 37,3 \times 9$$

Avec $U_{MPPT_modules} = 335,7 \text{ V} \leq 550 \text{ V}$ pour la chambre froide

$$U_{MPPT_string} = 37,3 \times 7$$

Avec $U_{MPPT_modules} = 261,1 \text{ V} \leq 550 \text{ V}$ pour l'unité de fabrication de glace

Courant de court-circuit

Le courant de court-circuit se calcule comme suit :

$$I_{SC_string} = I_{SC_modules} \times N_{string/MPPT} \quad [26]$$

$$I_{SC_string} = 9,32 \times 1 = 9,93 \text{ A}$$

IV.7.9. Dimensionnement des équipements de protections

D'après l'extrait du guide UTE C15-712-1, les installations avec une seule chaîne n'ont pas besoins d'une protection contre le courant inverse.

Tableau 14 : Dimensionnement des dispositifs de protection des modules PV (Extrait du guide UTE C15-712-1)

Nc Nombre de chaîne du générateur PV	Np Nombre de chaîne par dispositif de protection	Courant inverse maximale dans une chaîne	Obligation de protection	In Courant assigné des dispositif de protection
1	-	-	NON	-
2	-	$I_{SC_{max}}$		-
$Nc \leq Nc_{max}$	-	$I_{SC_{max}}(Nc-1)$		-
$Nc > Nc_{max}$	1	$I_{SC_{max}}(Nc-1)$	OUI	$1,1 \leq I_n \leq I_{RM}$
	$Np > 1$	$I_{SC_{max}}(Nc-1)$		$1,1 * I_{SC_{max}} * Np \leq I_n \leq I_{RM} - (Np-1) * I_{SC_{max}}$

IV.7.9.1. Equipements du coffret CC et AC

La protection contre les surtensions d'origine atmosphériques au niveau du générateur est assurée par le **parafoudre CC**. Le **Tableau 15**, issu du guide UTE C15-712, offre la possibilité d'opérer un discernement quant à la sélection des dispositifs de protection en courant continu (CC) ainsi qu'en courant alternatif (AC), en tenant compte du niveau kéraunique (Nk) propre à l'emplacement géographique du local technique, conjugué aux spécificités inhérentes à l'installation.

Tableau 15 : Choix d'une mesure de protection par parafoudre ainsi que son type

Caractéristique de l'installation	Nk ≤ 25		Nk > 25	
	Côté DC	Côté AC	Côté DC	Côté AC
Bâtiment ou structure équipé d'un paratonnerre	Obligatoire Type 2	Obligatoire ⁽¹⁾ Type 1	Obligatoire Type 2	Obligatoire ⁽¹⁾ Type 1
Alimentation BT par une ligne Entièrement ou Partiellement aérienne	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2	Obligatoire Type 2 ⁽²⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine	Peu utile Type 2	Peu utile Type 2	Recommandé Type 2	Recommandé Type 2

Selon les données cartographiques relatives au niveau kéraunique présentées ci-dessous, il est observé que la ville de Fada Ngourma est située dans une zone où le niveau kéraunique dépasse largement le seuil de 25. Par conséquent, il est préconisé d'utiliser un parafoudre de type 2 pour le courant continu (CC), et il est impératif de se conformer aux dispositions du tableau précité en installant un parafoudre de type 2 pour le courant alternatif (AC).

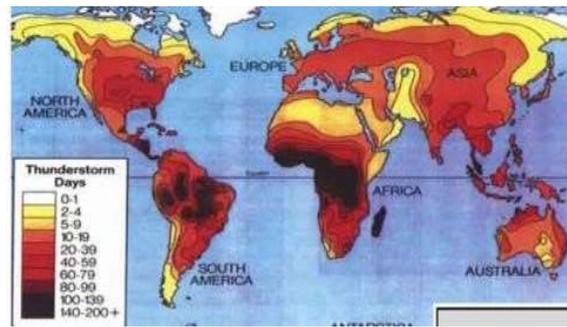


Figure 17 : Cartographie du niveau kéraunique en nombre de jours (extrait du cours sur les systèmes PV connectés réseau, Dr. Ing. Alain K. TOSSA, Institut 2iE, 2022/2023)

Sélection des parafoudres DC coté générateur PV

Le paramètre essentiel à déterminer pour le parafoudre est le courant de décharge minimum I_n . À cette fin, nous nous conformerons aux directives énoncées dans le guide UTE C15-712 en entreprenant l'évaluation du niveau d'exposition aux surtensions PV :

$$F_{PV} = Nk \times (1 + \varphi + \delta) \quad [27]$$

Nk : est le niveau kéraunique local (pris égale à 160 pour le burkina)

Tableau 16 : Valeur de φ selon le résultat du tableau (extrait du guide UTE C15-712)

Résultat du tableau	Obligatoire	Recommandé	Peu utile
φ	2	1	0

Tableau 17 : Valeurs de δ selon la situation de la ligne aérienne (BT), du bâtiment ou du champ PV

Situation de la ligne aérienne (BT), du bâtiment ou du champ de modules PV	Complètement entouré de structures	Quelques structures à proximité ou inconnues	Terrain plat ou découvert	Sur une crête, présence de plan d'eau, site montagneux
Δ	0	0,5	0,75	1

Tableau 18 : Choix de I_n en fonction de F_{PV} (extrait du guide UTE C15-712-2,)

Estimation du risque F_{PV}	I_n (kA)
$F_{PV} \leq 40$	5
$40 < F_{PV} \leq 80$	10
$F_{PV} > 80$	20

- **Pour la chambre froide**

Pour le parafoudre DC on aura :

$$F_{PV} = 160 \times (1 + 1 + 0,5) = 400, \text{ ainsi } I_n = 20kA ;$$

Pour le parafoudre AC on aura :

$$F_{PV} = 160 \times (1 + 2 + 0,5) = 560, \text{ ainsi } I_n = 20kA ;$$

- **Pour la fabrication de glace**

Pour le parafoudre CC on aura :

$$F_{PV} = 160 \times (1 + 1 + 0,5) = 400, \text{ ainsi } I_n = 20kA ;$$

Pour le parafoudre AC on aura :

$$F_{PV} = 160 \times (1 + 2 + 0,5) = 560, \text{ ainsi } I_n = 20kA ;$$

Il nous incombe ensuite de définir la tension maximale U_{cmax} ou U_{cpv} de fonctionnement aux bornes du parafoudre CC, laquelle dépend de la tension maximale à vide U_{ocSTC} du générateur photovoltaïque. Cette valeur doit excéder 1,2 fois la tension à vide U_{ocSTC} du générateur photovoltaïque.

$$\text{On a donc } U_{cmax} \geq 1,2 \times U_{ocSTC} = 1,2 \times 1000 = 1200V \text{ ainsi, } U_{cmax} = 1,2kV$$

Ensuite, la tension U_p du niveau de protection du parafoudre CC, sera pris inférieur à la valeur de la catégorie de surtension (valeur de la tension assignée de tenue aux chocs U_w) du matériel à protéger.

Tableau 19 : Tension assignée de tenue aux chocs U_w (extrait du guide UTE C15-712-2)

Tension maximale système inférieure ou égale à [V]	U_w [V]		
	Module PV ^{a)}	Onduleur ^{b)}	Autres équipements ^{c)}
100	1500	2500 (exigences minimales)	1500
150	2500		2500
300	4000		4000
600	6000	4000	6000
1000	8000	6000	8000

Pour le générateur PV nous aurons : $U_p \leq 80\% U_w$ de $U_w=8000V$, soit $U_p=6,4kV$ pour les deux unités ;

Pour le Convertisseur CC nous aurons : $U_p \leq 4,8kV$ avec $U_w=6000V$

Tableau 20 : Caractéristiques des appareils de protections contre les surtensions d'origine atmosphérique issues du dimensionnement

Désignation	Caractéristiques Calculées	Caractéristiques commerciales
Parafoudre DC Générateur PV	$I_n=20kA$; $U_{cpv}=1,2kV$; $U_p \leq 6,4kV$; Type 2	$U_{cpv}=1,2kV(dc)$; $I_n=15kA$ (onde 8/20); $I_{max}=40kA$ (onde 8/20); $U_p=3,5/6kV$; fabricant: CITEL; Réf: DS50VGPV-1000G/51, type 2, 2P
Parafoudre AC Onduleur chargeur	$I_n=20kA$; $U_c=300V$; $U_t=333,5V$; $U_p \leq 4,8kV$; Type 2	$I_n=20kA$; $U_c=275V(ac)$; $U_t=335/440V(ac)$; $I_{max}=50kA$; $U_p=1,5kV$; fabricant: CITEL; Réf: DAC50VG-20-275, Type 2, 2P Autre option: fabricant BENY, Type 2, 2P, $I_n=20kA$; $U_c=385V$; $I_{max}=40kA$; $U_p=1,8kV$; Réf: BAU-40.

Le disjoncteur DC est un dispositif qui assure la protection contre les surintensités et la mise hors circuit du générateur PV lors d'une intervention.

- Pour la chambre froide $I_{scmax} = 9,93 \text{ A}$, donc on prendra un disjoncteur de calibre **16A**.
- Pour la fabrication de glace $I_{scmax} = 9,93 \text{ A}$, donc on prendra un disjoncteur DC de calibre **16A**.

Le **disjoncteur AC** est un dispositif qui assure la protection contre les surintensités coté AC. Pour ce faire nous allons calculer le courant d'emploi I_b .

- Pour la chambre froide $I_b = \frac{P_{ab}}{U_{sortie} \times \cos\phi} = \frac{3\,633}{230 \times 0,8} = 19,75 \text{ A}$ donc on prendra un disjoncteur AC de calibre **25 A**.
- Pour la fabrication de glace $I_b = \frac{P_{ab}}{U_{sortie} \times \cos\phi} = \frac{3\,800}{230 \times 0,8} = 20,65 \text{ A}$, donc on prendra un disjoncteur AC de calibre **25 A**.

Remarque : Les disjoncteurs de courbes C sont destinés à protéger les prises électriques, les appareils électroménagers ainsi que les circuits d'éclairage. Ils sont également capables de supporter une surintensité au démarrage des appareils équipés d'un moteur (de 5 à 10 fois le courant nominal) (*Source : Fabricant Legrand*). Par conséquent, nous préconisons l'utilisation de dispositifs de courbe C, car ils répondent ainsi aux besoins de la grande majorité des cas.

