ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE CONSTRUCTION D'UN MAGASIN FRIGORIFIQUE DE STOCKAGE DE LA POMME DE TERRE A TOUKADJI DANS LA COMMUNE DE TABELOT, REGION D'AGADEZ AU NIGER.

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE DE

MASTER EN GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE

Présenté et soutenu publiquement le [24/01/2025] par :

Aboubacar BANAOU DJIBO (20160479)

Directeur de mémoire 2iE : Sayon dit Sadio SIDIBE, Maitre de conférences CAMES, Département de Génie Électrique, Énergétique et industriel, Institut 2iE

Maître de stage : M. Rafaeil IBRAHIM MAHAMADOU, Chef Service Ingénierie

Structure d'accueil du stage : ANERSOL

Jury d'évaluation du stage :

Présidente : Dr Marie SAWADOGO

Membres et correcteurs : Ing. Kamal SAMANDOULOUGU

Ing. Ousmane DIMA

Promotion 2024/2025

DÉDICACES

Je remercie tout d'abord Allah pour tous ses bienfaits dont il m'a gratifié et dont il me gratifiera.

Je dédie ce travail à ma famille bien-aimée en général et en particulier à mes parents adorés qui n'ont cessé de m'apporter leurs soutiens indéfectibles et de m'encourager dans mes études malgré les nombreuses difficultés rencontrées au cours du chemin.

À ma mère affectionnée qui, sans elle, je ne serais pas arrivé à ce niveau.

REMERCIEMENTS

Nous souhaiterions exprimer notre profonde gratitude envers tous ceux qui ont apporté leur précieuse contribution à la réalisation de ce projet. Un merci tout particulier aux personnes suivantes :

- Dr. Sayon dit Sadio SIDIBE, Maitre de conférences, Chef du département des formations professionnelles en ligne de l'Institut 2iE, mon directeur de mémoire, pour sa disponibilité et son encadrement ;
- Dr. MOUSSA Kadri, Enseignant chercheur à l'Institut 2iE, pour ses conseils promulgués ;
- Monsieur OUSSAMA, Ingénieur génie électrique et énergétique, pour la documentation fournie et sa disponibilité ;
- Monsieur Ibrahim DOUDOU BOUKARY, Directeur technique de l'ingénierie de l'Agence National d'Énergie Solaire (ANERSOL), pour sa disponibilité ses conseils et ses efforts pour l'obtention de ce stage ;
- À tout le personnel à l'ANERSOL ;
- À mes collègues et amis de stage pour leur aide et leur soutien ;
- Monsieur IBRAHIM Rafaeil, mon encadrant à l'ANERSOL pour sa disponibilité malgré ses responsabilités, pour ses explications et conseils tout au long de ce stage ;
- À SOUATE Josias, Ingénieur et amis, pour son aide ;
- À mon frère KADER, pour ses inestimables conseils prodigués combien importante ;
- À mon très cher Père, qui sans ses sacrifices multiples pour me mettre dans les meilleures conditions d'études possibles, ce travail n'aurait pu être effectué ;
- Je ne saurais terminer ses remerciements sans remercier ma mère affectionnée qui a été tout le temps présente pour moi et pour son amour et l'attention particulière qu'elle me donne chaque jour encore plus.

En cette occasion solennelle, nous souhaitons exprimer notre gratitude sincère à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au succès de cet événement. Nous pensons à ceux et celles dont les efforts et le dévouement n'ont pas été nommés, mais qui ont joué un rôle essentiel dans sa réalisation. Leur contribution à été inestimable et nous leur en sommes infiniment reconnaissants.

Étude de faisabilité de construction d'un magasin frigorifique de stockage de pomme de terre à Toukadji dans la commune de Tabelot, Région d'Agadez au Niger

RÉSUMÉ

Dans le but de soutenir les producteurs nationaux de pommes de terre et de remédier aux problèmes d'approvisionnement en semences, un projet de construction de magasins de conservation électrifiés par énergie solaire photovoltaïque a été proposé, d'une capacité d'entreposage de 100 t subdiviser en deux chambres froides distinctes, est planifié au Mont Bagazame, à Toukadji situé à l'est de la ville d'Agadez. Ce projet vise à réduire les pertes liées au manque d'un système de production de semences.

Dans le cadre de ce projet, une étude a été réalisée pour garantir un approvisionnement énergétique durable grâce à l'énergie solaire photovoltaïque. Grâce à une méthodologie rigoureuse, il a été déterminé que la puissance frigorifique nécessaire pour les besoins en froid de la chambre froide 1 est de **47 kW** et celle de la chambre froide 2 de **38 kW,** avec un besoin énergétique quotidien de **765 kWh/jour**. Le dimensionnement du champ PV, réalisé à l'aide des méthodes par le calcul et sur le logiciel PVsyst, a permis de trouver la meilleure configuration optimale pour assurer le fonctionnement efficace de l'installation solaire en toutes circonstances.

Au final, un champ PV de **235 kWc** et un système de stockage d'énergie de **886 kWh** ont été dimensionnés pour assurer une production annuelle estimée à **279,29 MWh**. Le coût total du projet est estimé à **238 063 459 FCFA TTC.**

Ce projet s'inscrit dans une perspective de développement durable, visant à soutenir les producteurs locaux tout en réduisant l'empreinte carbone et en favorisant l'utilisation d'énergies renouvelables pour une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

Mots-clés **:**

1-Pomme de terre

2-Conservation

3-Magasins frigorifiques

4-Toukadji

Étude de faisabilité de construction d'un magasin frigorifique de stockage de pomme de terre à Toukadji dans la commune de Tabelot, Région d'Agadez au Niger

ABSTRACT

To support national potato producers and address issues related to potato seed supply, a project to construct solar photovoltaic-powered storage facilities with a storage capacity of 100 tons, divided into two distinct cold rooms, is planned at Mont Bagazame in Toukadji, located east of the city of Agadez. This project aims to reduce losses caused by the lack of a seed production system.

As part of this project, a study was conducted to ensure a sustainable energy supply through solar photovoltaic energy. Through a rigorous methodology, it was determined that the refrigeration power required for the needs of cold room 1 is **47 kW** and for cold room 2 is **38 kW**, with a daily energy requirement of **765 kWh/day**. The sizing of the PV array, carried out using calculation methods and the PVsyst software, allowed for the identification of the best optimal configuration to ensure the proper functioning of the solar installation under all circumstances.

Ultimately, a PV array of **235 kW** and an energy storage system of **886 kWh** have been sized to ensure an estimated annual production of **279.29 MWh**. The total cost of the project is estimated at **238,063,459 FCFA including taxes.**

This project is part of a sustainable development perspective, aiming to support local producers while reducing carbon footprint and promoting the use of renewable energies for more sustainable and environmentally friendly agriculture.

Keywords:

1-Potato

2-Conservation

3-Cold stores

4-Toukadji

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CA	:	Courant Alternatif
CC	:	Courant Continu
COP	:	Coefficient de performance
CO2	:	Dioxyde de Carbone
ERA5	:	Fifth generation atmospheric reanalysis of the global climate
FCFA	:	Franc CFA
FAO	:	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation
GES	:	Gaz à Effet de Serre
LED	:	Light-Emitting Diode
MPPT	:	Maximum Power Point Tracking
NASA	:	National Aeronautics and Space Administration
NB	:	Nota Benin
PV	:	Photovoltaïque
PVGIS	:	Système d'Information Géographique Photovoltaïque
PVSYST	:	Système de Dimensionnement des Centrales Photovoltaïques
t	:	Tonne
TTC	:	Tout Taxe Comprise
2iE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

NOMENCLATURE

Variables	Désignation	Unités
φ	Densité de flux de chaleur	(W/m^2)
q_p	Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité	(W)
S	Surface de la paroi considérée	(m^2)
ΔT	Différence de température	(°C)
V_e	Débit volumique de l''air dans la chambre froide	(m^3/kg)
V	Volume de la chambre froide	(m^3)
m	Masse	(kg)
n_{ae}	Taux de renouvellement de l'air extérieur	-
n_p	Nombre de personnes opérant dans la chambre froide	-
n_l	Nombre de luminaires	-
h_e	Humidité relative extérieure de la chambre	(kJ/kg)
hi	Humidité relative intérieur de la chambre	(kJ/kg)
ρ_{ae}	Masse volumique de l'air de l'autre côté de la porte	(kg/m^3)
ρ_{aa}	Masse volumique de l'air dans la chambre froide	(kg/m^3)
C	Capacité thermique massique des denrées	(kg)
C_{min}	Coefficient de minoration dû à la présence éventuelle d'un rideau d'air	-
l	Largeur de la porte	(m)
h	Hauteur de la porte	(m)
L	Longueur de la porte	(m)
t_{ouv}	Temps d'ouverture	(mn/h)
t	Durée de présence de chaque personne dans la chambre froide	(h/j)
d_t	Durée moyenne d'ouverture des portes pour permettre le passage des marchandises en minute par tonne	(mn/t)
f_j	Flux journalier de marchandises (considérant par jour, on a 10% des denrées qui rentrent des 100 tonnes donc 10 tonnes.)	(t/j)
Q	Charge thermique	(W)
P_f	Puissance de l'installation frigorifique	(W)

P_{prev}	Puissance frigorifique prévisionnelle	(W)
C	Capacité	(Ah)
E	Énergie	(kWh)
I	Courant	(A)
P	Puissance	(W)
K	Facteur de correction compris entre 2 et 3	-
V	Tension	(V)
S	Puissance apparente	(VA)
η	Rendement	-
ρ	Déphasage	-
τ	Résistivité	-
T_{max}	Température maximale du site	(°C)
T_{min}	Température minimale du site	(°C)
N'	Nombre maximum de modules par entrée MPPT	(°C)
Ns	Nombre de modules en série	-
Nbp	Nombre de branches en parallèle	-
Nbats	Nombre de batteries en série	-
Nbatp	Nombre de batteries en parallèle	
Cbat	Capacité batterie	(Ah)
μ_{Isc}	Coefficient de température de Isc	-

SOMMAIRE

DÉDICACES I
REMERCIEMENTS II
RÉSUMÉ III
ABSTRACT IV
LISTE DES ABRÉVIATIONS V
NOMENCLATURE VI
LISTE DES TABLEAUX IX
LISTE DES FIGURES X
I. INTRODUCTION 1
II. État de l'art sur la conservation des denrées 10
III. Généralités sur les chambres froides 21
IV. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DE DIMENSIONNEMENT 23
V. RÉSULTATS ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL 50
VI. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE 75
CONCLUSION GÉNÉRALE 76
RECOMMANDATIONS 77
BIBLIOGRAPHIE 78
LISTE DES ANNEXES 86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Température de conservation de la pomme de terre selon l'usage et la durée de conservation[19] 14
Tableau 2 : Conditions de conservations de la pomme de terre[20] 15
Tableau 3 : Sections normalisées de câbles 48
Tableau 4 : Calibres fusibles 49
Tableau 5 : Résultats calculs de la capacité de stockage de la chambre froide 1 52
Tableau 6 : Capacité de déshumidification 52
Tableau 7 : Résultats calcul des charges thermiques par transmission à travers les parois 52
Tableau 8 : Synthèse des résultats du dimensionnement du bilan frigorifique 54
Tableau 9 : Estimation cout de l'installation frigorifique 56
Tableau 10 : Bilan énergétique Magasin 100 tonnes 57
Tableau 11 : Pertes d'ombrage mensuelles dues aux obstacles proches et lointaines pour les deux magasins du site de TOUKADJI 59
Tableau 12 : Résultats calcul de la puissance crête et du nombre total de modules à installer 60
Tableau 13 : Caractéristiques d'entrées des onduleurs et des modules 60
Tableau 14 : Résultats calcul Nombre maximum de module par MPPT et des courants d'entrée et démarrage de l'onduleur 61
Tableau 15 : Résultats calcul du nombre d'onduleurs à installer et la puissance max des onduleurs 62
Tableau 16 : Résultats estimations de la capacité totale des accumulateurs 62
Tableau 17 : Calcul des sections de câbles 63
Tableau 18 : Choix fusible de protection 63
Tableau 19 : Calcul ratios de vérification 64
Tableau 20 : Résultats prévisions sur PVsyst 7.4 69
Tableau 21 : Estimation du coût de l'installation solaire photovoltaïque 74
Tableau 22 : Résultats calcul de la capaciter d'entreposage de la chambre froide 2 103
Tableau 23 : Capacité de déshumidification 103
Tableau 24 : Résultats calcul des charges thermiques par transmission à travers les parois 103
Tableau 25 : Résultats bilan frigorifique chambre froide 2 105