IV.7.10. Calcul des sections des câbles

IV.7.10.1. Section des câbles du générateur PV à l'ondeur des deux unités

Il impliquera tout d'abord le calcul du courant admissible I_z du câble principal du générateur photovoltaïque, en prenant en considération les divers facteurs de correction tels que le mode de pose et la température, comme spécifiés par les exigences de la norme NF C15-100. Ce courant peut être déterminé comme suit :

$$I_z = I_z / k \geq 1,25 \times I_{scSTC \text{générateur PV}} \text{ où } I_{scSTC \text{générateur PV}} = N_c \times I_{scSTC} \quad [28]$$

- N_c : nombre de chaînes en parallèle ;
- I_{scSTC} : Courant de court-circuit du module PV dans les conditions STC ;
- I_z : Courant admissible du câble principale PV ;
- $k = k_1 \times k_2 \times k_3 = 0,9 \times 0,96 \times 0,80 = 0,6912$: coefficient de correction

- $I_{scSTC_générateur\ PV}$: Courant totale de l'ensemble des chaînes de module en parallèle du générateur PV.

Les tableaux 52C et 52G de la norme UTE NFC 15-100 définissent le mode de pose des câbles et la méthode de sélection. Ils indiquent que ($k_1 = 0,9$) pour 4A B. Les tableaux 52K et 52N fournissent les coefficients de correction pour les câbles exposés à l'air libre et en regroupement. Pour un isolant de type PR et une température de 35°C , ($k_2 = 0,96$) et ($k_3 = 0,80$) pour 02 câbles mono conducteurs groupés.

$$I_z = \geq (1,25 \times 1 \times 9,93) / 0,6912 = 12,4125 \text{ A}$$

Après consultation du tableau 52H (*Annexe B4*) de la norme NFC 15-100, qui présente les courants admissibles dans les canalisations pour les méthodes de référence B, C, E et F, il est conclu qu'une section de $1,5 \text{ mm}^2$ est appropriée pour le câble principal du générateur photovoltaïque. Cependant, on prendra une section $2,5 \text{ mm}^2$ avec une chute de tension $U = 0,53 \leq 1\%$.

IV.6.10.2. Section des câbles de l'onduleur-batterie de la chambre froide

Le calcul de section du câble onduleur-batterie est donné par :

$$S = \frac{2 \times \rho \times L \times P_{app}}{U_{syst}^2 \times \Delta U} \quad [29]$$

$$S = \frac{2 \times 0,023 \times 2 \times 3\ 633}{48^2 \times 0,01} = 14,51 \text{ mm}^2$$

- ρ : la résistivité du matériau conducteur (cuivre ou aluminium) dans les conditions de température d'exploitation : $0,023 \ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre et $0,037 \ \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (soit 1,25 fois la résistivité à 20°C) ;
- L : la longueur du câble de liaison parc de batterie et régulateur (m) ;
- I_{mpSTC} : le courant circulant dans le câble (A) ;
- U_{syst} : la tension de la batterie (V) ;
- ΔU : la chute de tension maximale admissible pour un fonctionnement optimal du parc batterie (1%) ;
- P_{app} : la puissance absorbée par l'installation à alimenter (W).

Il nous incombe donc de sélectionner une section normalisée, supérieure à celle calculée. Selon le tableau des sections, la section appropriée pour ce câble est de $19,3 \text{ mm}^2$. Cependant, compte tenu des pics de

puissance pouvant atteindre 11 574 W, équivalant à un courant de **241,125 A** (soit 11 574 W / 48 V), nous recommandons l'utilisation d'un câble de section **70 mm²**. Cette section de **70 mm²** permet de supporter un courant admissible d'environ 306 A, sous une température ambiante de 70°C et une température maximale à l'âme de 120°C. (*Voir annexe B5*).

IV.6.10.3. Section des câbles de l'onduleur-distribution pour les deux unités

Nous avons les courants d'emploi suivant :

- **Pour la chambre froide $I_b = 26,27$ A**
- **Pour la fabrication de glace $I_b = 23,59$ A.**

Déterminons le courant admissible :

- **Pour la chambre froide $I_z = 25/0,6912 = 36,17$ A**
- **Pour la fabrication de glace $I_z = 25/ 0,6912=36,17$ A**

Après consultation du tableau 52H (*Annexe B4*) de la norme NFC 15-100, qui présente les courants admissibles dans les canalisations pour les méthodes de référence B, C, E et F, il est conclu qu'une section de **6 mm²** (PR3) est appropriée pour le câble de l'alimentation des équipements électriques. Avec une chute de tension de moins de **1%**.

IV.7.11. Dimensionnement de l'inverseur de source

L'inverseur de source représente un dispositif électrique capable de commuter entre différentes sources d'alimentation au sein d'une même installation, garantissant ainsi la continuité du service sur une source de secours telle qu'un groupe électrogène, un système photovoltaïque autonome ou un dispositif de stockage. Il peut être actionné manuellement (à l'aide d'un bouton tournant ou d'une manette), automatiquement (par des moyens motorisés ou programmés) ou à distance (par commande électronique et/ou télécommande). Le dimensionnement de cet équipement repose principalement sur les critères suivants :

- La tension de service (230V/50Hz en monophasé ou 230/400V, 50Hz en triphasé) ;
- Le courant d'emploi (celui absorbé par l'ensemble des récepteurs) ;
- Le nombre de sources disponibles (le réseau électrique national principal ainsi que les sources de secours) ;

- Le mode de commande (manuelle, automatique ou à distance) ;
- La technologie utilisée (filaire, programmable ou intégrée/compacte).

Dans notre cas, la source principale est monophasée (réseau national Solaire Photovoltaïque) et la source secondaire est la SONABEL fournissant une alimentation monophasée à courant alternatif à 50Hz (sortie onduleur chargeur). La commande sera automatique avec une option de commande manuelle en cas de besoin. La technologie choisie est de type compact (tout-en-un) ou ATS (Automatic Transfer Switch), en raison de sa disponibilité sur le marché à un coût abordable, de sa facilité d'installation, de son encombrement réduit, de ses performances fiables et de sa fonction auxiliaire de protection contre les courts-circuits et les surcharges, ainsi que de sa capacité à être commandée manuellement si nécessaire. Ayant précédemment calculé le courant d'emploi de l'installation à 22,7A, nous choisirons un inverseur de source capable de supporter une valeur de courant supérieure à I_B . Les caractéristiques de l'inverseur de source sélectionné sont les suivantes :

Tableau 21 : Caractéristiques de choix de l'inverseur de source automatique issues des calculs

Nombre de pôles/ Normes	2P/IEC 60947-1
Courant nominal de fonctionnement	10~63A
Tension nominale de fonctionnement	AC 400V
Contrôleur de tension intelligent	AC 230V
Pouvoir de coupure (I_{cu})	3kA
Tension nominale d'isolation	AC 500V
Fréquence	50/60Hz

IV.7.12. Schéma électriques de l'installation PV

Les schémas électriques de l'installation solaire se trouvent aux annexes B7, B8 ; B9 et B10.

V. ESTIMATION DU COUT DU PROJET

Nous nous attarderons ici à estimer le coût sur une portion limitée du projet, spécifiquement sur la partie sur laquelle nous avons focalisé nos efforts, étant donné qu'une étude économique approfondie nécessiterait un accès à des informations supplémentaires auxquelles nous n'avons pas eu l'opportunité d'accéder au cours de ce stage. Le coût associé à cette partie du projet se répartit en trois catégories principales :

- Le coût relatif aux équipements frigorifiques ;
- Les coûts liés aux équipements solaires photovoltaïques ;
- Le coût associé à la main-d'œuvre nécessaire pour l'installation des équipements solaires et frigorifiques.

Tableau 22 : Coût relatif aux équipements frigorifiques

Désignation	Référence	Quantité	Unité	Prix unitaire en FCF	Prix total en FCF
Groupe de condensation CF	OP-MPXM057ML P00 G	1	U	5 000 000	5 000 000
Groupe de condensation UFG	SILFH 2580P-XC	2	U	2 500 000	5 000 000
Electrovanne CF	EVU5	1	U	75 000	75 000
Electrovanne UFG	EVU5	2	ens	75 000	150 000
Evaporateur CF	TA	1	U	80 000	80 000
Detendeur UFG	TU-9	2	U	250 000	500 000
Déhydrateur CF	DC 40163	1	U	300 000	300 000
Conduite aspiration 1/2" CF	-----	10	m	1 000	10 000
Conduite liquide 3/4" CF	-----	10	m	1 000	10 000
Conduite aspiration 5/8" UFG	-----	10	m	1 000	10 000
Conduite évaporateur 1/2" UFG	-----	225	m	1 000	225 000
Tôle aluminium de 2mm	-----	2	U	50 000	100 000
Déhydrateur UFG	DMC 2033	1	U	70 000	70 000
Montant TOTAL HTVA					11 530 000
TVA 18%					2 075 400
Montant TOTAL TTC					13 605 400

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Tableau 23 : Coût lié aux équipements solaires photovoltaïques

Désignation	Référence	Quantité	Unité	Prix unitaire en FCFA	Prix total en FCFA
Batterie felicity solar	LFBF 48250-S	1	U	200 000	200 000
Onduleur felicity solar	IVGM 5048	4	U	576 000	2 304 000
Module PV mono	GBR320P	64	U	150 000	9 600 000
Support de module solaire	----	2	ens	900 000	1 800 000
Coffret DC	----	2	U	150 000	300 000
Coffret AC	----	2	U	150 000	300 000
Support batterie	----	1	U	40 000	40 000
Locale technique	----	2	U	500 000	1 000 000
Maintenance	----	2	U	200 000	400 000
Main d'œuvre	----	2	U	750 000	1 500 000
Câble du champ PV à l'onduleur	Section : 2×2,5 mm ² Cuivre souple	25	m	5 000	125 000
Câble onduleur à la batterie	Section : 2×70 mm ² Cuivre	20	m	3 084	61 680
Câble onduleur à la distribution	Section 2×1×6 mm ²	50	m	1 500	75 000
Câble jaune-vert liaison terre	Section : 1×6 mm ² de terre	70	m	2 000	140 000
Montant TOTAL HTVA					17 845 680
TVA 18%					3 212 222
Montant TOTAL TTC					21 057 902

Tableau 24 : Coût associé à la main-d'œuvre nécessaire pour l'installation des équipements solaires et frigorifiques.

Désignation	Nombres de personnes	Nombre d'heures de travail	Prix en FCFA/heure	Prix total en FCFA
Chef de mission	1	160	15 000	2 400 000
Chef de chantier	1	160	8 000	1 280 000
Chef d'équipe électricité	1	80	7 000	560 000
Chef d'équipe Froid,	1	80	7 000	560 000
Main d'œuvre	4	80	625	200 000
Imprévu	1	1	1 371 200	1 371 200
Montant TOTAL				6 371 200

En somme, nous pouvons dire que le coût estimatif de l'installation frigorifique et électrique est de **41 034 502 FCFA** ;

VI. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

La notice d'impact environnemental et social d'un projet revêt une importance capitale car elle permet de comprendre les interactions potentielles entre un projet et l'environnement ainsi que la société dans laquelle il se déploie. En effet, ces interactions peuvent être aussi bien positives que négatives. Par conséquent, en cas d'effets négatifs, il est impératif de proposer des solutions pour en minimiser l'impact. De plus, dans chaque pays, elle est régie par des lois juridiques et autres réglementations qui encadrent la manière dont nous devons traiter l'environnement. Par exemple, au Burkina Faso, la gestion de l'environnement et de la société est conduite par :

- La politique ;
- Les lois juridiques ;
- Les institutions.

Le projet de construction de chambres froides et de l'unité de fabrication de glace à Fada N'Gourma, initié par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) sous l'appellation projet COLIBRI, a été conçu pour venir en aide aux habitants confrontés à la famine. Ce projet vise à :

- Installer des chambres froides pour améliorer la conservation des produits agricoles et réduire les pertes post-récolte.
- Mettre en place des unités de fabrication de glace pour permettre aux vendeuses de conserver les produits au frais pendant leur vente.

VI.1. DESCRIPTION DU PROCÉDE TECHNOLOGIQUE DU PROJET

La description des activités générateurs des incidences environnementales et sociales couvrent les travaux suivants :

Tableau 25 : Description des procédés technologiques du projet.

Tâches	Descriptions
Aménagement du site de la chambre froide et de l'unité de fabrication de glace	Il nécessite des opérations de nettoyage du site, la pose des fers ronds lisses du type Fe E 24 et les barres d'acier à haute adhérence seront du type Fe E40 ou Fe E50, coulage du béton avec un dosage à raison de 250 kg de ciment/m ³ d'agrégats, et ils sont comprimés et vibrés mécaniquement. La pose des carreaux anti-dérapants de 30x30cm.

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Construction de la chambre froide et de l'unité de fabrique de glace	La CF est isolé en mousse polyuréthane injecté 42/m ³ , résistance en compression de 39 kg/m ³ ; teinte en BLANC RAL 9010; support acier galvanisé, panneaux de 100 mm; finition laque polyester; L'UFG est fait des mêmes matériaux avec un épaisseur de 50 mm;
Pose de la chambre froide et de l'unité de fabrique de glace	Elles seront installées sur l'espace aménagé et prévu à les accueillir.
Construction de l'hangar	Dimensionnement de vérification à faire et apporter les réajustements nécessaires pour une meilleure résistance. Réduction de la résistance fournie la structure proposé dans les plans ne sera tolérée. Structure métallique en profilés fixé au sol avec une couverture constituées des panneaux solaires (angle d'inclinaison de 15°C) et les cheneaux d'évacuation des eaux pluviales (pente longitudinale minimum de 10 %) convenablement traité par une étanchéité en membrane imperméabilisant autoprotégée en bitume plastomère APP type irène ou en résine d'étanchéité de première qualité.
Installation des lampadaires solaires	Lithium ou NikeI-hydrure métallique (NiMH) ENDURANCE+TECHNOLOGY: pilotage et gestion des flux d'énergie permettant avec un rendement de 100%; la durée de vie est comprise entre 2000 à 4000 cycle; la profondeur de décharge est de 90 %;
Installation du générateur solaires photovoltaïques	Chaque unité est racordé au réseau national (SONABEL) et au générateur solaire photovoltaïque pour la CF, nous avons une puissance installé de 10 240 Wc et pour l'UFG 7680 Wc. Le générateur solaire est installé en toiture avec une inclinaison de 15°C. La pose des coffrets, des onduleurs, des câbles, des batteries. Alimentation monophasé 220 à 230V/ 6,8 A.

VI.2. ETENDUES DES TRAVAUX

L'étendue des travaux se résume au tour de (04) quatre phases que sont : la phase préparatoire, la phase de construction, la phase d'exploitation et la phase de fermeture. A chaque phase est associée des tâches suivie d'une description détaillée. Le **Tableau 26**, nous montre le travail réalisé.

Tableau 26 : Synthèse des principales activités du projet de construction de la CF et l'UFG à Fada Ngourma

Phases	Tâches	Descriptions
Préparation	Installation du chantier	<ul style="list-style-type: none"> - Recrutement de la main d'oeuvre et installation des employés sur site; - Nettoyage et délimitage du site; - Aménagement des accès, des aires de services et des sites d'entreposage des matériaux; - Acheminement du matériel; - Construction ou location de bâtiments de la base de vie
	Etudes techniques	- Lever topographique et autres études ;

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Construction	Travaux de génie civil	<ul style="list-style-type: none"> - Fouille; - Installation du chantier amené et rempli ; - Réalisation des fondations, érection des supports des chambres froides ainsi que pour les lampadaires et autres; <li style="text-align: right;">-Rémise en état du site de carrière;
	Travaux de menuiseries métalliques et peintures	<ul style="list-style-type: none"> -La fourniture et la pose des profilés métalliques, des serrures, paumelles, pivots, garnitures, loqueteaux, visseries, etc.; - La réalisation de abris hangars pour les unités. Les éléments métalliques recevront de la peinture (antirouille et finition) et toutes suggestions - Réalisation du support des panneaux solaires ainsi des batteries; - Les travaux préparatoires tels que le ponçage, le dégraissage, le brossage, etc. - L'exécution des surfaces témoins suivant les teintes choisies par le Maître d'Ouvrage; - La fourniture et l'application de tous les produits; - Les raccordements de peinture; - Le nettoyage des locaux ainsi que les ouvrages ayant été salis au cours de l'exécution des travaux de peinture;
	Montage et installation des équipements	<ul style="list-style-type: none"> -Installation de la chambre froide et de l'unité de fabrique de glace; - Installation des équipements frigorifiques ; - Installation du générateur solaire;
	Essais et mise en service	<ul style="list-style-type: none"> - Raccordement des unités aux réseaux et au générateur PV; - Essai de mise en service; -Mise en service de la chambre froide et de l'unité de fabrique de glace; - Formation des utilisateurs ; - Gestion des déchets;
Exploitation et entretien	Exploitation et suivi quotidien	<ul style="list-style-type: none"> - Mesure en continu pour une exploitation optimisée ; - Vérification des paramètres d'exploitations de la CF et l'UFG ;
	Maintenance préventive	<ul style="list-style-type: none"> - Gestion des déchets (collecte, évacuation des déchets) ; - Remplacement des équipements défaillants; -Réparation des pannes électriques, frigorifiques... ;
	Mainténace curative	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement des équipements électriques ou frigorifiques; - Remplacement des onduleurs endommagés; -Réparation de toutes les défaillances ; - Gestion des déchets ;
Ferméture et réhabilitation	Ferméture et réhabilitation du site de la base de vie	<ul style="list-style-type: none"> - Désinstallation et évacuation des équipements du site; - Tri et évacuation des déchets; -Rémise en état du site et des zones d'emprunt (mesures CES/DRS plantation compensatoires) .
	Ferméture et réhabilitation du site à la fin du cycle de vie du projet.	<ul style="list-style-type: none"> - Mise hors service ; - Enlèvement des chambres froides ; -Démontage et évacuation des structures et matériels hors sol ; - Gestion des déchets;

VI.3. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET

Le **Tableau 27** illustre l'évaluation de l'impact potentiel des activités du projet sur l'environnement et la société ainsi que des mesures d'atténuations et bonifications mise en place pour amoindrir l'impact négatif de celles-ci.

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrication de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Tableau 27 : Evaluation des impacts significative du projet sur l'environnement et la société

Activité du projet	Impacts	Importance de l'impact	Mésure d'atténuation	Mésure de bonification
Installation du chantier et mobilisation du personnel technique	Création d'emploi et développement du commerce	Faible		A compétence égale, donner la priorité de la main d'œuvre locale.
	Diminution du couvert végétale	Faible	Planter pour compenser	
	Accident de circulation	Moyenne	Former et sensibiliser les conducteurs des bonnes pratiques de conduite. Mettre en place des panneaux de signalisation pour réguler la circulation	
	Polution de l'air du au rejet d'échappement	Faible	Maintenir en bon état le matériel roulant.	
	Nuisance sonore	Faible	Eviter les travaux bruyants lors des heures de repos.	
	Compactage du sol	Moyenne	Reduire le déplacement des engins lourds.	
	Encombrement de l'espace par de l'espace	Faible	Adopter une procédure d'enlèvement des déchets.	
Travaux du génie civil, de menuiseries métallique et peinture	Création d'emploi temporaires	Moyenne		Prioriser la compétence locale
	Accident du travail	Faible	Former et distribuer les EPI aux travailleurs et des mesures de protection collective. Elaborer et appliquer un Plan d'Hygiène Sécurité Santé et Environnement (PHSSE). Doter le chantier d'une boîte à pharmacie.	
	Nuisance sonores	Faible	Ne pas faire des travaux bruyant en temps de repos, Mettre en place un mécanisme de gestion des plaintes Entretien continu des équipements de travail	
	Polution du sol	Moyenne	Interdiction de jeter les objets à même le sol, Specification d'un air de lavage des betonières et de vidange. Mettre en place un mecanisme de gestion des déchets.	
	Polution de l'air	Faible	Adopter un système d'arrosage pour éviter la poussière	
	Augmontation de la prévalence des IST et MST/VIH SIDA	Moyenne	Sensibilisation de la population sur les risque de contamination	
Montage et installation des équipements	Accident de travail (blessure corporelle)	Faible	Exiger le port des EPI pour les travailleurs et des mesures de protection collective. Elaborer et appliquer un Plan d'Hygiène Sécurité Santé et Environnement (PHSSE). Doter le chantier d'une boîte à pharmacie.	
Essais et mise en service	Accident de travail (blessure corporelle); Dégât humain (electrocution) ;	Faible	Exiger le port des EPI pour les travailleurs et des mesures de protection collective. Elaborer et appliquer un Plan d'Hygiène Sécurité Santé et Environnement (PHSSE). Doter le chantier d'une boîte à phamacie.	
Exploitation et suivi quotidien	Génération de nouveaux emplois	Faible		Favoriser la distribution des glaces aux PME locales;
	Diminution des pertes post-récoltes	Moyenne		Permettre aux vendeuses d'avoir la possibilité de conserver des produits dans la chambre froide à des coût modérer
	Génération des revenus	Moyenne		Création de petite et moyenne entreprise (PME);
	Développement du marché local dans la région	Moyenne		Prévoir l'extension de la cahine du froid;
	Polution de l'air (due au fuite du fluide frigorigène)	Moyenne	Rechercher les fuites de fluide frigorigène sur les installations ; Maintenance continue;	

VII. CONCLUSION

Le projet d'installation de la chambre froide et de l'unité de production de glace, initié par le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), vise à remédier aux pertes post-récoltes des populations de la localité de Fada N'Gourma. Pour répondre efficacement à cette problématique, il est impératif que l'installation frigorifique soit performante en toutes saisons.

Nous avons abordé le travail par l'étude des techniques de conservation des fruits et légumes ce qui nous a permis de connaître la température et l'hygrométrie de conservation de la plupart d'entre eux. Elle nous a permis aussi de situer l'hygrométrie de **80 à 90 %** qui est la plage d'hygrométrie idéale pour la conservation des fruits et légumes sur une certaine durée.