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation site Toukadji 6
Figure 2 : Représentation cartographique site Toukadji 7
Figure 3 : Domaine d'implantation 8
Figure 4 : Les différents secteurs d'activités de l'ANERSOL 9
Figure 5 : Tubercules de pomme de terre 13
Figure 6 : Techniques traditionnelles de la conservation de la pomme de terre au champ [13] 17
Figure 7 : Mode de stockage frigorifique en vrac 18
Figure 8 : Mode de stockage en sac de Jute [18] 19
Figure 9 : Mode de stockage frigorifique en palox [19] 20
Figure 10 : Le potentiel solaire du Niger 24
Figure 11 : Données mensuelles d'irradiation des 3 sources de données 25
Figure 12 : Carte d'ensoleillement Solar Gis du Niger 26
Figure 13 : Température moyenne mensuelle du site 27
Figure 14 : Vitesse de vent site de Toukadji 28
Figure 15 : Plan de coupe de la chambre froide 29
Figure 16 : Façade principale de la chambre froide 29
Figure 17 : Façade arrière de la chambre froide 30
Figure 18 : Architecture système froid 39
Figure 19 : Configuration système PV 41
Figure 20 : Chambre froide 1 51
Figure 21 : Contribution apport de chaleur chambre froide 1 55
Figure 22 : Distribution pourcentage bilan électrique récepteur 58
Figure 23 : Simulation 3D des magasins du site de TOUKADJI et implantation des modules en toiture 59
Figure 24 : panneaux solaire AE solar de 700 Wc[31] 65
Figure 25 : Onduleur Felicity Solar de 50kW 66
Figure 26 : Batterie lithium Felicity Solar 48 V 500 Ah[34] 66
Figure 27 : Sectionneur S802-PV-M-H[35] 67
Figure 28 : Porte fusible E 90 PV 68
Figure 29 : Fusible cylindrique E 9F 68
Figure 30 : OVR PV T2 40 1000 P QS 68
Figure 31 : Diagramme des énergies moyennes mensuelles des résultats des prévisions de notre système 70
Figure 32 : Schéma électrique unifilaire d'un sous-champ PV 72
Figure 33 : Schéma câblage configuration mise en parallèle onduleur 73
Figure 34 : Chambre froide 2 102
Figure 35 : Contribution charge thermique a l'apport de chaleur de la chambre froide 2 106

I. INTRODUCTION

La pomme de terre occupe une place centrale dans l'alimentation quotidienne des Nigériens, que ce soit sous forme de purées, de frites ou en accompagnement de divers plats. Sa popularité s'explique par sa capacité à s'intégrer dans de nombreuses recettes, tout en représentant une source de nutrition essentielle pour la population. En tant que culture prédominante, elle joue également un rôle clé dans la sécurité alimentaire et le revenu de nombreux agriculteurs et commerçants à travers le pays.

La conservation des pommes de terre représente un enjeu crucial non seulement pour la sécurité alimentaire, mais aussi pour l'économie des pays producteurs. Dans un contexte mondial, la gestion efficace des stocks de pommes de terre est essentielle face aux défis du changement climatique, à la croissance de la population et à la nécessité de réduire le gaspillage alimentaire.

La conservation des pommes de terre représente une préoccupation majeure, avec différents pays adoptant des stratégies variées pour y faire face. Aux Pays-Bas, des technologies avancées de stockage, incluant des systèmes de ventilation climatique, sont utilisées pour réduire les pertes et prévenir les maladies [1]. En Inde, où la pomme de terre est essentielle à l'alimentation, des techniques traditionnelles adaptées, comme le stockage dans des silos en terre cuite, sont promues par des initiatives gouvernementales et des ONG pour réduire le gaspillage. Au Kenya, des "maisons de conservation" à coût modéré, construites avec des matériaux locaux, permettent de prolonger la durée de vie des tubercules en créant des conditions climatiques optimales [2]. Ces exemples montrent que la question de la conservation des pommes de terre transcende les frontières géographiques et culturelles, offrant une opportunité de partage de connaissances et de pratiques éprouvées à l'échelle mondiale.

Pour justifier l'importance d'un projet moderne de stockage de la pomme de terre, il est essentiel de se référer aux pertes post-récolte significatives et à l'impact économique des inefficacités de conservation. Les pertes peuvent atteindre jusqu'à 30% [3] de la production, en particulier dans les pays d'Afrique où les infrastructures de stockage sont limitées. En Europe, ces pertes oscillent entre 10% et 20% [4], souvent en raison du manque de technologies avancées.

Les conséquences économiques de ces pertes sont significatives : cela entraîne une réduction des revenus des agriculteurs, une augmentation des prix des pommes de terre hors saison, et des opportunités d'emploi limitées. Un projet de stockage moderne pourrait réduire ces pertes, améliorer les rendements des agriculteurs, offrir des formations sur les meilleures pratiques de conservation, et contribuer à la durabilité en prolongeant la durée de conservation des produits.

En somme, les données sur les pertes et leurs impacts montrent clairement qu'il est nécessaire d'investir dans des infrastructures de stockage modernes pour améliorer la chaîne de valeur de la pomme de terre et soutenir les agriculteurs.

Néanmoins, la conservation des pommes de terre pose de véritables défis, notamment en termes de régulation de la température, de l'humidité, de la circulation de l'air et de la lutte contre les maladies. Pour limiter les pertes après récolte et optimiser l'utilisation des ressources énergétiques au stockage, il est impératif d'améliorer l'efficacité énergétique des techniques de conservation. Au Niger, plusieurs initiatives ont été lancées, telles que la construction de nouveaux espaces de stockage réfrigérés par la Fédération des Coopératives maraîchères du Niger (FCMN-Niya), ainsi que la réintroduction de méthodes traditionnelles de conservation.

Cependant, malgré leur importance pour l'agriculture et la consommation, le pays fait face à un manque de systèmes de production de semences, rendant leur obtention difficile lors des périodes de semis. Cela souligne la dépendance vis-à-vis des importations en provenance du Nigéria et de l'Algérie, qui peuvent parfois fournir des semences de qualité inégale, ce qui freine le développement du secteur.

Dans la commune de Toukadji, les producteurs recourent davantage à des techniques traditionnelles pour le stockage des pommes de terre, reposant souvent sur des greniers et des caves. Bien que ces solutions aient leurs mérites, elles ne garantissent pas toujours une conservation optimale en raison de leur faible efficacité énergétique. Par conséquent, des efforts sont en cours pour introduire des infrastructures de stockage modernes, en vue d'améliorer la durabilité de la conservation des tubercules tout en maintenant les conditions climatiques adéquates.

Une approche résiliente au contexte de développement durable, qui tirerait parti de l'énergie solaire pour alimenter ces systèmes novateurs de conservation, pourrait minimiser les pertes et maximiser les gains énergétiques. Dans ce cadre, nous avons entrepris une étude intitulée «

Étude dynamique de faisabilité pour la construction d'un magasin frigorifique de stockage de pommes de terre sur le piémont à Toukadji », afin d'explorer ces idées.

Améliorer l'efficacité énergétique dans la conservation des pommes de terre est un enjeu fondamental pour le Niger. Cela implique une démarche inclusive, intégrée et durable. Ainsi, dans un premier temps, notre étude se concentrera sur l'évaluation et le développement d'un système de réfrigération fonctionnant grâce à l'énergie solaire photovoltaïque, optimisé pour le stockage des semences. Nous procéderons à une analyse des besoins en refroidissement et en électricité nécessaires. Dans un second temps, nous examinerons les impacts environnementaux induits par ce système ainsi que ses performances économiques, en tenant compte des équipements disponibles sur le marché.

I.1 Contexte et justification de l'étude

Le Niger est un pays producteur et consommateur de pomme de terre. Les superficies totales réservées à la culture de pomme de terre en 2018 dans les principales régions productrices sont évaluées à 5 672 ha dont 964 ha[5] à Agadez pour une production nationale estimée à 136 000 tonnes[6], [7] de tubercules de consommation. Malgré l'importance de cette culture dans la structure économique, il n'existe pas de système de production de semences dans le pays. Ainsi, l'approvisionnement en quantité et en qualité de semences en temps opportun (octobre-novembre) constitue un problème majeur pour la production. Les semences provenant d'Europe étant couteuses et non disponibles au moment voulu, chaque année les producteurs s'approvisionnent au Nigéria et en Algérie pour compléter leurs besoins malgré la qualité douteuse de ces provenances.

Au regard des expériences acquises par les producteurs nationaux, il est envisageable de pallier ces difficultés en mettant à profit les conditions climatiques favorables à la production des semences de pomme de terre qui prévalent sur les Monts Bagazam et au Piémont (commune rurale de Tabelot). C'est dans ce contexte que le Ministère de l'Agriculture a sollicité et obtenu un appui de la FAO à travers le Projet de Coopération Technique (TCP/NER/3901) portant sur l'Appui à la production de plants certifiés de pomme de terre dans la Région d'Agadez.

La présente étude consiste à développer les thématiques d'efficacité énergétiques dans le cadre de la mise en œuvre de la construction de trois magasins de conservation de semences de pomme de terre électrifiés en solaire photovoltaïque dont :

- Un magasin de 200 tonnes sur le mont Bagazane ;
- Et deux magasins de 100 tonnes sur le piémont (commune de Tabelot).

I.2 Objectifs de l'étude

I.2.1 Objectif général du projet

L'objectif principal de ce travail est de réaliser une étude détaillée d'avant-projet sur la faisabilité de la construction d'un magasin frigorifique destiné à la conservation des semences de pomme de terre. Ce magasin sera conçu pour répondre aux besoins énergétiques en s'appuyant sur des sources d'Énergies Renouvelables dans une perspective de développement durable.

I.2.2 Objectifs spécifiques du projet

Il s'agit spécifiquement de :

- Proposer un dimensionnement technique capable de répondre aux besoins en froid et en électricité pour les magasins de conservation, en utilisant deux approches complémentaires : analytique et logiciel
- Évaluer l'impact environnemental du système proposé ;
- Évaluer le coût de l'installation.

I.3 Présentation de la zone d'étude

Le projet sera réalisé dans le village de Toukadji située au pied du Mont Bagazan, le mont Bagazan est la plus haute montagne du Niger avec plus de 2000 m d'altitude située au sud-est du massif de l'Air (Agadez) dans la commune de Tabelot, département de Thirozerine.

- **Géographie :**

Les monts Bagzane, également orthographiés Baguezans[8], Bagzans[9] ou encore Baguezam[10], sont situés dans le sud du massif de l'Aïr à environ 100 km au nord-est d'Agadez au Niger.

D'une superficie de 600 km^2, ces monts forment un plateau de forme ovale d'extension maximale d'orientation nord-sud d'environ 40 km et d'extension longitudinale d'environ 20 km^2.

- **Climat**

Les températures sont plus basses que dans la plaine environnante en raison de l'altitude[8]. En septembre par exemple, elles varient de 16 à 33 °C alors qu'à Agadez elles atteignent de 23 à 40 °C. La température moyenne annuelle varie entre 15 et 30 °C avec une valeur moyenne de 9 °C en hivers et des valeurs minimales pouvant descendre en dessous de 0 °C.[11]

Le climat est aride avec des pluviométries annuelles dans la plaine très irrégulières variant de 10 à 150 mm/an avec une moyenne de l'ordre de 70 mm/an. Les précipitations sur les monts Bagzane sont plus importantes avec une pluviométrie moyenne de l'ordre de 190 mm/an qui peut atteindre 400 mm/an[12]. Une courte saison des pluies a lieu en juillet et en août. L'infiltration des eaux de pluie est réduite et leur ruissellement alimente des koris (oueds), quelques sources et des bassins temporaires et permanents (les aguelmans) qui permet l'existence d'une végétation permanente dans les vallées.

- **Population :**

Les monts Bagzane sont actuellement peuplés par deux tribus Touareg d'origine Kel Oui[8] ou Kel Owey ou Kel Ewey, les Itaguen (Itagan kel bagzane) au nord et les Iguermaden (Iguermaden kel bagzane) au sud [11]. La population, de l'ordre de quelques milliers (4 463 habitants en 2006)[11], est répartis sur quelques campements et sur une dizaine de villages difficiles d'accès d'altitude comprise entre 1 450 et 1 700 m. Ces villages sont principalement localisés dans le sud du plateau où les sources et les oasis sont plus nombreuses. Les habitations sont réalisées en pierre et en banco.