Le dimensionnement de la chambre froide et de l'unité de fabrication de glace à débiter par l'évaluation du bilan thermique suivi du calcul de la puissance frigorifique des deux unités. Le calcul de la puissance frigorifique effectué nous donne pour la chambre froide **6,62 kW** et pour l'unité de production de glace **4,26 kW**. Sur la base de ces résultats, le choix des composants frigorifiques a été effectué notamment le groupe condenseur, l'évaporateur, le détendeur thermostatique, le déshydrateur et le thermostat.

Nous avons ensuite procédé au dimensionnement du générateur solaire photovoltaïque, après avoir quantifié la demande en énergie par le biais de l'inventaire des équipements électriques et de leur temps de fonctionnement. Les résultats des calculs ont montré que, pour assurer une alimentation électrique fiable, il est nécessaire d'installer **64** modules PV de **320 Wc**, 4 onduleurs hybrides de 5 kVA chacun possédant (**02**) deux entrées MPPT, et une batterie de **250 Ah/48V** prévue pour une autonomie de 2 heures en cas de délestage pour la chambre froide.

En fin, nous avons estimé le coût total de l'installation frigorifique et du générateur photovoltaïque ce qui nous revient à **41 034 502 XOF**. Cet investissement, bien que significatif, est justifié par les bénéfices attendus, d'amélioration de la qualité de vie des populations locales et de la promotion des pratiques énergétiques durables.

RECOMMANDATION

Pour garantir le succès durable de ce projet, il est impératif de mettre en place des mécanismes de suivi et d'évaluation rigoureux. Ces dispositifs permettront d'ajuster les systèmes en fonction des besoins évolutifs de la population et des avancées technologiques. La durabilité du projet sera également renforcée par une gestion efficace de la maintenance des installations techniques.

Par ailleurs, la sensibilisation et la formation des gestionnaires à l'utilisation optimale de ces nouvelles infrastructures sont essentielles pour assurer une appropriation réussie par la communauté.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **FAO.2018** « *Directives sur la mesure des pertes post-production* » [Internet]. [cité 6 mars 2024]. Sur: <https://www.fao.org/3/ca6396fr/ca6396fr.pdf>/ p. 139
- [2] **DGPER Ouaga 2000 le 28 JUILLET 2016**, «*TDR_atelier_de_validation_Rapport_étude_pertes_après_récolte_et_participants.pdf*» [Internet]. [cité 12 mars 2024]. Sur : https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/food-loss-reduction/CoP_French/TDR_atelier_de_validation_Rapport_%C3%A9tude_pertes_apr%C3%A8s_r%C3%A9colte_et_participants.pdf/ p.6
- [3] **Agriculture au Burkina Faso – ARFA**. *Site Officiel de l'association pour la Recherche et la Formation en Agro-écologie*. consulté le 7 mars 2024. Sur : <https://www.ongarfa.org/agriculture-au-burkina-faso/>
- [4] **ANNUAIRE STATISTIQUE DU CENTRE EST - Burkina Faso Open Data**, *Site Officiel du burkina faso portail des données*. Consulté le 6 mars 2024. Sur : <https://burkinafaso.opendataforafrica.org/fyjnzag/annuaire-statistique-du-centre-est>
- [5] **Compaore CMR, Sanogo O, Ouedraogo O**. « *Réalisation d'une chambre froide solaire photovoltaïque pour la conservation des produits agricoles : application au stockage des mangues*. 2018; » . p.95
- [6] **ANNUAIRE STATISTIQUE DU CENTRE EST - Burkina Faso Open Data** «*Taux de couverture des besoins céréaliers par province - Burkina Faso Open Data*», *Site Officiel du burkina faso portail des données*. Consulté le 14 mars 2024]. Sur : <https://burkinafaso.opendataforafrica.org/cxctgse/taux-de-couverture-des-besoins-c%C3%A9r%C3%A9alier-par-province>
- [7] **Deullin R, Dupaigne P**. « *Les travaux de l'ISO sur les fruits et les légumes. Technologie méthode d'essais*. » *Entreposage. Transport. Fruits*. 1 janv 1973;28(11):797-801.
- [9] **Bernard de Raymond A, Bonnaud L, Plessz M**. **Introduction** : « *Les fruits et légumes dans tous leurs états. La variabilité, la périssabilité et la saisonnalité au coeur des pratiques sociales. Revue d'Études en Agriculture et Environnement* ». 2013;94(1):3-12.

- [10] **Ulrich R, Marcellin P.** « *Traitements Des Fruits Et Des Légumes Après Récolte a L'aide D'atmosphères Spéciales. Annales de la nutrition et de l'alimentation.* » 1968;22:13-74.
- [11] **MEDJOU DJ Hacène** « *etude du comportement au sechage de six legumes : carotte, courgette, cardon, pomme de terre, ail et oignon* » . Consulté le 17 mars 2024]. Sur: <http://archives.umc.edu.dz/bitstream/handle/123456789/10000/BAO5248.pdf?sequence=1>
- [12] **ITAB Lab, association pour la recherche et l'innovation Bio,** « *Fruits & Légumes biologiques* » . Consulté le 20 mars 2024. Sur: <https://www.itab.asso.fr/downloads/jt-fl-2018/2018-actes-jtfl.pdf>
- [13] **Robert M. OUEDRAOGO , COMPAORE Mathurin et KABORE K. Blaise ;** « *rapport national sur l'état des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture*» .Consulté le 21 mars 2024]. Sur : <https://www.fao.org/3/i1500e/Burkina%20Faso.pdf>
- [14] Editor 1. HVAC/R & Solar. 2022 [cité 22 mars 2024]. *Site Officiel* de Coolpack Software Download. Sur : <https://hvac-eng.com/coolpack-software-download/>
- [15] « *Circuits de réfrigération - Logiciel gratuit de conception Coolselector®2*» . *Site Officiel* de Danfoss [Internet]. [cité 22 mars 2024]. Sur: <https://www.danfoss.com/fr-fr/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/>
- [16] « *Bilan frigorifique d'une chambre froide – Site Officiel d'Energie Plus,* Consulté le 21 avr 2024]. Sur : <https://energieplus-lesite.be/ameliorer/froid-alimentaire2/bilan-energetique-meuble-chambre-froide/bilan-frigorifique-d-une-chambre-froide/>
- [17] **MARAI_Chapitre_21Récoltepostrécolte.pdf** [En ligne]. [Consulté le 17 mai 2024]. Sur : https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/MARAI_Chapitre_21R%C3%A9colteposttr%C3%A9colte.pdf
- [18] Dimensionnement des câbles photovoltaïques [En ligne]. [Consulté le 17 mai 2024]. Sur : http://www.photovoltaique.guidenr.fr/informations_techniques/dimensionnement-photovoltaïque-autonome/dimensionnement-cables-photovoltaïques.php
- [19] Les tubes cuivre utilisés en climatisation ! [En ligne]. [Consulté 17 mai 2024]. Sur : <https://www.abcclim.net/les-tubes-en-climatisation.html>

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrication de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

- [20] Logiciel tableur en ligne gratuit : Excel | Microsoft 365 [En ligne]. [Consulté le 8 mars 2024]. Sur: <https://www.microsoft.com/fr-fr/microsoft-365/excel>
- [21] TSélection - *Site Officiel* de Tecumseh Consulté le 17 mai 2024. [En ligne]. Sur : <https://tselect.tecumseh.com/SILFH2480P-XC>
- [22] IVGM5048UserGuide.pdf [En ligne]. [Consulté le 17 mai 2024]. Sur : https://www.felicitysolar.com/u_file/2311/16/file/IVGM5048UserGuide.pdf
- [23] sk32030202_electrical_eu_fr.pdf [En ligne]. [Consulté le 17 mai 2024]. Sur : https://tecumsehdrawings.blob.core.windows.net/drawings/sk32030202_electrical_eu_fr.pdf
- [25] EES_Module4.V2020.pdf [En ligne]. [Consulté le 17 mai 2024]. Sur : https://www.objectif2030.org/media/modules_pdf/EES_Module4.V2020.pdf
- [26] Robert THERVILLE, «*ABC du froid*», Editeur: PYClivres; 3eme Edition p.560

ANNEXES

Annexe A1: Densité d'entrepôts de quelques produits (extrait du PFE de Dialigui SENE, portant sur la conception d'une chambre froide alimentée par un générateur solaire, Annexe A.III.4 3)

Produits	Densité d'entreposage en (kg/m ³)	Conditionnement
Bananes	300	en caisse
Fruits exotiques	350	en caisse
Citrons	350	en caisse
Pomme de terre	400	en sac
Haricots	600	en sac
Oignons	450	en sac
Pomme	350	en caisse
Carottes	420	en caisse
Légumes	420	en caisse

Annexe A2 : Coefficient d'occupation du sol d'une chambre froide en fonction du types d'entreposage des marchandises (extrait du PFE de Dialigui SENE, portant sur la conception d'une chambre froide alimentée par un générateur solaire, Annexe A.III.5)

Types d'entreposage	n_0
Entrepôt de marchandises réfrigérées palettisées à faible rotation	0,65.....0,70
Entrepôt de marchandises réfrigérées palettisées à rotation rapide	0,45.....0,50
Entrepôt de marchandises congelées palettisées à faible rotation	0,75.....0,80
Entrepôt de marchandises congelées palettisées à rotation rapide	0,50.....0,60

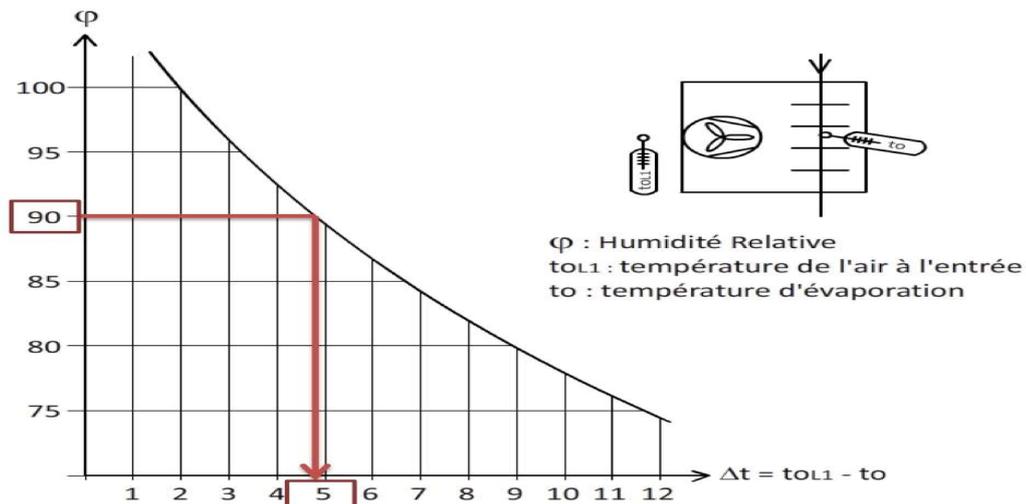
Annexe A3: Coefficient de transmission thermique K d'une paroi type sandwich composée d'une âme en mousse rigide de polyuréthane et de deux revêtement métalliques, (extrait du PFE de Dialigui SENE, portant sur la conception d'une chambre froide alimentée par un générateur solaire , Annexe A.III.6)

Épaisseur d'isolant en (mm)	Coefficient K(W/m ² K)	Ecart de température conseillé (°C)	Utilisation jusqu'à environ (°C)
50	0,39	20	-4
75	0,26	34	-10
100	0,19	45	-20
125	0,15	56	-30
150	0,13	70	-45

Annexe A4 : Valeur du renouvellement d'air en fonction du volume V de la chambre froide, (extrait du PFE de Dialigui SENE, portant sur la conception d'une chambre froide alimenté par un générateur solaire , Annexe A.III.6)

Volume de la CF en (m3)	R		Volume de la CF en (m3)	R		Volume de la CF en (m3)	R	
	+	-		+	-		+	-
2,5	70	52	20	22	16,5	100	3,2	2,5
3	63	47	25	19,5	14,5	150	2,8	2,1
4	53	40	30	17,5	13	200	2,4	1,9
5	47	35	40	15	11,5	250	1,95	1,5
7,5	38	28	50	13	10	300	1,65	1,3
10	32	24	60	12	9	400	1,45	1,1
15	26	19	80	10	7,7	500	1,3	1,05

Annexe A5: Choix de l'hygrométrie de la chambre froide ΔT, (Source: ABC du froid page 246)



Annexe A6 : Détermination de la température de condensation (Source: ABC du froid page 408)

Désignation	Formules	Application	Resultat
Chambre froide	$T_c = \frac{T_{amb} + T_s}{2} + 9$	$T_c = \frac{40 + 48}{2} + 9$	53°C
Unité de condensation	$T_c = \frac{T_{amb} + T_s}{2} + 8$	$T_c = \frac{40 + 44}{2} + 8$	50°C
Données	$T_{ambiante}$ (°C)	T_{sortie_air} (°C)	$T_{de_majoration}$ (°C)
	40	$T_s = T_{amb} + 3 \text{ à } 10$	Compris entre 8 et 10 °C

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrication de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Annexes A7: Détail des calcul des apports thermiques dus au renouvellement d'air,

N°	Formules	Application numérique			Résultats		Observation
1	$Q_{re} = \frac{R \cdot V_{cf} \cdot (h_{ext} - h_{int})}{v_g}$	$Q_{re} = \frac{15 \times 35 \times (108,96 - 11,85)}{0,94270863}$			53 818		en kJ
2	Paramètres	Patm (Pa)	vg	Pv (Pa)	φ	Pvs (Pa)	
	Température ext. 39°C	101300	0,9427	3709,311	0,53	6998,7	
	Température int. 2°C	101300	0,7855	635,4	0,9	706	
3	$\Gamma = 0,622 \times \frac{P_v}{P - P_v}$	$\Gamma_i = 0,622 \times \frac{635,4}{101300 - 635,4}$			intérieur	extérieur	kgEAU/kgAS
					0,0039261	0,0236415	
4	$h = (1,005 + 1,884\Gamma)\theta + 2502,3\Gamma$	$h_e = (1,005 + 1,884 \times 0,0182)47 + 2502,3 \times 0,0182$			intérieur	extérieur	kJ/kgAS
					11,85	108,49	
5	$v_g = 462 \times (0,622 + \Gamma) \times \frac{T}{P}$	$v_g = 462 \times (0,622 + 0,0182) \times \frac{320,15}{101300}$			intérieur	extérieur	m³/kgAS
					0,785461866	0,94270863	
6	$P_v = \varphi \cdot P_{vs}$	$P_v = 0,53 \times 6998,7$ et $P_v = 0,90 \times 706$			intérieur	extérieur	Pa
					635,4	3709,311	

Annexe A8 Les caractéristiques et les performances du groupe de condensation chambre froide, Source : Guide d'installation du groupe condenseur (OP-MPXM057MLP00G)

Description du groupe condenseur (OP-MPXM057MLP00G)					
Spécifications Techniques	Phase	1	Connexion mécanique	Conduite aspiration	1/2"
	code électrique	G		Conduite liquide	3/4"
	Alimentation du compresseur	230 V	Dimensions	Longueur	430
	Fréquence	50 Hz		Profondeur	1055
	Alimentation du ventilateur	230/1/50		Hauteur totale	813
	Plage de tension	220 à 230V		Diamètre du ventilateur	450
	Courant du ventilateur	0,48 A	Spécification référentielle	Fluide frigorigène	R452A
	MCC	26A		Version	P00
	RLA	16,7A		Application	MBP
	Débit d'air	3300 m3/h		Type de condenseur	D7
	Volume du reservoir	3,4 L		Type de raccord	à souder
	Volume interne condenseur	0,58 L		Puissance sonore	70 dB

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrique de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

Annexe A9 Les caractéristiques et les performances du groupe de condensation unité de fabrique de glace, Source : Guide d'installation du groupe condenseur de Tecumseh (SILFH2480P-XC)



SILFH2480P-XC
200-240V 1~

Tecumseh Europe - Headquarter
Tel: +33 (0) 4 74 82 24 00
www.tecumseh.com

Selection program

Operating conditions : EN13215

Application : LBP
Refrigerant : R452A
Frequency : 50HZ
Voltage : 200-240V 1~

Return gas temp. : 68.0 °F
Superheat : -
Subcooling : 5.40 °F
Liquid : -

Evaporating	-4.00 °F
Ambient	104 °F
Refrig. Capacity	2421 Watt
Power Input	1715 Watt
Amps	8.33 A
C.O.P	1.41 (Watt/W)
Mass flow	72.8 Kg/h
Condensing	120 °F

Ambient	Evap (°F)	-40	-30	-20	-10	0	10
75	Refrig. Capacity (Watt)	1075	1577	2178	2878	3678	4576
	Power Input (Watt)	926	1091	1261	1458	1705	2020
	Amps (A)	4.75	5.45	6.23	7.15	8.27	9.64
	Tc (Watt)	79.8	82.3	85.4	88.9	92.9	97.4
90	Refrig. Capacity (Watt)	804	1265	1810	2441	3160	3965
	Power Input (Watt)	886	1093	1295	1516	1778	2103
	Amps (A)	4.56	5.46	6.39	7.43	8.63	10.1
	Tc (Watt)	93.3	95.8	98.7	102	106	110
110	Refrig. Capacity (Watt)	461	868	1338	1878	2490	3176
	Power Input (Watt)	734	1018	1282	1553	1853	2206
	Amps (A)	3.92	5.13	6.32	7.57	8.94	10.5
	Tc (Watt)	111	114	116	120	123	128

Annexe A10 : Dimensions et sections normalisées des conduites ; extrait du PFE de Dialigui SENE, portant sur la conception d'une chambre froide alimenté par un générateur solaire, page 75

d_e en pouces	$d_i \times d_e$ (mm)	A_{inorm} (m ²)	Mase au mètre (kg/m)
1/4''	5.08x6.35	0.20268310 ⁻⁴	0.101
3/8''	8.00x9.525	0.50265510 ⁻⁴	0.187
1/2''	10.92x12.700	0.9365610 ⁻⁴	0.295
5/8''	13.84x15.875	1.5043910 ⁻⁴	0.424
3/4''	16.92x19.05	2.2484910 ⁻⁴	0.538
7/8''	19.94x22.225	3.1227710 ⁻⁴	0.677
1 1/8''	26.03x28.575	5.3215510 ⁻⁴	0.975
1 3/8''	32.13x34.925	8.107955	1.315

Annexe A11 : Méthode sélection de l'évaporateur en fonction du fabricant

Coefficients de sélection

FRIGA-BO

Conditions standard

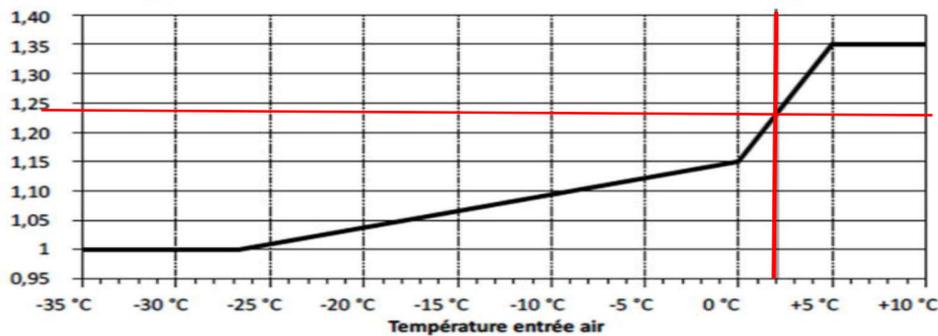
Conditions standard	tA1 Temp. entrée air	te Temp. évaporation	DT1 standard
SC 1	+10 °C	0 °C	10
SC 2	0 °C	- 8 °C	8
SC 3	-18 °C	-25 °C	7
SC 4	-25 °C	-31 °C	6
SC 5	-34 °C	-40 °C	6

Coefficient d'hygrométrie

Conditions standard	Humidité relative %	Puis. nominale / Puis. standard
SC 1	85	1,35
SC 2	85	1,15
SC 3	95	1,05
SC 4	95	1,01

Coefficient d'hygrométrie

+2 °C Exemple



Coefficient de correction de DT1

Pour des fluides à faible glide (inférieur à 1K), ou sans glide, il est admis que la puissance est directement proportionnelle à la différence entre la température d'entrée d'air et la température d'évaporation (DT1) c'est à dire : Puissance souhaitée = Puissance nominale x DT1 souhaité/DT1 standard.

Coefficient fluide frigorigène

Fluide frigorigène	R 404A/R 507	R 22	R 134a
SC 1	1	0,95	0,93
SC 2	1	0,95	0,91
SC 3	1	0,95	0,85
SC 4	1	0,95	-

Coefficient matériau de l'ailette

Ailette aluminium	Ailette aluminium protégé	Ailette cuivre
1	0,97	1,03

Exemple

Soit :
 Puissance souhaitée **Q = 6000 W**
 Température entrée d'air **tA1 = +2 °C**
 Température d'évaporation **te = -8 °C**
 Fluide frigorigène **R 22**
 Batterie avec ailettes protégées
 d'où : **DT1 = tA1 - te = (+2)-(-8) = 10K**

Pour sélectionner dans les conditions standard, il convient d'appliquer les coefficients de correction suivant :

- coefficient d'hygrométrie **1,15/1,23 = 0,935**
- coefficient de correction de DT1 **8/10 = 0,8**
- coefficient fluide frigorigène **1/0,95 = 1,05**
- coefficient matériau de l'ailette **1/0,97 = 1,03**

Exprimée dans les conditions standard données, la puissance souhaitée de 6000 W devient :

6000 x 0,935 x 0,8 x 1,05 x 1,03 = 4854 W

On sélectionne donc un **MUC 420 R**.