I.3.1 Localisation de la zone d'étude

I.3.1.1 Site de TOUKADJI

Le village de Toukadji (commune de Tabelot) est situé au pied du Mont à plus de 100 km à l'est de la ville d'Agadez. Le terrain qui abritera les deux magasins de 100 tonnes chacun est situé juste au pied du Mont Bagazane avec une superficie d'environ un hectare (1 ha).

Situation géographique : latitude : 17°39'50.7''N, longitude : 8°37'24.0''E, Altitude : 851 m, TOUKADI – Agadez.

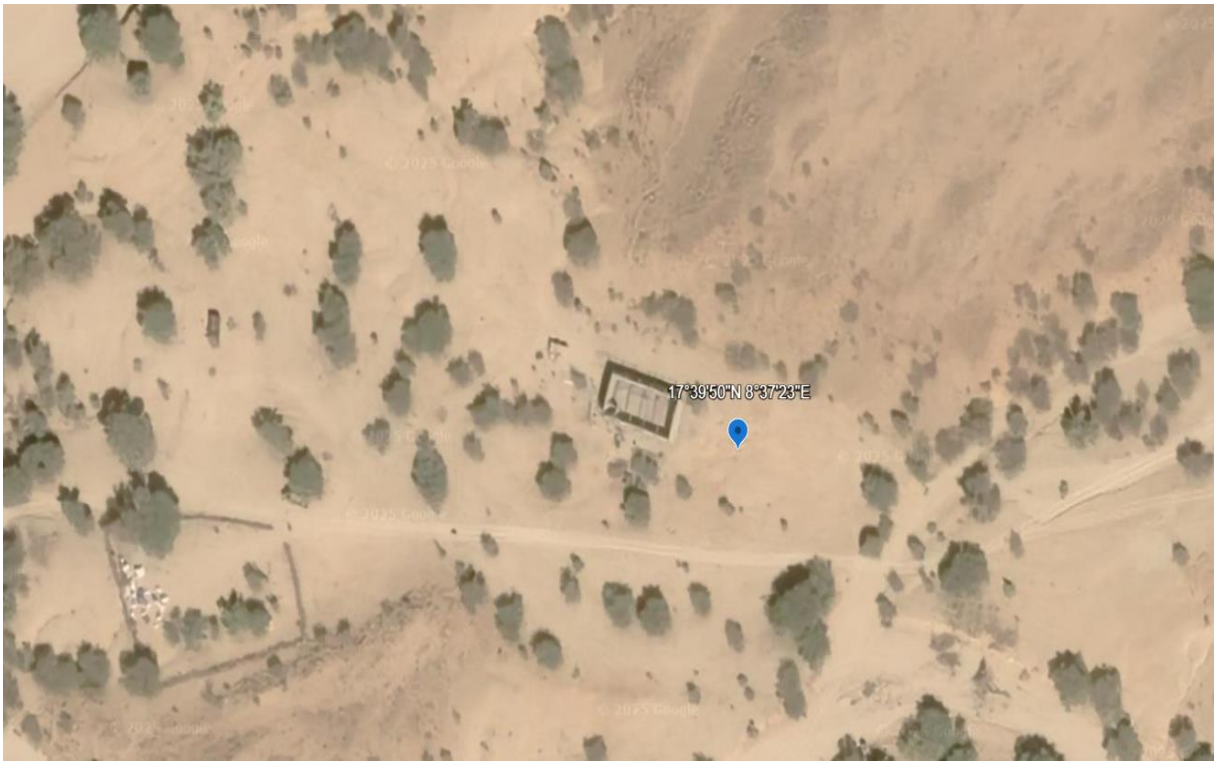


Figure 1 : Localisation site Toukadji

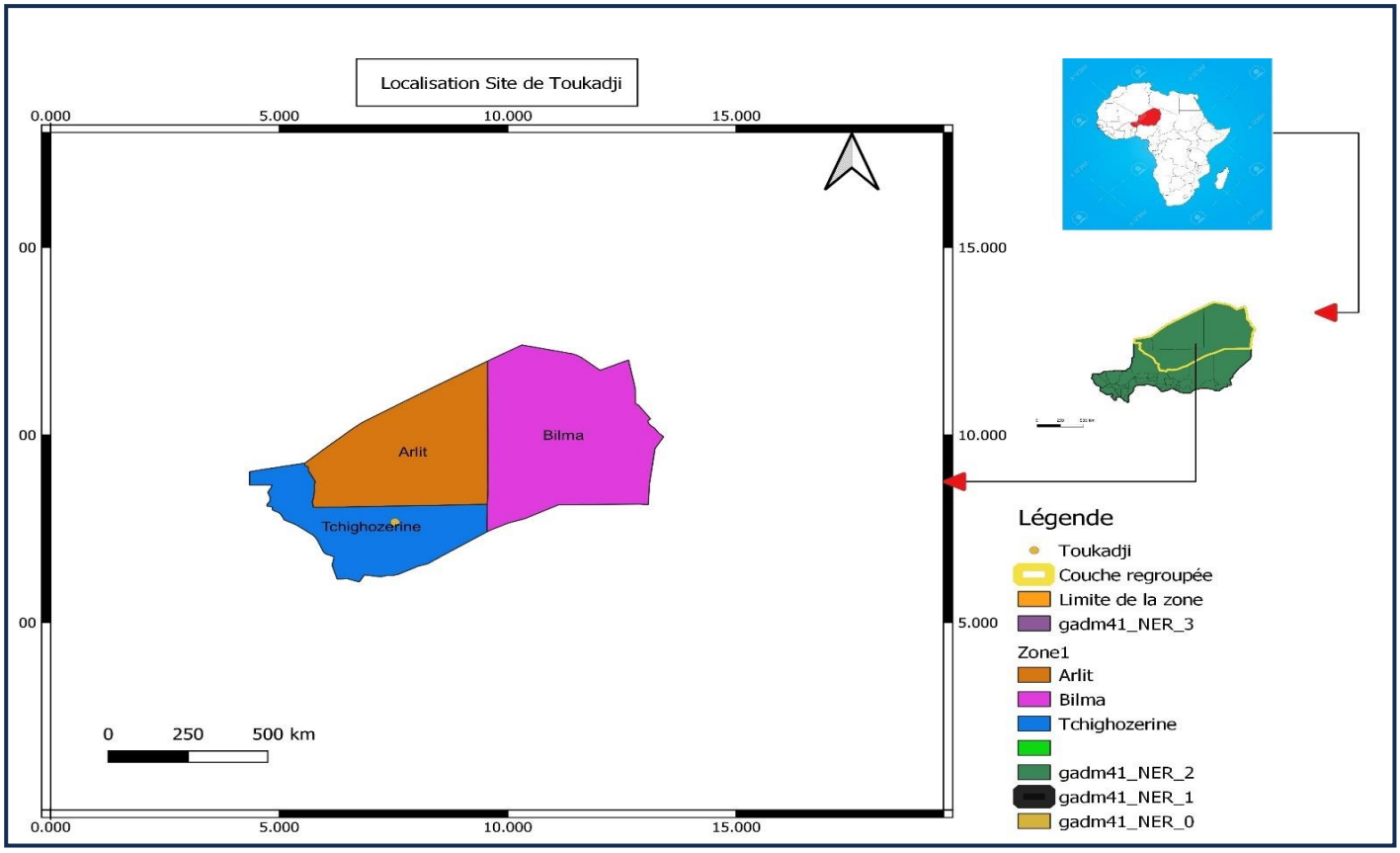


Figure 2 : Représentation cartographique site Toukadji

I.3.2 Description du site

Le domaine d'implantation du site prévue pour la construction des deux magasins 100 tonnes aux Piémont est représenter dans la figure ci-dessous :

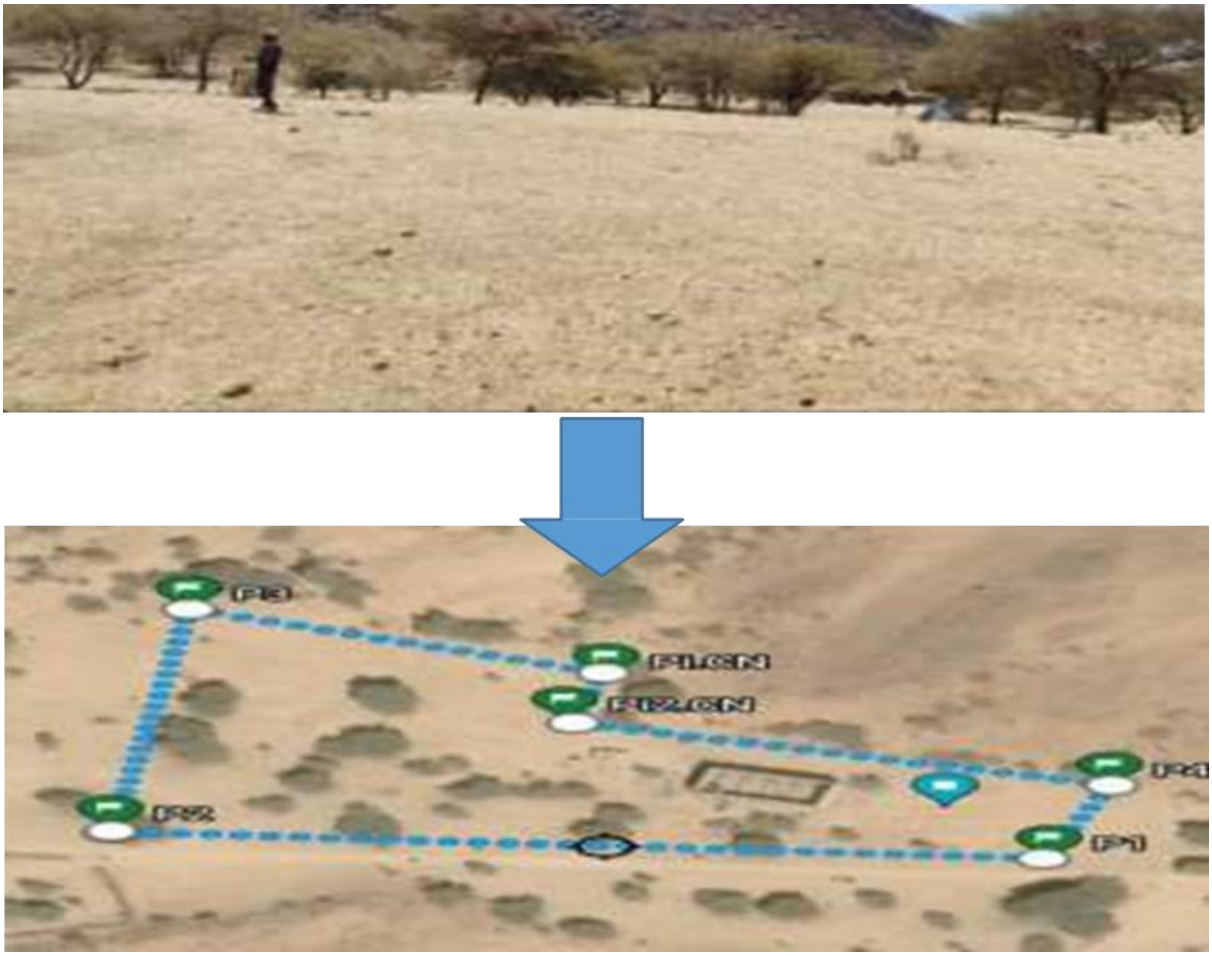


Figure 3 : Domaine d'implantation

I.4 Présentation de la structure d'accueil

L'Agence Nationale de l'Énergie Solaire (ANERSOL) est un organisme public nigérien chargé de promouvoir l'énergie solaire, face à un pays confronté à un faible accès à l'électricité et une entière dépendance au bois de chauffe, menaçant ainsi son écosystème. Avec un ensoleillement exceptionnel, le Niger vise à diversifier ses sources d'énergie et à respecter ses engagements européens en matière d'environnement en adoptant des solutions adaptées aux défis du Sahel.

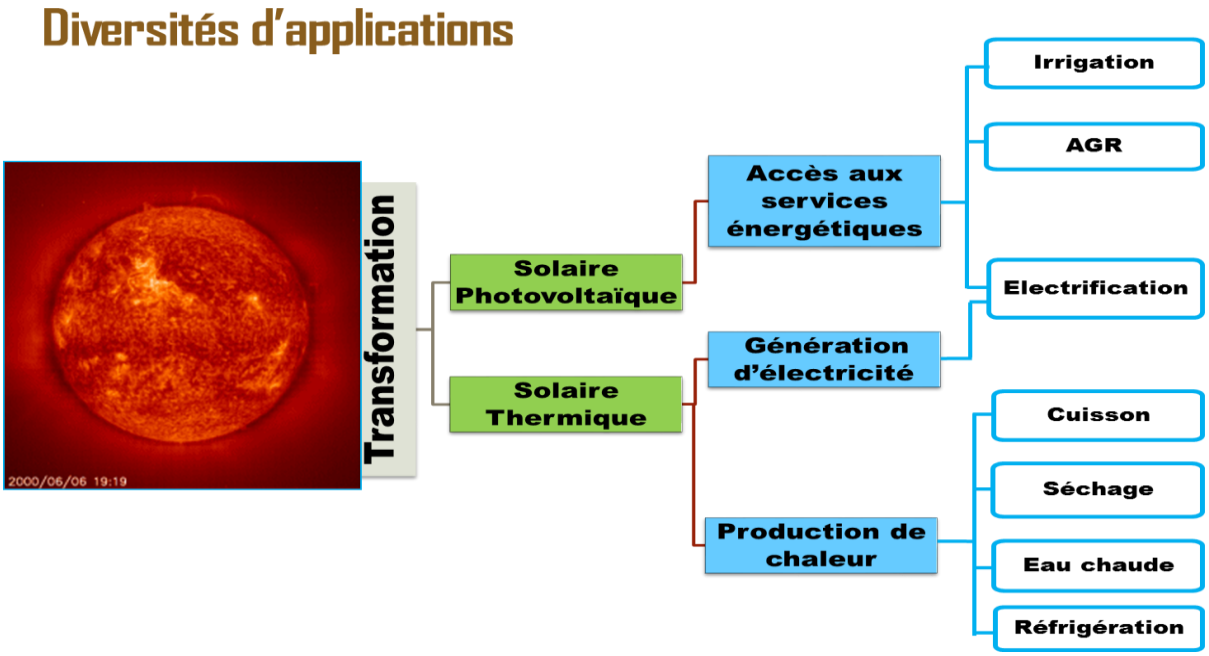


Figure 4 : Les différents secteurs d'activités de l'ANERSOL

I.4.1 Missions et Statut

L'Agence Nationale d'Energie Solaire (ANERSOL) a pour mission de promouvoir et développer l'énergie solaire dans l'économie nationale en concevant et en mettant en œuvre divers programmes et projets. Elle joue un rôle clé dans la promotion des équipements solaires via des Partenariats Public-Privé, tout en fournissant avis techniques, normes et labels. L'ANERSOL s'engage également dans la formation, la sensibilisation et la coopération régionale et internationale dans le secteur de l'énergie solaire.

I.4.2 Historique

Après le Congrès mondial de l'énergie solaire de 1961, le Niger a initié des efforts de recherche et développement dans ce domaine, aboutissant à la création de l'Office National de l'Énergie Solaire (ONERSOL) en 1965. Le succès initial d'équipements solaires a permis l'édification d'une usine de fabrication en 1975, structurant l'office en deux branches : recherche et fabrication/commercialisation.

II. État de l'art sur la conservation des denrées

La conservation des aliments englobe plusieurs méthodes de traitement visant à préserver le goût, la texture, la couleur, ainsi que les qualités nutritionnelles et la sécurité des aliments, afin de prévenir les intoxications alimentaires. Historiquement, ces techniques ont été développées pour permettre le stockage des denrées pendant les saisons de récolte abondante, afin de se prémunir contre les famines lors des périodes de pénurie (comme à la fin de l'hiver ou durant les années de faible production). Aujourd'hui, l'accent est mis sur la prévention de la prolifération des germes, pour protéger la santé des consommateurs.

II.1 Généralités sur le stockage et la conservation des aliments (pomme de terre)

II.1.1 Techniques de conservation

La préservation des aliments s'appuie sur une variété de techniques visant à allonger leur durée de conservation tout en maintenant leurs qualités nutritionnelles et sensorielles. Parmi ces méthodes, la conservation par le froid, incluant la réfrigération et la congélation, est couramment utilisée pour ralentir la croissance des micro-organismes. Les traitements thermiques, tels que la pasteurisation et la stérilisation, permettent d'éliminer les agents pathogènes, tandis que le séchage et la lyophilisation réduisent significativement le taux d'humidité, crucial pour empêcher les réactions enzymatiques et la prolifération microbienne. D'autres techniques modernes, comme la mise sous vide ou l'utilisation d'atmosphères modifiées, répondent aux exigences de l'industrie agroalimentaire en minimisant l'oxydation et en prolongeant la fraîcheur des produits. Parallèlement, des méthodes traditionnelles telles que le salage, le sucrage ou le fumage demeurent des pratiques essentielles dans certaines cultures, illustrant la richesse et la diversité des stratégies pour assurer une alimentation durable et de haute qualité.

II.1.2 Application par la chaleur

Le traitement des aliments par la chaleur est la technique la plus utilisée pour la conservation de longue durée.

- **La pasteurisation :** La pasteurisation est une technique qui permet d'éliminer les micro-organismes nuisibles dans les aliments en les chauffant à des températures comprises

entre 85 °C et 100 °C[13],[14] pendant un temps déterminé, suivie d'un refroidissement rapide. Cette méthode préserve les qualités organoleptiques des aliments, notamment leur goût, tout en assurant leur sécurité. Les produits pasteurisés nécessitent une conservation au frais et doivent indiquer une date limite de consommation.

- **La stérilisation :** Il s'agit d'un procédé thermique réalisé à des températures dépassant 100 °C [15], dont l'objectif est d'éliminer toute forme de micro-organismes. Cela garantit la conservation des aliments à température ambiante.
- **Le traitement a ultra haute température :** Cette technique de conservation consiste à chauffer le produit, tel que le lait, à une température élevée dépassant 135 °C [13] pendant une brève période de 1 à 5 secondes [16], suivie d'un refroidissement rapide. Le produit est ensuite emballé dans des conditions aseptiques, ce qui permet une conservation prolongée à température ambiante.
- **Déshydratation :** La déshydratation est un processus qui consiste à éliminer l'eau d'un aliment pour inhiber la croissance des micro-organismes et prolonger la durée de conservation. Cela peut être fait par des méthodes naturelles (au soleil) ou par des méthodes artificielles (utilisation de dés hydrateurs électriques ou de fours). Il existe 3 modes de déshydratation à savoir :
  - **Déshydratation au soleil :** Les aliments sont exposés au soleil pendant plusieurs heures, généralement en les plaçant sur des grilles ou des plateaux.
  - **Déshydratation à l'air chaud :** Utilisation d'un déshydrateur électrique ou d'un four à basse température pour éliminer l'humidité.
  - **Déshydratation sous vide :** Utilisation d'une machine à vide pour retirer l'air et ralentir l'oxydation tout en déshydratant.
- **Salage :** Le salage consiste à appliquer du sel sur les aliments pour extraire l'humidité et inhiber la croissance des bactéries. Le sel agit en créant un environnement osmotique défavorable pour les micro-organismes. Nous distinguons deux modes :
  - **Salage à sec :** Application directe de sel sur la surface des aliments (par exemple, le poisson ou la viande).
  - **Salage en saumure :** Immerger les aliments dans une solution saline. Cela est couramment utilisé pour les légumes (comme les cornichons) et les viandes.
- **Séchage :** Le séchage est un processus qui consiste à retirer l'humidité des aliments, similaire à la déshydratation, mais souvent effectué à des températures plus élevées.

Cela inclut des techniques comme le séchage au four ou le séchage par chaleur indirecte. 3 modes de séchages sont également utilisés :

- **Séchage au four :** Les aliments sont placés dans un four à basse température pour éliminer l'humidité.
- **Séchage par chaleur indirecte :** Utilisation de sources de chaleur (comme des radiateurs ou des ventilateurs) pour favoriser la circulation de l'air chaud autour des aliments.
- **Séchage à l'air :** Un processus naturel où les aliments sont exposés à l'air dans des conditions contrôlées.

II.1.3 Application par le froid

- **La réfrigération :** La réfrigération consiste à maintenir les aliments à une température généralement comprise entre 0 °C et 4 °C. Cela ralentit la croissance des bactéries et des moisissures, prolongeant ainsi la durée de vie des produits. Les réfrigérateurs domestiques et commerciaux sont des exemples courants de cette méthode.
- **La congélation :** La congélation abaisse la température des aliments à -18 °C ou moins, ce qui empêche la croissance bactérienne et fongique. Cette méthode permet de conserver les aliments pendant de longues périodes. La congélation rapide est souvent utilisée pour préserver la texture et les nutriments des aliments.
- **La surgélation :** La surgélation est une technique de congélation rapide qui permet de geler les aliments très rapidement, réduisant ainsi la formation de cristaux de glace. Cela aide à conserver la texture et les qualités organoleptiques des aliments. Cette méthode est couramment utilisée dans les industries alimentaires.

II.2 Conservation de la pomme de terre

II.2.1 Importance de la conservation de la pomme de terre

La pomme de terre est un tubercule légume de la famille des Solanacées, proche du poivron, de l'aubergine ou du piment. Il porte le nom de Solanum tuberosum.

La pomme de terre est originaire de l'Amérique du Sud et est cultivée dans plus de 150 pays à différentes altitudes. Sur la Figure 5[17] ci-dessous à quoi ressemble le tubercule de pomme de terre :

Figure 5 : Tubercules de pomme de terre

Au Niger, on cultive la pomme de terre pendant la saison fraîche. Sa production se déroule dans toutes les régions du pays sur une superficie de 3 432 hectares, avec une production estimée à 88 139 t (MAG 2013). La production de Tahoua, qui représente 28 654,6 t et représente 33 % de la superficie, est la première, suivie d'Agadez (27 668 t), Dosso (9 102 t), Tillabéry (8 857 t), Maradi (4 936 t), Zinder (4 790 t), Niamey (3 041 t) et Diffa (1 261 t).[17]

Il s'avère nécessaire de savoir qu'il existe jusqu'à 113 [18] variétés de pomme de terre; 8 variétés [18] de pomme de terre sont utilisées par les producteurs Nigériens à savoir Rosanna ; désirée ; Pamela ; Yona ; Roudole ; spinta ; stemster et Kondor, chacune possédant ses propres caractéristiques de conservations.

II.2.1.1 Température et condition de conservation de la pomme de terre

- **Température**

La température varie, comme indiqué dans le Tableau *1*, en fonction de :

- La durée du stockage
- La destination de la production

Tableau 1 : Température de conservation de la pomme de terre selon l'usage et la durée de conservation[19]

Durée de stockage	Destination de la production	Température de conservation
Moins de trois mois	Consommation Transformation Semences	8 à 10 °C 8 à 10 °C 5 à 12 °C
Plus de trois mois	Consommation Transformation **Semences**	4 à 7 °C 7 à 8 °C **2 à 4 °C**

Conditions de conservations

La conservation de la pomme de terre est essentielle pour préserver sa qualité, sa saveur et sa valeur nutritionnelle. Plusieurs facteurs jouent un rôle clé pour maintenir sa qualité à savoir :

- **Température :** Les pommes de terre doivent être conservées dans un endroit frais, idéalement entre 4 et 10 °C. Des températures plus élevées peuvent entraîner la germination et le développement de maladies.
- **Lumière :** Les pommes de terre doivent être stockées à l'abri de la lumière directe, car celle-ci peut provoquer le verdissement et la production de solanine, une substance toxique.
- **Humidité :** L'humidité doit être modérée. Un environnement trop humide peut favoriser la pourriture, tandis qu'un environnement trop sec peut déshydrater les tubercules.
- **Circulation d'air :** Il est important de garantir une excellente circulation de l'air autour des pommes de terre pour éviter l'accumulation d'humidité et réduire le risque de moisissures.

Ces conditions de conservations sont circonscrites dans le Tableau *2* suivant :

Tableau 2 : Conditions de conservations de la pomme de terre[20]

Propriétés thermiques					Conservations de produits frais			
Point de congèle	Chaleur spécifique en kJ/kg°C		Chaleur latente de congélation	Chaleur de respiration	Température de conservation	Humidité relative	Durée de conservation	Densité d'entreposage
°C	Avant congèle	Après congèle	KJ/kg	KJ/kg 24 h	°C	%	-	(kg/m^3)
-0.61	3.56	1.84	270	3.35 à 7.54	+2 à +12	85 à 90	4 à 8 mois	440

II.2.2 Problématiques énergétiques liées à la conservation de la pomme de terre

Les pommes de terre sont des aliments riches en eau et en nutriments, ce qui les rend particulièrement délicats à conserver. Leur tubercule contient en effet entre 80 et 90 % d'eau, ce qui le rend vulnérable à la pourriture et à la germination. Pour prolonger leur durée de vie, il est nécessaire de trouver l'équilibre adéquat entre les différents facteurs. Tout d'abord, il est important de tenir compte de la dormance naturelle de la variété de pomme de terre, qui peut varier en fonction de sa génétique. Ensuite, l'utilisation de produits inhibant la germination peut aider à prévenir la formation de germes indésirables. Enfin, la température de stockage est un élément clé pour prolonger la fraîcheur des pommes de terre.