Annexe B1: Fiche technique des panneaux solaires (GBR320P)

Désignation	Valeurs
Type de cellule	Polycristallin
Puissance maximale	320 Wc
Tension à puissance maximale	37,3V
Tension en circuit ouvert (V_{oc})	45,79 V
Courant de court-circuit (I_{sc})	9,93 A
Courant à puissance maximale	8,58 A
Coefficient de température de P_{max}	-0,43 %/°C
Coefficient de température de cov	-0,34 %/°C

Annexe B2: Fiche technique des onduleurs hybride IVGM 5048

Appendix

Model	IVGM4648	IVGM5048
Battery Input Data		
Battery Voltage Range	40V~60V	
Max. charging and discharging current	100A/100A	
Max. charging and discharging power	4600W	5000W
Battery type	Li-Ion /Lead-acid	
DC Input Data (PV side)		
Max. recommended PV power	6000W	6500W
Max. PV voltage	550V	
Start voltage	130V	
PV voltage range	90V~550V	
MPPT voltage range	100V~500V	
MPPT Voltage Range for Full Load	200V~500V	200V~500V
Nominal voltage	360V	
Max. input current	15A/15A	
Max. shorted current	18A/18A	
Number of MPP trackers / strings per MPP tracker	2/1	
Grid Data		
Nominal Input Voltage	230Vac	
Input Voltage Range	184~264.5Vac*	
Nominal grid frequency	50/60Hz*	
Max. input current	40A	
Max. Charge Current	100A	
Max. AC output power	4600W	5000W
AC Output Rated Current	20A	21.7A
Max. output current	25A	25A
Max. Continuous AC Passthrough	30A	
Power factor	>0.99	
Displacement power factor	0.8leading...0.8lagging	
THDI	<3%	

Annexe B3: Fiche technique de la batterie de LPBF48200-S

LiFePO4 Battery System for Households

2.3 Specifications

Model	LPBF24100-S	LPBF24150-S	LPBF24200-S	LPBF48100-S	LPBF48150-S	LPBF48200-S
Usable Capacity	2.5KWH	3.75KWH	5KWH	5KWH	7.5KWH	10KWH
Nominal Voltage	25.6	25.6	25.6	51.2	51.2	51.2
Voltage Range	24-28.8	24-28.8	24-28.8	48-57.6	48-57.6	48-57.6
MAX. Charge & Discharge Current	100A@30S	120A@30S	120A@30S	100A@30S	120A@30S	120A@30S
Recommend Charge & Discharge Current	≤50A	≤80A	≤80A	≤50A	≤80A	≤80A
MAX. Output Power	2500W	3000W	3000W	5000W	6000W	6000W
Recommend Output Power	1250W	2000W	2000W	2500W	4000W	4000W
DOD	≥95%					
Modules Connection	1-6in parallel					
Communication	CAN&RS485					
Ingress Protection	IP21					
Cycle Life	≥3000@25°C, 80%DOD					
Working Temperature Range	Discharge:-20°C to +65°C, Charge:+0°C to +55°C					
Net Weight(KG)	23.9KG	50KG	50KG	49KG	88.9KG	88.9KG
Gross Weight(KG)	25.8KG	53KG	53KG	47.7KG	93.1KG	93.1KG
Product Dimension(MM)	514*251*209MM	500*450*213MM	500*450*213MM	559*414*203MM	800*545*213MM	800*545*213MM
Package Dimension(MM)	572*312*297MM	612*562*292MM	612*562*292MM	667*492*282MM	912*657*292MM	912*657*292MM

2.4 Recommended Settings

Lithium battery pack is not same as lead-acid battery, so for the devices which you connect with the battery pack for charging or discharging, such as inverters, MPPT charger controllers or UPS, please implement pre-settings as recommended settings as below before you launched them.

Setting	LPBF24100-S	LPBF24150-S	LPBF24200-S	LPBF48100-S	LPBF48150-S	LPBF48200-S
Max. Charging Voltage	28.8V					57.6V
Floating charging Voltage	28.8V					57.6V
Max. Charging Current	50A*N	80A*N		50A*N	80A*N	
Cut-off voltage	24V					48V

Note: "N" means the number of battery packs connected in parallel.

LiFePO4 Battery System for Households

3. INSTALLATION

3.1 Unpacking and Inspection

Before installation, please inspect the unit. Be sure that nothing inside the package is damaged. You should have received the following items inside of package.

NO	NAME	SPECIFICATION	PICTURE
1	Wall mount	Wall mount bracket	
2	Communication line 1	Grid activation communication wire (used with 6)	
3	Communication line 2	Used for Communication among batteries	
4	Communication line 3	Used for communication between battery and host computer	
5	Cables	Used for battery parallel connection	
6	Adapter	Used for activating the pack when grid power recover	
7	Screw	Mounting screw	
8	PV Wake up line	Used for auto restart when PV comeback in off-grid system	
9	User manual	User manual	
10	Guarantee card	Guarantee card	

3.2 Mounting the Unit

Consider the following points before selecting where to install:

- Do not mount the battery on flammable construction materials.
- The ambient temperature should be between 0°C and 45°C to ensure optimal operation.
- The recommended installation position is to be adhered to the wall vertically.
- Be sure to keep other objects and surfaces as shown in the right diagram to guarantee sufficient heat dissipation and to keep enough space for communication.

Annexe B4: Tableau 52H extrait du guide NFC15-100

Tableau 52H - Courants admissibles (en ampères) dans les canalisations pour les méthodes de référence B, C, E et F

METHODE DE RÉFÉRENCE	ISOLANT ET NOMBRE DE CONDUCTEURS CHARGÉS													
	B	C	E	F	S (mm²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	PVC 3	PVC 2			PR 3	PVC 2	PR 3	PR 2	PR 2					
C		PVC 3			PVC 2	PR 3	PR 3	PR 2	PR 2					
E			PVC 3		PVC 2	PR 3	PR 3	PR 2	PR 2					
F				PVC 3	PVC 2	PR 3	PR 3	PR 2	PR 2					
S (mm²)	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
CUIVRE														
1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26						
2,5	21	24	25	27	30	31	33	36						
4	28	32	34	36	40	42	45	49						
6	36	41	43	48	51	54	58	63						
10	50	57	60	63	70	75	80	86						
16	68	76	80	85	94	100	107	115						
25	89	96	101	112	119	127	138	149	161					
35	110	119	126	138	147	158	169	185	200					
50	134	144	153	168	179	192	207	225	242					
70	171	184	196	213	229	246	268	289	310					
95	207	223	236	258	278	298	328	352	377					
120	239	259	276	299	322	346	382	410	437					
150		299	319	344	371	395	441	473	504					
185		341	364	392	424	450	506	542	575					
240		403	430	461	500	538	599	641	679					
300		464	497	530	576	621	693	741	783					
400					656	754	825	940	940					
500					749	868	946	1083	1083					
630					855	1005	1088	1254	1254					

Annexe B5: Section de câble à 70°C extrait du guide de l'UTE C32-502

Section (mm ²)	Courant admissible Iz (A)		
	Un seul câble à l'air libre	Un seul câble sur paroi	Deux câbles adjacents sur paroi
1,5	27	26	22
2,5	37	35	30
4	50	47	40
6	64	61	52
10	89	85	72
16	120	114	97
25	160	152	129
35	198	188	160
50	240	228	194
70	306	290	248
95	372	351	301
120	431	407	349
150	496	467	402
185	566	532	459
240	667	626	541

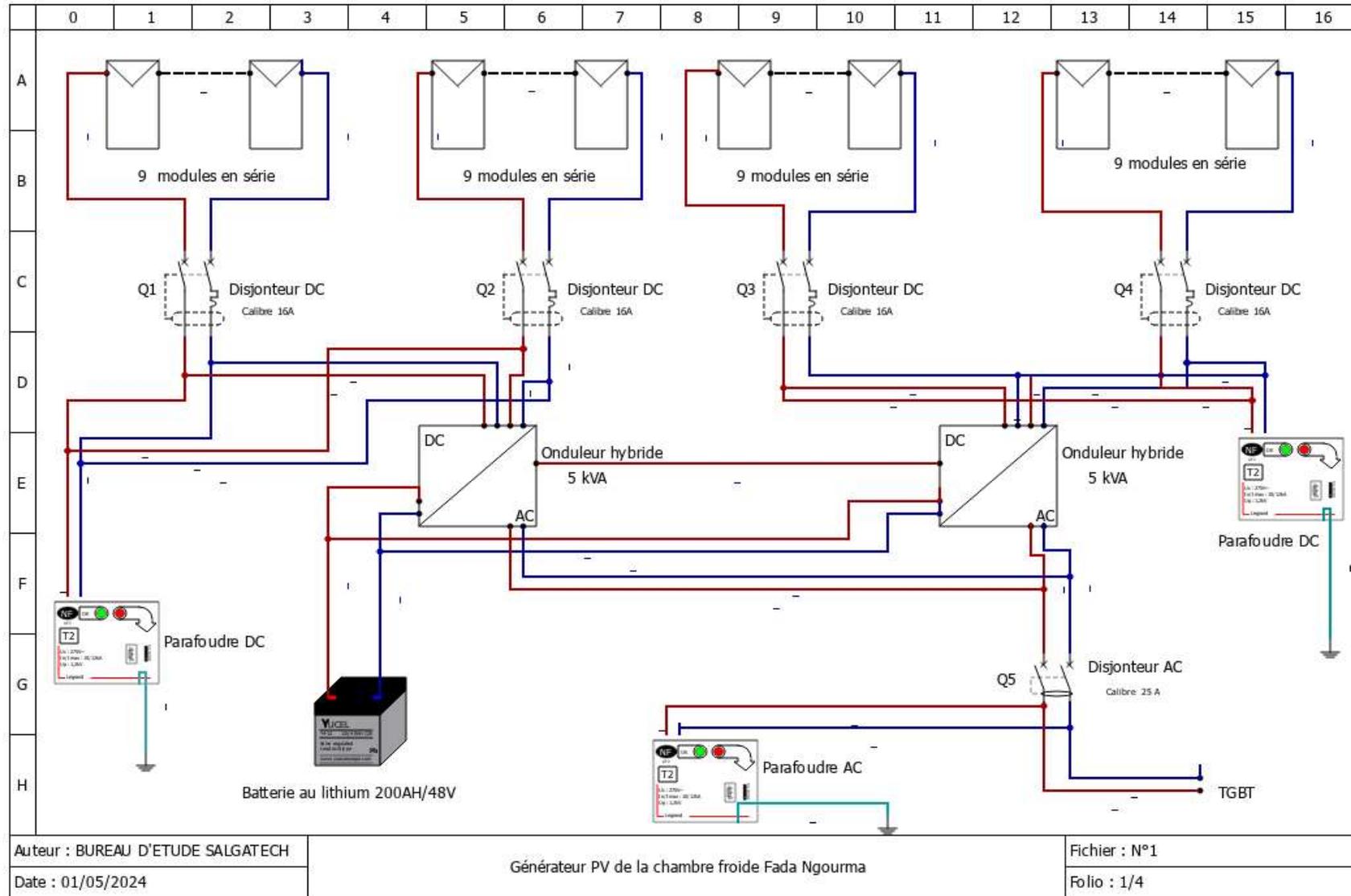
Courant admissible d'un câble en cuivre - Température ambiante de 70°C - Température maximale à l'âme de 120°C