La conservation de la pomme de terre peut poser plusieurs problématiques énergétiques, notamment :[21]

- Lorsqu'il s'agit de stocker des pommes de terre, il est indispensable de prendre en compte à la fois la température de l'entrepôt et les conditions de récolte. En effet, si les pommes de terre sont récoltées humides, cela demandera plus d'énergie pour les sécher et les conserver correctement ;
- Pour assurer une conservation optimale, on a souvent recours à la méthode de refroidissement mécanique, qui utilise un système de gaz à expansion directe (DX) avec un fluide frigorigène circulant à travers des tuyaux à l'intérieur et à l'extérieur de l'entrepôt. Un ventilateur sert à aspirer l'air à travers les serpentins froids pour garantir une bonne température de stockage. L'efficacité de ce système de refroidissement peut varier en fonction de différents paramètres, tels que le type et la conception du système, les températures de refroidissement et ambiante, la quantité de réfrigérant utilisée, ainsi que les réglages de contrôle et de fonctionnement ;

- Il est essentiel, pendant toute la durée du stockage, de veiller à bien aérer l'entrepôt pour sécher les pommes de terre humides issues de la récolte, mais aussi de maintenir des températures stables afin d'éviter toute condensation qui pourrait compromettre la conservation des pommes de terre ;
- Il est crucial de prêter attention à la condensation lors du stockage des produits, car elle peut causer des problèmes de qualité tels que des dommages cutanés et la prolifération de bactéries. Par exemple, à une température de 10 °C et une humidité relative de 95 %, une simple baisse de 1,14 °C peut provoquer la formation de condensation. C'est pourquoi maintenir une température constante est essentiel tout au long de la période de stockage ;
- En outre, il est important de veiller à ce que l'air circule de manière efficace, car la circulation de l'air joue un rôle crucial dans le maintien de la qualité des produits stockés. Dans le cas des magasins de stockage, le volume et la vitesse de l'air sont des facteurs déterminants de cette circulation. Une vitesse d'air trop faible peut entraîner un mélange inadéquat de l'air, compromettant ainsi la qualité des produits.

II.3 Méthodes de conservation (traditionnelles et modernes)

II.3.1 Méthodes traditionnelles de conservation de la pomme de terre au Niger

La conservation traditionnelle de la pomme de terre au Niger repose sur des méthodes éprouvées qui permettent aux agriculteurs de stocker leurs récoltes pendant des périodes prolongées. Voici quelques-unes des techniques utilisées :

- Stockage en terre : Les agriculteurs creusent des tranchées dans le sol et y placent les pommes de terre. La terre agit comme un isolant naturel, protégeant les tubercules des variations de température et d'humidité.
- Stockage en sacs en jute ou en paille : Les pommes de terre sont placées dans des sacs en jute ou en paille, qui permettent une bonne ventilation tout en protégeant les tubercules de la lumière directe.
- Stockage dans des greniers traditionnels : Certains agriculteurs utilisent des greniers en bois ou en bambou pour stocker leurs pommes de terre. Ces structures offrent une bonne circulation d'air et protègent les tubercules des rongeurs et des insectes.
- Stockage en fosse : Les agriculteurs creusent des fosses dans le sol et y placent les pommes de terre. Ils recouvrent ensuite les tubercules de paille ou de feuilles pour les protéger.

- Stockage en tas : Les pommes de terre sont empilées en tas dans des endroits ombragés. Cette méthode est simple et efficace pour les petites quantités.
- Séchage au soleil : Avant le stockage, les pommes de terre sont étalées au soleil pour les sécher. Cela réduit leur teneur en humidité et prolonge leur durée de conservation.

Avant le stockage, les agriculteurs trient soigneusement les pommes de terre pour éliminer celles qui sont endommagées ou pourries. Cela évite la propagation de maladies et de pourriture.

Il est important de noter que la réussite de la conservation dépend de plusieurs facteurs, notamment la qualité initiale des pommes de terre, la gestion de l'humidité et de la ventilation, ainsi que le suivi régulier de l'état des tubercules.

Dans les régions chaudes et humides, la réfrigération est essentielle pour conserver les pommes de terre et éviter les pertes de poids et la détérioration de leur qualité. Cela permet de les stocker plus longtemps sans risque de germination, pourriture ou flétrissement, ainsi que de maintenir la vigueur des semences pour de bonnes récoltes. Cependant, ces avantages nécessitent des investissements importants et des frais de gestion des entrepôts frigorifiques.

Figure 6 : Techniques traditionnelles de la conservation de la pomme de terre au champ [13]

II.3.2 Méthode moderne de conservation

II.3.2.1 Modes de stockage par le froid dans les entrepôts frigorifiés

Il existe trois principales modes d'entreposage des pommes de terre :

- Il est possible de stocker en vrac si l'entrepôt est équipé d'un système de ventilation forcée. L'air froid, sous basse pression, est propulsé dans le tas de pommes de terre par des canalisations placées sous le sol ou à la surface du sol. Le séchage nécessite une ventilation de 100 à 120 m^3 d'air par tonne/heure [19]. Le stockage peut être élevé jusqu'à 3 à 4 mètres[19]. De plus, il est essentiel de garantir une répartition uniforme de l'air à travers le tas tout au long de la période de conservation. Une illustration du mode de stockage en vrac a la *Figure 7 :*[19]

Figure 7 : Mode de stockage frigorifique en vrac

N.B. : ce mode de stockage est adapté, plutôt, aux pays à climat tempéré.

- Le stockage des sacs de Jute à grandes mailles nécessite une organisation précise pour garantir une bonne ventilation. En effet, dans un entrepôt frigorifique équipé d'un système de ventilation forcée, il est possible d'empiler les sacs jusqu'à une hauteur de 3 à 4 mètres. Cependant, si la ventilation est naturelle, il est recommandé de disposer les sacs en piles de deux, ne dépassant pas une largeur de deux sacs et une hauteur de six à huit sacs couchés. De plus, il est important de laisser un espace vide de 30 à 40 cm[19] entre les piles de sacs pour assurer une bonne aération. Cette organisation permet de préserver la qualité des produits stockés et d'éviter tout risque de détérioration due à une mauvaise circulation de l'air.

Figure 8 : Mode de stockage en sac de Jute [18]

- Les stockages en palox ou en caisses en plastique est susceptible de développement de maladies, mais il a une capacité de stockage légèrement plus faible par m^3. Les piles de palox ou caisses doivent être situés dans des espaces vides, en assurant que la hauteur ne dépasse pas l'évaporateur.

N.B. : Il est très pratique de conserver différentes variétés dans une même chambre frigorifique en utilisant des sacs, des palox ou des caisses.

Figure 9 : Mode de stockage frigorifique en palox [19]

II.4 Impacts de la conservation sur la qualité de la pomme de terre

La conservation de la pomme de terre peut avoir plusieurs impacts sur sa qualité, notamment :

- Perte de fraîcheur : La pomme de terre peut perdre de sa fraîcheur et de son goût si elle est mal conservée. Une mauvaise conservation peut entraîner un ramollissement, une dégradation de la texture et une perte de saveur.
- Perte de nutriments : Une conservation inadéquate de la pomme de terre peut entraîner une perte de nutriments essentiels tels que les vitamines et les minéraux. Cela peut diminuer la valeur nutritive de la pomme de terre et affecter sa qualité nutritionnelle.
- Formation de germes : Si les pommes de terre sont conservées dans des conditions inappropriées, elles peuvent développer des germes et devenir impropres à la consommation. Les germes peuvent également causer une détérioration de la qualité de la pomme de terre.
- Moisissure : Une conservation incorrecte peut favoriser le développement de moisissures sur la pomme de terre, ce qui peut entraîner des problèmes de santé si elle est consommée. De plus, la présence de moisissures peut altérer le goût et la qualité de la pomme de terre.

En résumé, une conservation appropriée de la pomme de terre est essentielle pour préserver sa qualité, sa fraîcheur et sa valeur nutritive. Il est recommandé de stocker les pommes de terre dans un endroit frais, sec et sombre, et de les inspecter régulièrement pour éviter toute détérioration.

III. Généralités sur les chambres froides

III.1 Définition

Une chambre froide est un équipement industriel destiné à stocker des produits périssables en les maintenant à une température basse. Elle fonctionne en éliminant une partie de la chaleur d'un objet, ce qui permet de le refroidir. Ces installations sont particulièrement bénéfiques pour les grandes et moyennes surfaces, la restauration, les entrepôts, les laboratoires, ainsi que pour les secteurs de la pétrochimie et de l'agro-alimentaire, entre autres.

Ainsi, il est possible de prolonger la conservation des denrées alimentaires tout en préservant leurs qualités nutritionnelles. Pour cela, les produits sont entreposés dans des chambres réfrigérées à une température adéquate, permettant de les rendre disponibles aux consommateurs bien après leur récolte. Des études ont montré qu'en maintenant une température inférieure à celle de l'environnement, on peut retarder le processus de dégradation, passant d'une durée de trois à quatre jours à une période de six à huit mois, en fonction de l'espèce et de la variété des aliments.[22]

En fonction du type de produit à manipuler, les calculs relatifs à une chambre froide doivent respecter trois critères :

- La température ;
- L'hygrométrie ;
- La ventilation.

Les chambres froides garantissent que les aliments restent frais et non altérés.

La température est une grandeur physique fondamentale, ce qui conduit à la distinction entre deux types de chambres froides en fonction de celle-ci : les chambres froides positives et les chambres froides négatives, selon le niveau de refroidissement requis pour l'environnement à traiter.[23]

La chambre froide fonctionne grâce à une machine frigorifique, qui peut être à compression ou à sorption. La technologie la plus couramment utilisée est celle de la machine frigorifique à compression de vapeur. Ce système se compose principalement des éléments suivants :

- Un évaporateur, qui absorbe la chaleur du milieu à refroidir.
- Un compresseur, qui comprime le fluide frigorigène pour en augmenter la pression et la température.
- Un condenseur, qui dissipe la chaleur absorbée par le fluide frigorigène dans l'environnement extérieur.
- Un détendeur, qui réduit la pression du fluide frigorigène pour le préparer au cycle suivant.

III.2 Les types de chambres froides

Il existe deux types de chambre froide : la chambre froide positive et la chambre froide négative.

III.2.1 Les chambres froides positives

Les chambres froides positives sont des chambres ou règne une température située au-dessus de 0 °C. Elles sont utilisées pour conserver les aliments. On y observe toutefois une température d'évaporation de −5 °C. Cette température varie selon les aliments qu'elle contient. Elle est principalement utilisée pour les fruits et légumes qui ne nécessitent pas de réfrigération. Certains types de réfrigérants sont conseillés comme le R134A. On parle aussi de froid commercial pour ce type de chambre.[22]

III.2.2 Les chambres froides négatives

Les chambres froides négatives présentent une température inférieure à 0 °C. Généralement à −18 °C, elle peut être configurée pour une température plus basse. Elles sont utilisées pour surgeler les aliments. La température d'évaporation ne dépasse généralement pas les −30 °C. Les produits concernés par ce type de chambre sont les aliments qui doivent être conservés sur une longue période, mais aussi dans le milieu de la recherche pour les salles blanches par exemple. Pour cette catégorie, on conseille le réfrigérant R404A. On parle aussi de froid industriel pour ce type de chambre.[22]

Pour assurer la conservation à grande échelle des produits agricoles, la réfrigération demeure la méthode privilégiée. Cette technique permet de maintenir les produits en bon état pendant plusieurs mois. En utilisant ces méthodes de conservation par le froid, il est possible de prolonger la durée de vie des produits tout en maintenant leur qualité, ce qui est essentiel pour la sécurité alimentaire et la satisfaction des consommateurs. Toutefois, plusieurs principaux obstacles entravent son efficacité à savoir le coût énergétique élevé, nécessitent des équipements spécifiques coûteux ainsi que risque des brûlures de congélations (la qualité des aliments peut être altérée s'il y a mauvaise congélation).

IV. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DE DIMENSIONNEMENT

Dans cette partie, nous aborderons les différentes démarches méthodologiques qui nous ont permis d'établir les différentes étapes de dimensionnements de notre système afin de les adapter à nos besoins.

IV.1 MÉTHODOLOGIE (BILAN THERMIQUE, BILAN DE PUISSANCE, CHOIX DES ÉQUIPEMENTS)

IV.1.1 Méthodologie de détermination du bilan thermique

Pour atteindre les objectifs fixés à la présente étude, la démarche méthodologique que nous adopterons sera basée sur des étapes déterminantes suivantes pour analyser nos besoins en froid :

- Conditions climatiques de la zone d'étude ;
- Identification et type de bâtiment ;
- Caractéristiques du bâtiment (dimensions, matériaux de construction) ;
- Type de chambre froide (positive, négative) ;
- Capacité de la chambre froide ;
- Occupation et utilisation (activités réalisés, horaires d'occupation).

Dans cette partie, il s'agit de faire une étude thermique de notre chambre froide. Pour dimensionner le bilan thermique de cette dernière, nous commencerons par établir un inventaire des sources de chaleur, incluant les apports externes (radiation solaire, chaleur ambiante) et internes (produits stockés, équipements). Ensuite, nous calculerons les pertes thermiques à travers les parois, portes et autres surfaces, en tenant compte des coefficients de conductivité des matériaux et des différences de température. Enfin, nous additionnerons toutes les sources de chaleur pour déterminer la puissance frigorifique nécessaire, puis nous sélectionnerons un

système de réfrigération adapté en fonction de cette valeur.

IV.1.2 Informations sur les données climatiques de la zone

IV.1.2.1 Le potentiel solaire du Niger

La carte d'ensoleillement du Niger se présente comme suit [24]:

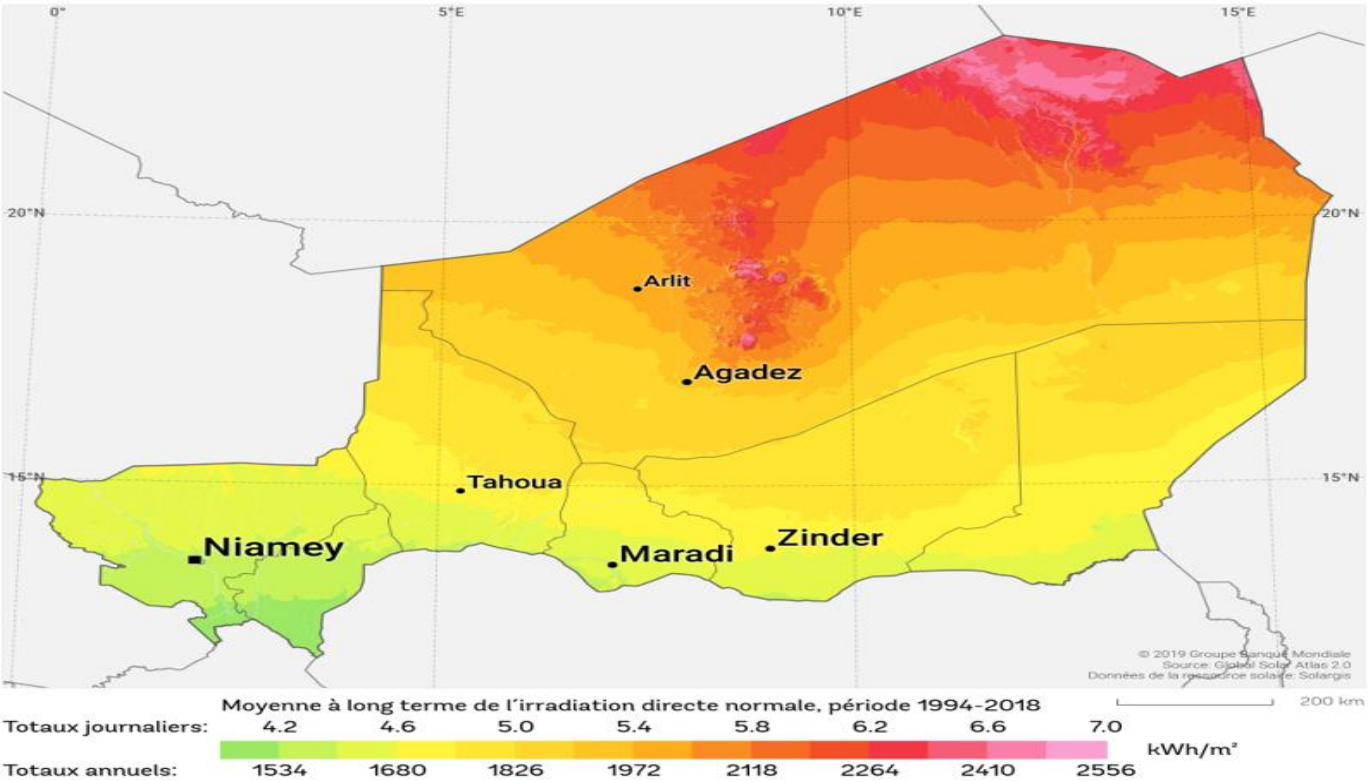


Figure 10 : Le potentiel solaire du Niger

IV.1.2.2 Potentiel solaire du site

En l'absence de stations météorologiques proches, et en considérant que les sites situés sur une même latitude reçoivent la même quantité de rayonnement solaire, nous nous sommes référés aux données météorologiques de la commune de Tabelot pour évaluer la productible énergétique du site.

Dans la recherche de précision sur le gisement solaire, nous avons recouru aux sources de données météorologiques des bases de :

- Météonorm 8 et de la NASA intégrées dans PV-Syst qui est un logiciel de simulation, mondialement reconnu pour les études de productible de centrales photovoltaïques. La

base Météonorm 8 constitue la principale source de données utilisée par le logiciel, car elle offre des informations fréquemment mises à jour et plus fiables que celles issues des observations satellitaires.

- ERA5 intégrée dans PVGIS qui est une application Web sur le système d'Information Géographique Photovoltaïque de l'Union européenne permettant d'obtenir des données sur le rayonnement solaire et la production d'énergie d'un système PV dans la plupart des régions du monde. Les données utilisées par le logiciel ont été calculées à partir d'images satellitaires ;
- Solar Gis qui permet d'avoir des cartes indiquant les différents taux d'irradiation avec des détails par pays. La base est utilisée par Global Solar Atlas pour le productible photovoltaïque d'un site suivant la puissance installée.

Dans cette estimation du gisement solaire des sites, nous avons retenu les données issues des sources provenant de la NASA, Météonorm 8 et d'ERA5 comme des données auxquelles nous allons nous référer pour évaluer les productibles des centrales solaires à installer.

La figure ci-dessous donne un aperçu des données mensuelles de l'irradiation de ces 3 sources qui présentent des écarts de moins de 10 %.

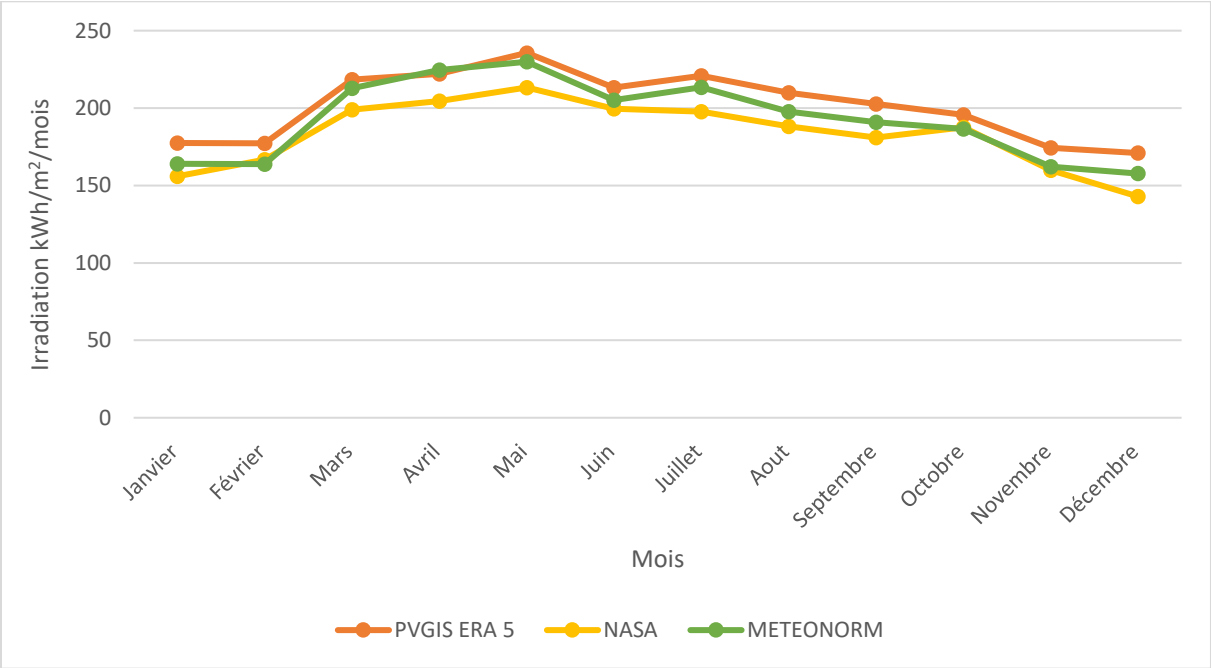


Figure 11 : Données mensuelles d'irradiation des 3 sources de données

Les données d'ensoleillements annuels de ces 3 sources de données sont :

- Météonorm 8 : 2 287,80 kWh/m²/an

- NASA : 2 196,10 kWh/m²/an

- ERA 5 : 2 390,56 kWh/m²/an

Ces informations viennent confirmer, d'après les cartes établies par Solar Gis (figures ci-dessous) [25], que les sites sont situés dans une zone à fort taux d'ensoleillement comprise entre 2 100 et 2 400 kWh/m² et donc favorable à l'implantation de systèmes solaires.

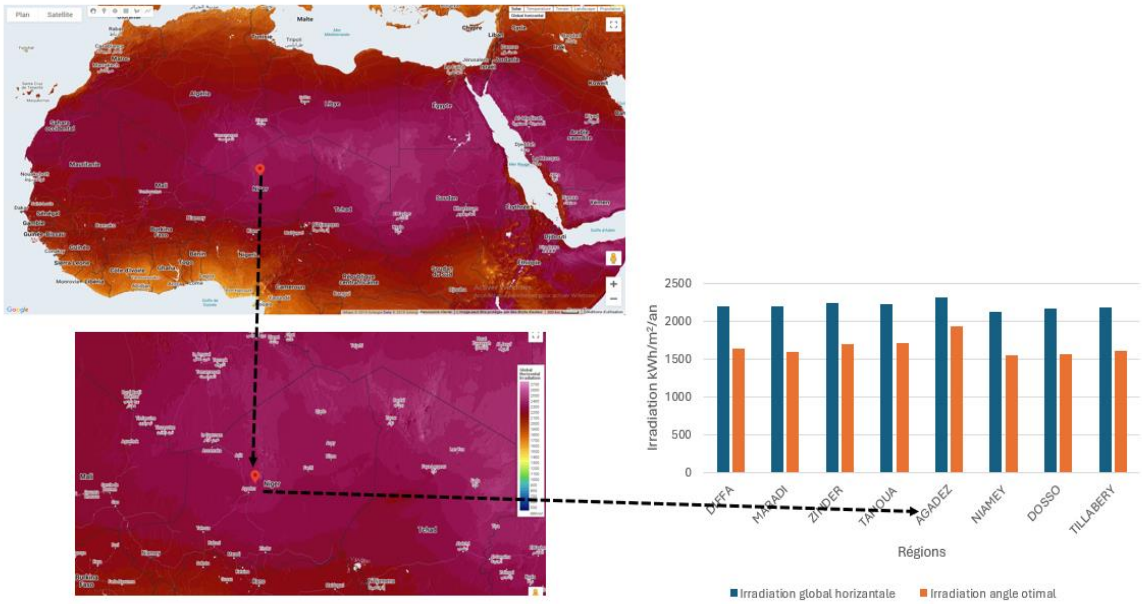


Figure 12 : Carte d'ensoleillement Solar Gis du Niger

IV.1.2.3 Données températures moyennes annuelles du site

En plus de bénéficier d'une ressource solaire importante, les sites jouissent, en raison de leur position en haute altitude, des conditions de température des plus clémentes par rapport aux autres régions du pays. Ces températures relativement faibles participent au bon fonctionnement des panneaux et permettent de préserver les batteries contre les risques de dégradation rapide.