Annexe B6: Section de câble à 70°C extrait du guide de l'UTE C32-502

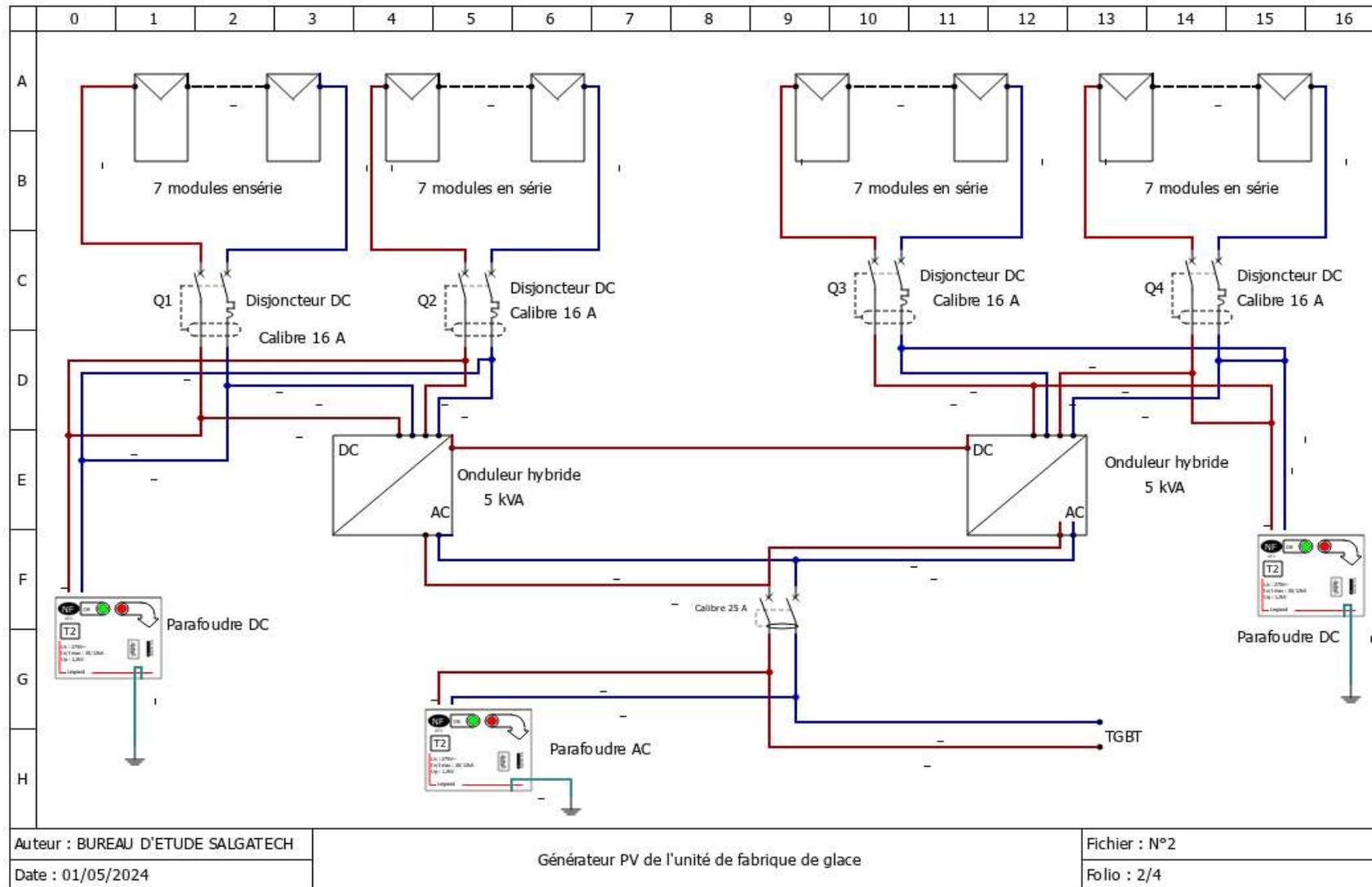
Section (mm ²)	Courant admissible Iz (A)		
	Un seul câble à l'air libre	Un seul câble sur paroi	Deux câbles adjacents sur paroi
1,5	27	26	22
2,5	37	35	30
4	50	47	40
6	64	61	52
10	89	85	72
16	120	114	97
25	160	152	129
35	198	188	160
50	240	228	194
70	306	290	248
95	372	351	301
120	431	407	349
150	496	467	402
185	566	532	459
240	667	626	541

Courant admissible d'un câble en cuivre - Température ambiante de 70°C - Température maximale à l'âme de 120°C

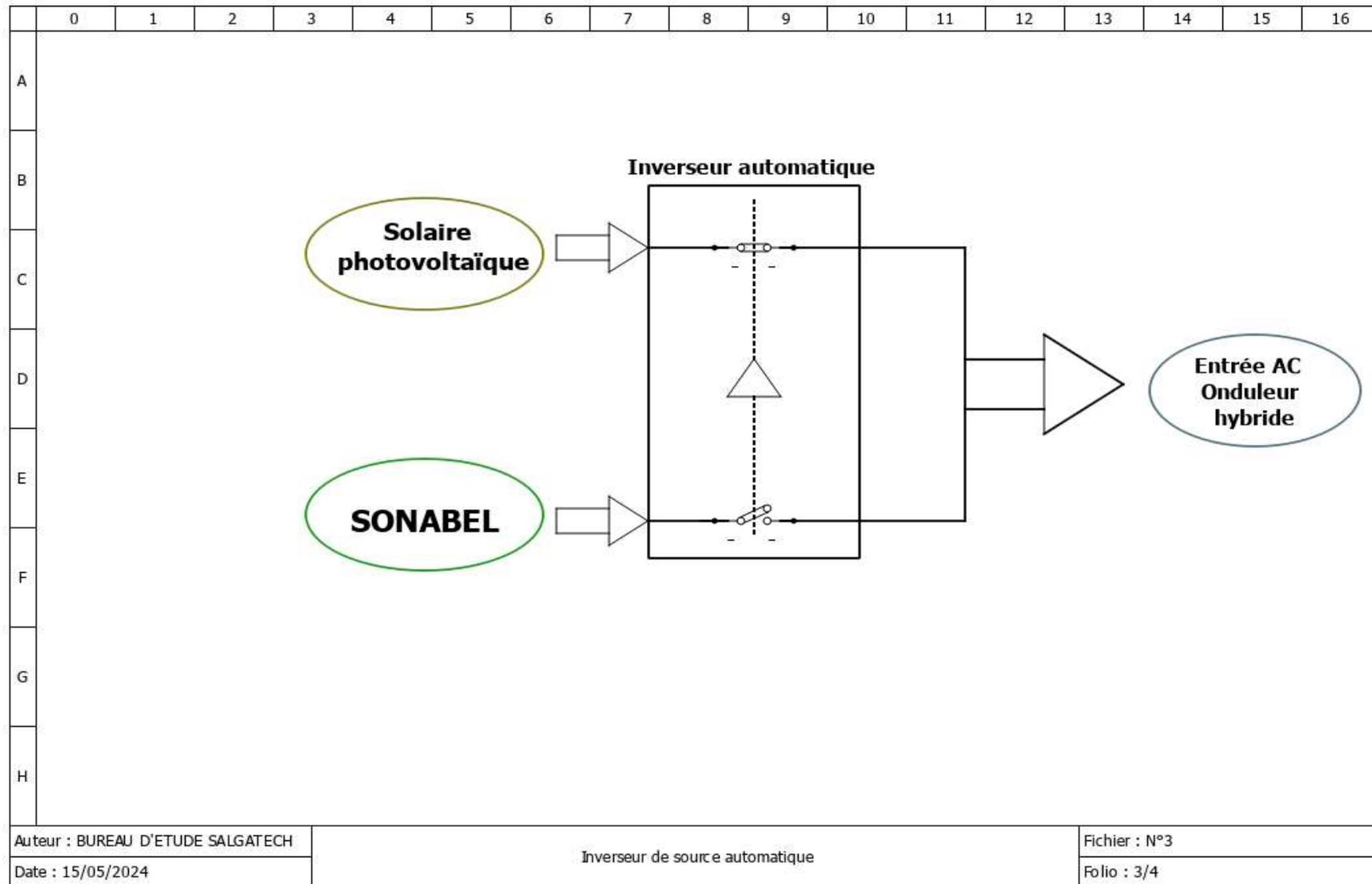
Annexe B7 : Schéma électrique de l'installation du générateur photovoltaïque pour la chambre froide



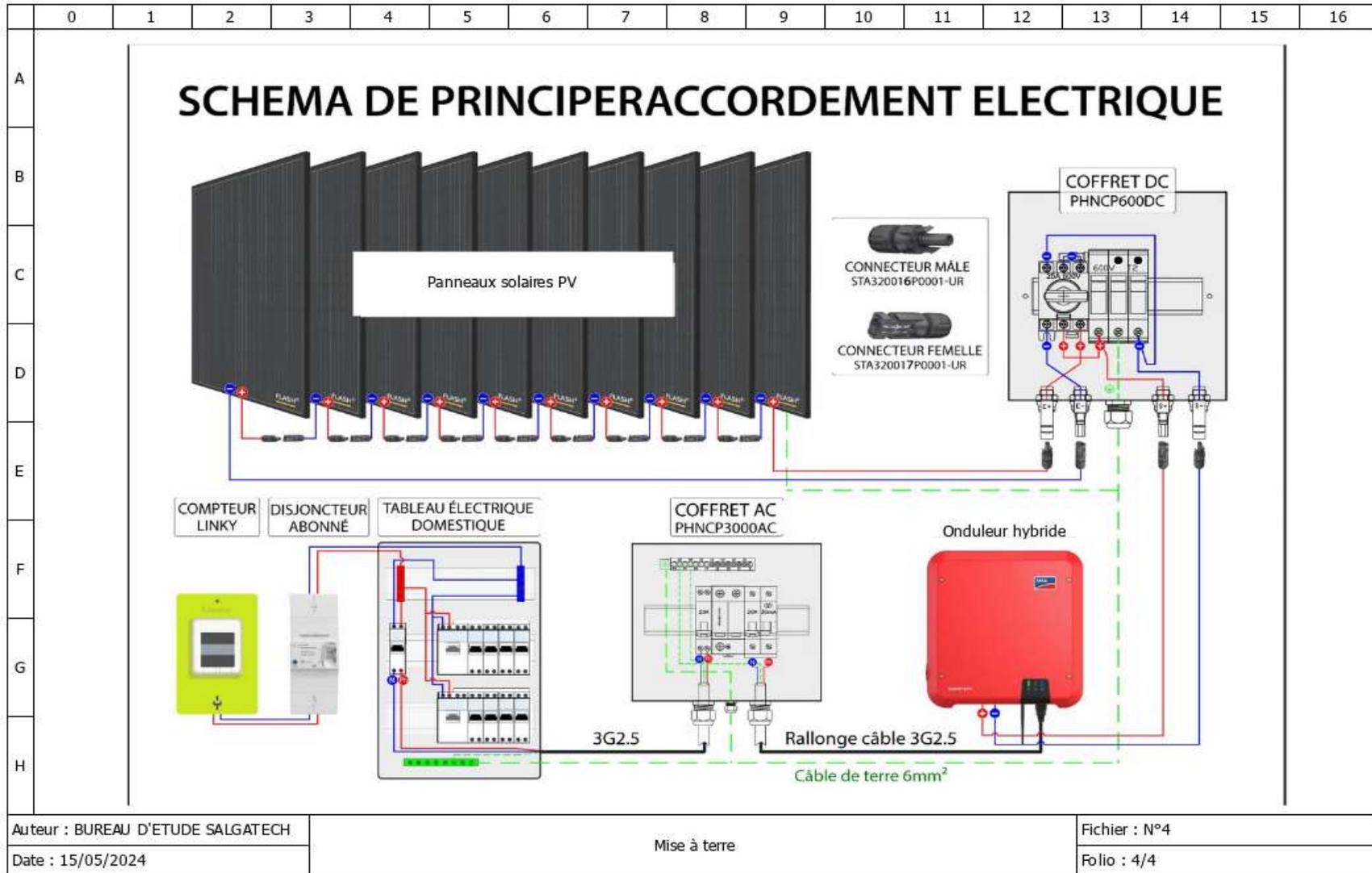
Annexe B8 : Schéma électrique de l'installation du générateur photovoltaïque pour l'unité de fabrication de glace



Annexe B9 : Branchement de l'inverseur automatique réalisé sur Qelectrotech



Annexe B10: Schéma de principe du raccordement électrique



Annexe B11: Plan de la chambre froide et de l'unité de fabrication de glace

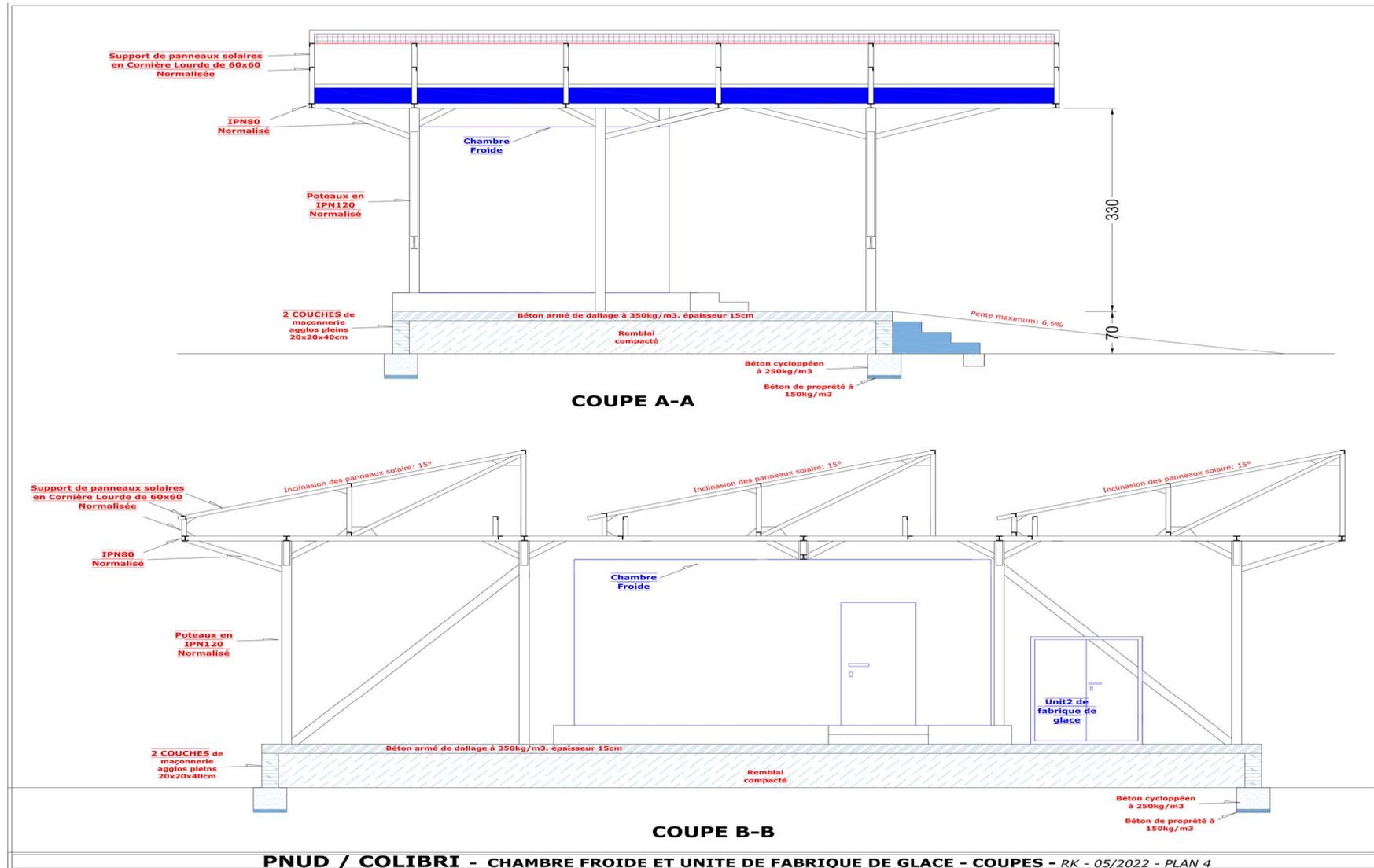


TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS	II
RESUME.....	III
ABSTRACT	IV
LISTE DES ABREVIATIONS.....	V
SOMMAIRE	VI
LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
I. INTRODUCTION.....	1
II. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ET DE LA ZONE D'ETUDE.....	2
II.1. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE	2
II.1.1. Présentation de SALGATECH	2
II.1.2. Vision et perspectives de SALGATECH.....	2
II.1.3. Structure organisationnelle de SALGATECH.....	2
II.2. ZONE D'ETUDE	3
III. PRESENTATION DU THEME D'ETUDE	4
III.1. CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU PROJET	4
III.2. OBJECTIF DU PROJET.....	4
III.3. CAHIER DE CHARGES DU PROJET	4
III.4. HYPOTHESES DE TRAVAIL.....	4
III.5. VISITE DU SITE	5
III.6. DEMARCHES METHODOLOGIQUES	6
III.7. NORMES DE TRAVAIL	6

IV. ETUDE TECHNIQUE DU PROJET	7
IV.1. GENERALITE SUR LA CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES	7
IV.1.1. Définition de la conservation alimentaire selon FAO	7
IV.1.2. Etat des fruits et légumes sans conservation	7
IV.1.3. Répartition de la production fruitière et maraîchère au Burkina Faso	8
IV.1.4. Différentes techniques de conservation alimentaire	9
IV.1.5. Conditions de stockage des fruits et légumes à longue durée	9
IV.1.6. Opérations préliminaires et complémentaires des fruits et légumes	11
IV.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE CHAMBRE FROIDE.....	11
IV.2.1. Compresseur	12
IV.2.2. Condenseur	12
IV.2.3. Détendeur	13
IV.2.4. Evaporateur.....	13
IV.2.5. Fluide frigorigène	13
IV.3. SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE LA CHAMBRE FROIDE COMMERCIALE ET DE L'UNITE DE FABRIQUE DE GLACE	15
IV.3.1. Données techniques de la chambre froide à Fada Ngourma	15
IV.3.2. Données techniques de la structure de l'unité de fabrication de glace Fada Ngourma	16
IV.3.3. Orientation de la chambre froide	16
IV.3.4. Isolation des parois de la chambre froide	17
IV.3.5. Charge maximale de la chambre froide.....	17
IV.3.6. Données climatiques de la ville de Fada Ngourma	18
IV.4. BILAN FRIGORIFIQUE	19
IV.4.1. Détermination des charges thermiques externes	20
IV.4.2. Détermination des charges thermiques internes	20

IV.4.3. Détermination des charges thermiques non quantifiables	23
IV.4.4. Somme des charges thermiques de la chambre froide.....	23
IV.4.5. Calcul de la puissance frigorifique moyenne	24
IV.5. RESULTATS DU BILAN FRIGORIFIQUE DES DEUX UNITES	24
IV.5.1 Résultats du bilan frigorifique de la chambre froide	24
IV.5.2 Résultats du bilan frigorifique de la chambre froide	26
IV.6. SELECTION DES COMPOSANTS FRIGORIFIQUES	27
IV.6.1. Choix du fluide frigorigène	27
IV.6.2. Conditions et hypothèses de fonctionnement.....	28
IV.6.3. Tracer du cycle frigorifique de l'installation	27
IV.6.4. Choix des composants frigorifiques	29
IV.7. DIMENSIONNEMENT DU GENERATEUR PHOTOVOLTAIQUE ET CHOIX DES EQUIPEMENTS	37
IV.7.1. Paramètres d'étude	37
IV.7.2 Ensoleillement du site.....	37
IV.7.3. Consommation énergétique	38
IV.7.4. Puissance crête de l'installation.....	40
IV.7.5. Choix de la tension de l'installation solaire	41
IV.7.6. Dimensionnement de la batterie de stockage	42
IV.7.7. Dimensionnement de l'onduleur	42
IV.7.8. Configuration du champ PV	44
IV.7.9. Dimensionnement des équipements de protections.....	46
IV.7.10. Calcul des sections des câbles	51
IV.7.11. Dimensionnement de l'inverseur de source.....	53
IV.7.12. Schéma électriques de l'installation PV	54

Dimensionnement d'une chambre froide et une unité de fabrication de glace au marché de fruits et légumes de Fada Ngourma

V.	ESTIMATION DU COUT DU PROJET	55
VI.	NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	57
VI.1.	DESCRIPTION DU PROCEDE TECHNOLOGIQUE DU PROJET.....	57
VI.2.	ETENDUES DES TRAVAUX	58
VI.3.	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU PROJET	59
VII.	CONCLUSION	61
	RECOMANDATION	62
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	VIII
	ANNEXES	XI
	TABLE DES MATIERES	XX