La température du site varie entre un minimum annuel moyen d'environ 15°C à un maximum de 32°C. Ce qui constitue des conditions adaptées pour un fonctionnement optimal des systèmes photovoltaïques.

Les températures moyennes mensuelles, sur le site de Toukadi, de 2018 à 2020, sont compilées sur le graphique suivant :

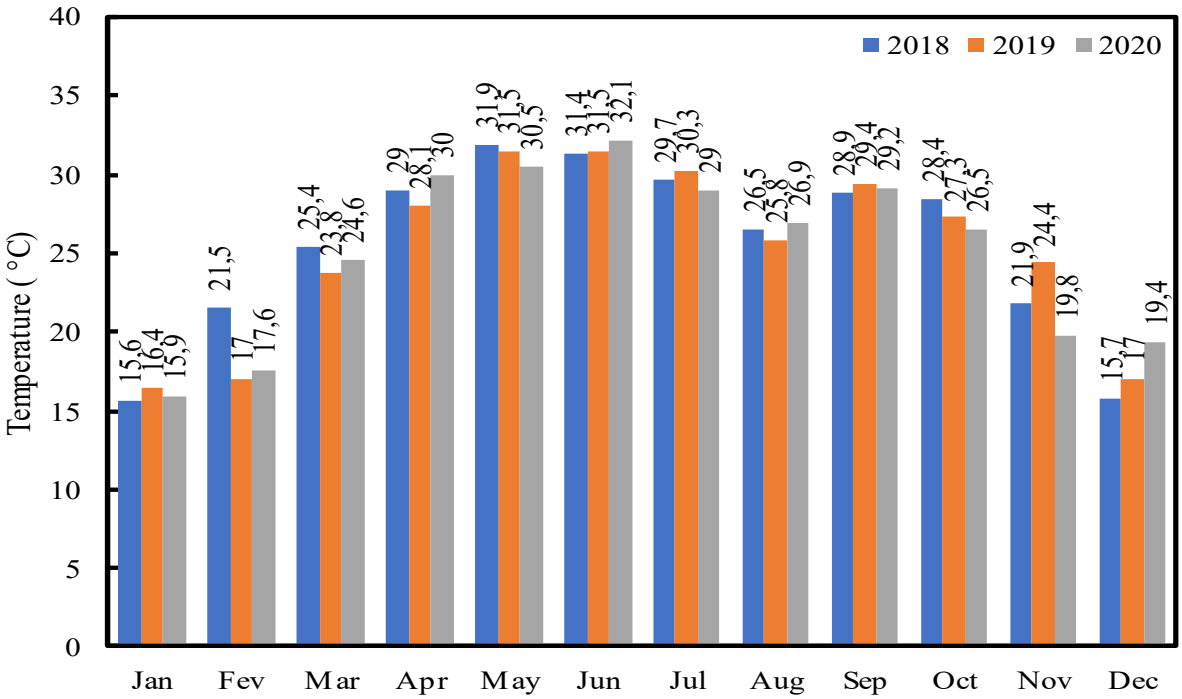


Figure 13 : Température moyenne mensuelle du site

Pour notre bilan thermique, nous devons maintenir une température intérieure de 4 °C, avec une température extérieure maximale moyenne annuelle de 32 °C.

IV.1.2.4 Vitesse de vent du site

Le site enregistre des vitesses de vent mensuelles moyennes comprises entre 3,13 à 4,51 m/s (figure 14) en dessous de la limite normative de 33 m/s que les supports des panneaux solaires doivent pouvoir supporter. Ces conditions de vent ne posent aucun obstacle à l'installation d'un champ solaire sur le site.

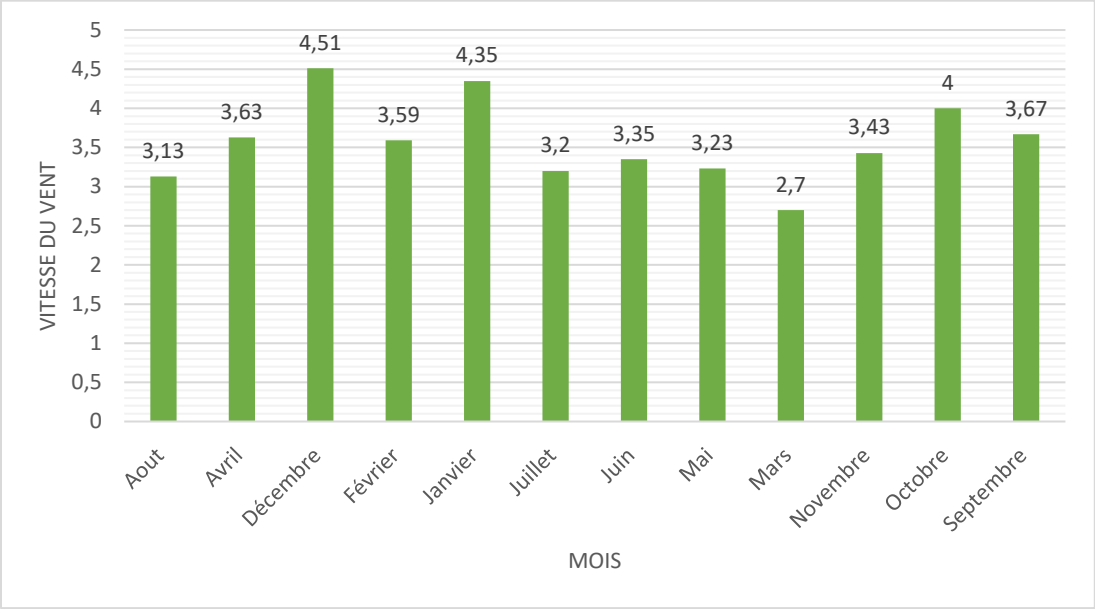


Figure 14 : Vitesse de vent site de Toukadji

IV.1.3 Spécifications techniques du magasin de stockage

Nous allons commencer par donner les spécifications techniques de la chambre froide ainsi que sa représentation schématique.

La capacité d'entreposage de notre entrepôt est de 100 tonnes avec les dimensions suivantes :

- Longueur : L= 25 m ;
- Largeur : l= 10,4 m ;
- Hauteur : H= 4,55 m ;
- Épaisseur des murs : 20 cm
- 3 couches d'enduits en mortier de ciment d'une épaisseur totale de 30 mm ;
- Pour le type d'isolation, ce sont des planches en bois qui sont plaquées au mur à l'intérieur de la chambre froide.

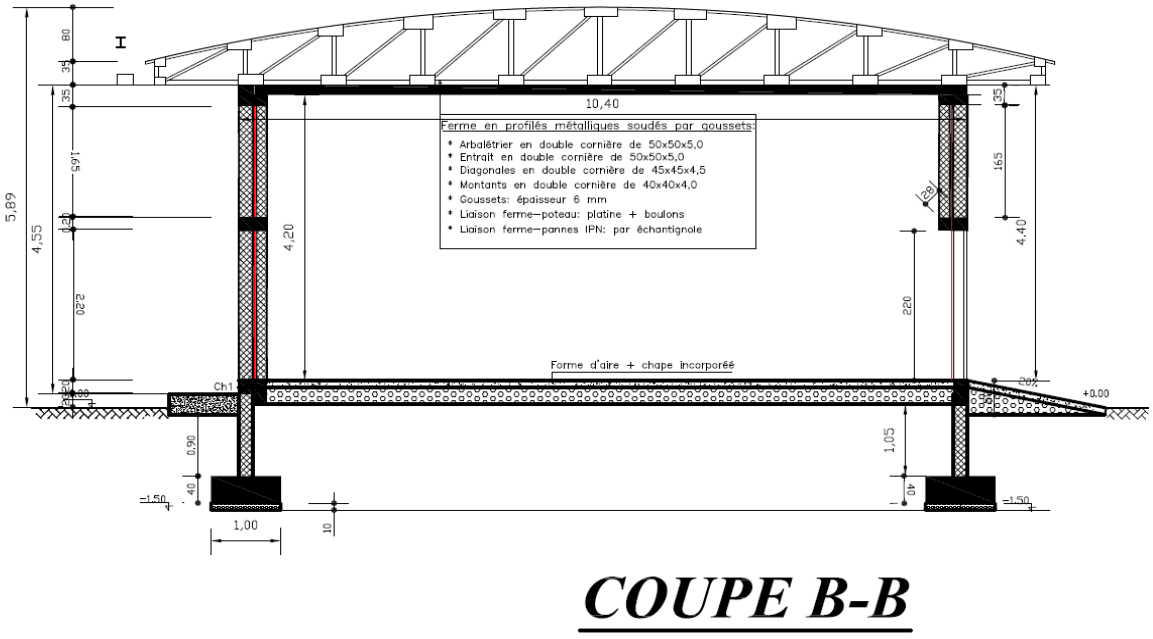


Figure 15 : Plan de coupe de la chambre froide

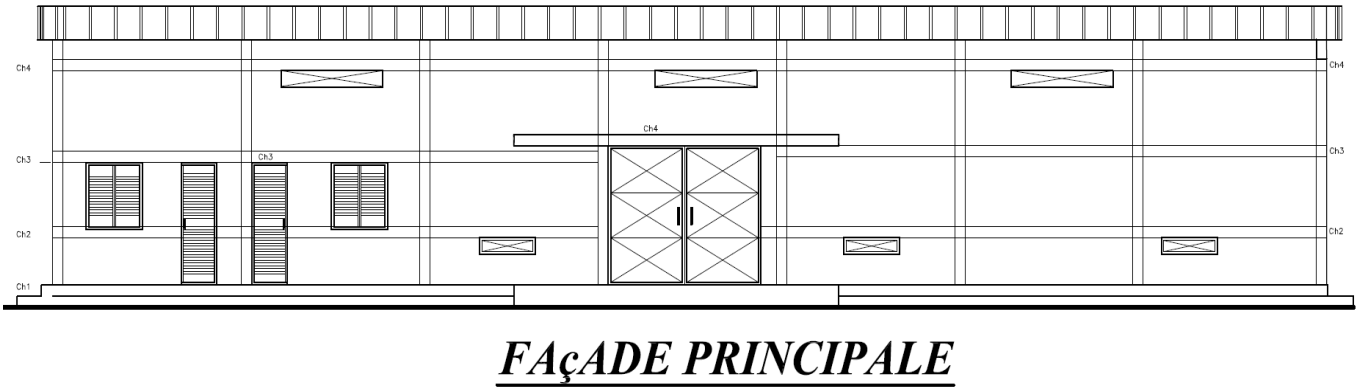
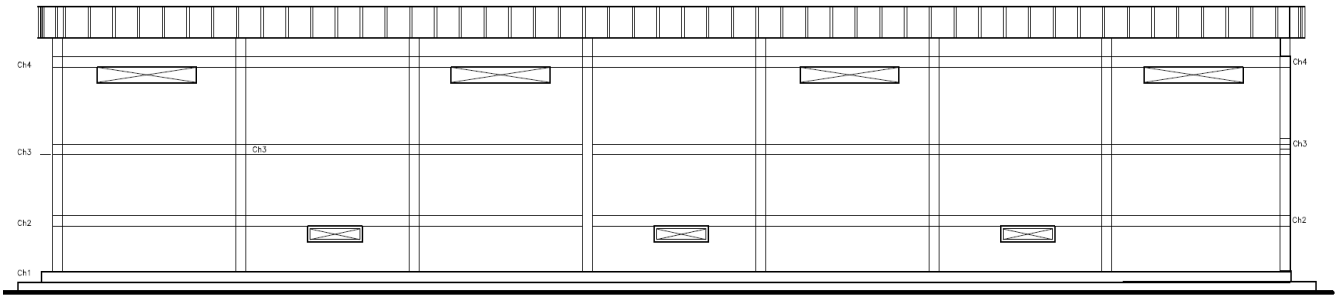


Figure 16 : Façade principale de la chambre froide



FAçADE ARRIERE

Figure 17 : Façade arrière de la chambre froide

IV.1.4 Orientation de la chambre froide

Les panneaux solaires photovoltaïques imposent une orientation à la chambre froide afin de maintenir une production assez importante à l'inclinaison optimale. De cette manière, les panneaux solaires photovoltaïques sont orientés vers le Sud avec un angle d'inclinaison de 15°.

IV.1.5 Méthodologie calcul des différentes charges thermique de la chambre froide

Le calcul des charges thermiques d'une chambre froide a pour objet la détermination de la puissance frigorifique de l'équipement à mettre en œuvre pour la réfrigération de cette chambre. Les charges thermiques d'une chambre froide se répartissent en deux catégories : les charges thermiques externes et les charges thermiques internes.

IV.1.5.1 Les différents apports de chaleur pour la chambre froide

- **Apport par transmission à travers les parois Qtr**

La charge thermique par transmission a pour valeur :

$$Q_{tr} = \sum \varphi \times S \qquad (1)$$

- Qtr : charge thermique par transmission à travers les parois (en W)
- φ : densité de flux de chaleur en W/m². °C
- S : surface de la paroi considérée en m²

- **Apport par renouvèlement d'air Qren**

Il est prévu que l'air ambiant soit renouvelé dans certaines chambres froides. Le renouvellement est le processus de substitution d'une partie de l'air de la chambre froide par de l'air extérieur. Il est essentiel de refroidir la quantité d'air neuf admise de la température extérieure à la température de la chambre froide, ce qui entraîne une charge thermique.

La charge thermique de renouvellement d'air a pour valeur :

$$Q_{ren} = \frac{n \times V \times \rho_{aa} \times \Delta h}{86400} \quad (2)$$

- Qren : chaleur due au renouvellement de l'air en W ;
- V : volume intérieur de la chambre froide en m^3 ;
- n : taux de renouvellement de l'air extérieur

$N = 70 / (V)^{1/2}$ pour les chambres positives.

$N = 85 / (V)^{1/2}$ pour les chambres négatives.

- ρ_{aa} : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m^3 ;
- Δh : différence d'enthalpie entre l'air extérieur et intérieur de la chambre en J/kg ;

Nous avons utilisé le logiciel de diagramme de l'air humide de Fred Benêt pour pouvoir déterminer les enthalpies en conditions extérieur et intérieur de la chambre froide. Les résultats de ces différentes valeurs sont référencés en annexe 11.

- 86 400 : nombres de secondes dans une journée).

Les produits, les machines et les personnes circulent entre l'extérieur et l'intérieur de la chambre froide, ce qui entraîne un taux de renouvellement.

❖ **Apport par infiltration d'air Qop**

Pour les chambres froides de petite taille, le calcul du renouvellement d'air est adéquat. En revanche, dans les chambres froides de grande taille avec plusieurs portes, on suppose généralement qu'il n'y a que très rarement plusieurs ouvertures simultanées et le calcul est réalisé pour une seule porte.

A est un facteur qui se calcule comme suit :

$$A = (h_{ae} - h_{aa}) \times \left(h \times \left(1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}\right)\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

- ρ_{ae} : masse volumique de l'air de l'autre côté de la porte en kg/m3
- h_{aa} : enthalpie de l'air dans la chambre froide en kJ/kg
- h_{ae} : enthalpie de l'air de l'autre côté de la porte autre que la chambre froide en kJ/kg

Pour déterminer la différence de température entre les différentes faces des parois, principalement celles en contact avec des locaux non conditionnés dans le magasin[26] nous appliquerons la formule suivante :

$$\Delta T = T_{ext} - T_{int} - 3 \quad (4)$$

❖ Détermination du temps d'ouverture des portes d'une chambre froide

$$t_{ouv} = d_t \times \frac{f_j}{24} \quad (5)$$

- t_{ouv} : temps d'ouverture en mn/h
- d_t : durée moyenne d'ouverture des portes pour permettre le passage des marchandises en minute par tonne (mn/t), le choix de la valeur de cette durée est détaillé en annexe 2.2.
- f_j : flux journalier de marchandises en tonne/jour (t/j) (considérant par jour on a 10% des denrées qui rentrent des 100 tonnes donc 10 tonnes).

La charge thermique par ouverture des portes s'obtient par la relation suivante :

$$Q_{op} = 8 + (0.067 \times \Delta T) \times t_{ouv} \times \rho_{aa} \times l \times h \times A \times C_{min} \quad (6)$$

- Q_{op} : charge thermique par ouverture des portes en W ;
- ΔT : Écart de température de l'air entre les 2 côtés de la porte en °C ;
- ρ_{aa} : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m^3 ;
- l : largeur de la porte en m ;
- h : hauteur de la porte en m ;
- C_{min} : coefficient de minoration dû à la présence éventuelle d'un rideau d'air.

(C_{min} = 1 dans le cas d'une porte sans rideau et C_{min} = 0.25 en présence d'un rideau).

❖ **Apport par l'éclairage Q_{ec}**

La résistance au froid, à l'humidité, l'étanchéité à l'eau, la protection contre les contacts avec tout objet (degré de protection IP 68 conformément aux normes NF C 20-010 et 51-115) et l'insensibilité aux effets de la poussière sont des caractéristiques essentielles des luminaires des chambres froides classiques.[20]

Connaissant les nombres de luminaires qui devraient être installés dans la chambre froide ainsi que leurs caractéristiques (lampes fluorescentes de 120 cm de 18 W) à partir du plan.

La charge thermique due à l'éclairage se calculera alors d'après la formule suivante :

$$Q_{ec} = \frac{n_l \times P' \times t}{24} \tag{7}$$

- Qec : charge thermique due à l'éclairage en W ;
- n_l : nombre de luminaires ;
- P' : puissance de chaque luminaire en W ;
- t : durée de fonctionnement des luminaires en h/j.

❖ **Apport par le personnel Qpe**

La charge thermique due aux personnes se calcule d'après la formule :

$$Q_{pe} = \sum_{i=1}^{n_p} \frac{q_p \times t_i}{24} \tag{8}$$

- Qpe : charge thermique due aux personnes (en W) ;
- n_p : nombre de personnes opérant dans la chambre froide ;
- q_p : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité en W ;
- t_i : durée de présence de chaque personne dans la chambre froide en h/j.

Le métabolisme d'une personne en activité dans une chambre froide est lié à la température intérieure de celle-ci.

L'annexe 2.1 donne le métabolisme d'une personne en activité dans une chambre froide en fonction de la température de celle-ci.

❖ **Apport due aux denrées entrantes**

Nos pommes de terre sont introduites à une température de 28 °C, et la température à l'intérieur de la chambre est à 4 °C, ce qui nous donne un écart de température ΔT de 24 °C.

$$Q_{de} = \frac{m \times C1 \times (T1 - T2)}{86400} \quad (9)$$

- Qde : apport de chaleur par les denrées en W ;
- m : masse des denrées introduites dans la chambre froide par jour ;
- C1 : capacité thermique massique des denrées en J/kg. °C ;
- T1 : température d'introduction des denrées ;
- T2 : température à l'intérieur de la chambre froide.

❖ **Apport par la respiration de la marchandise Qresp**

$$Q_{resp} = \frac{m \times q_{resp}}{86400} \quad (10)$$

Avec :

- Qresp : chaleur due à la respiration des denrées en W,
- m : Masse de la pomme de terre introduite dans la chambre froide (kg) ;
- q_{resp} : Chaleur de respiration de la pomme de terre en J/kg/j.

❖ **Apport par la ventilation Qv**

La charge thermique due aux moteurs des ventilateurs est la suivante :

$$Q_v = \frac{P'' \times S \times t_{vent}}{24} \quad (11)$$

Avec :

- P'' = 30 W/m^2 : puissance d'un niveau de ventilation moyenne par unité de surface[27] ;
- S : Surface de la chambre froide en m^2 ;
- t_{vent} : durée de fonctionnement des ventilateurs en h.

❖ **Apport de chaleur due aux déshumidificateurs**

Calculons d'abord la capacité de déshumidification par heure :

Pour calculer la capacité de déshumidification par heure d'une pièce afin d'augmenter l'humidité de 70 % à 90 % à une température de 4 °C, nous devons suivre plusieurs étapes.

Étape 1 : Calcul de la quantité d'eau dans l'air à 70 % et 90 % d'humidité relative (HR)

Pour cela, nous avons besoin de connaître la teneur en vapeur d'eau dans l'air à ces deux niveaux d'humidité et à la température donnée (4 °C).

À 4 °C, la pression de saturation de la vapeur d'eau est d'environ 0,625 kPa (ou 625 Pa).

- **Calcul de la teneur en vapeur d'eau**

La formule pour calculer la teneur en vapeur d'eau dans l'air est :

$$T_{ve} = \frac{HR \times P_{sat}}{R} \tag{12}$$

Où :

- *HR* = humidité relative (en pourcentage)
- *Psat* = pression de saturation (en Pa)
- *R* = constante des gaz (en $J.K^{-1}.mol^{-1}$).

Pour simplifier, on peut utiliser la formule suivante pour estimer la masse d'eau dans l'air :

$$M_e = 0.622 \times \frac{HR \times P_{sat}}{P_{atm}} \tag{13}$$

Où :

- P_{atm} : la pression atmosphérique (en Pa) que l'on peut considérer à environ 101325 Pa
- M_e : la masse d'eau dans l'air (en g/m^3).

Étape 2 : Calcul du volume d'eau à déshumidifier

Pour un volume donné de la pièce à déshumidifier :

$$M_{e_{(\%HR)}} = M_e \times V_p \tag{14}$$

Où :

- $M_{e_{(\%HR)}}$: Masse de l'eau à un taux d'humidité relative donné, (en g/m^3)
- V_p : volume de la pièce à déshumidifier (en m^3).

Étape 3 : Quantité d'eau à déshumidifier

Pour passer d'un taux d'humidité relative à un autre :

$$Masse\ d'eau\ \text{à}\ déshumidifier = Masse_{(HR+)} - Masse_{(HR-)} \quad (15)$$

Étape 4 : Capacité de déshumidification par jour

Pour déterminer la capacité de déshumidification par heure, nous devons décider en combien de temps nous voulons atteindre cet objectif. Par exemple, si nous voulons atteindre cet objectif en une journée.

Un déshumidificateur peut effectivement constituer un apport de chaleur dans une chambre froide, car il fonctionne en extrayant l'humidité de l'air, mais en même temps, il libère de la chaleur dans l'environnement. Ce phénomène est dû au fait que le processus de condensation de l'humidité génère de la chaleur.

Étape 4 : Calcul du nombre de déshumidificateurs

$$n_d = \frac{V_e}{C_{extr}} \quad (16)$$

Où :

- n_d : nombre totale de déshumidificateur
- V_e : volume d'eau à déshumidifier (en L)
- C_{extr} : capacité d'extraction du déshumidificateur par jour (en L/jour).

Pour calculer l'apport de chaleur d'un déshumidificateur, il faut prendre en compte la puissance électrique consommée par le déshumidificateur, ainsi que la chaleur latente associée à la condensation de l'eau.

La chaleur latente associée à cette quantité d'eau est :

$$Q_{latente} = m \times L \quad (17)$$

Où L est la chaleur latente de vaporisation (en kJ/kg).

$$Q_d = \frac{n \times (P_{elecdsh} + Q_{latente}) \times t}{24} \quad (18)$$

Où :

- n : nombre totale de déshumidificateur dans la chambre froide
- $P_{elecdsh}$: puissance électrique consommée par le déshumidificateur
- t : temps d'utilisation.

❖ **Apport par les matériels roulants**

La charge thermique due au matériel roulant (chariots élévateurs et transpalettes) se calcule comme suit :

$$Q_m = \frac{n \times P_{ce} \times t}{24} \quad (19)$$

- Q_m : charge thermique due au matériel roulant en W
- n : nombre de matériels roulants d'un type donné
- P_{ce} : puissance totale de chaque type de chariot élévateur en W
- t : durée de fonctionnement du matériel roulant en h.

❖ **Apport total de la chambre froide**

$$Q_{int} = Q_{tr} + Q_{ren} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_m + Q_{res} + Q_v + Q_d \quad (20)$$

IV.2 Le bilan de puissance

L'approche méthodologique adaptée pour la réalisation de ce travail en fonction du matériel utilisé, est décrite comme suit :

Dans un premier temps, nous avons réalisé une collecte des données à travers un cahier de charge avec le descriptif du magasin ainsi que ses équipements qui nous ont permis d'établir le bilan des charges électriques ainsi que le temps d'utilisations afin d'évaluer et d'analyser le besoin énergétique sur feuille de calcul Excel.

IV.3 Dimensionnement de la chambre froide

IV.3.1 Bilan frigorifique et unité de réfrigération

L'unité de réfrigération a été dimensionnée en utilisant les méthodes simples pour évaluer le bilan frigorifique d'une chambre. Grâce à cette approche, il a été possible de mesurer la quantité totale de chaleur nécessaire pour maintenir une enceinte réfrigérée et son contenu à une température de consigne définie. Il est clair qu'il est nécessaire de réaliser ce bilan avec une précision sans précédent, car il a un effet direct sur le coût de l'installation et de l'exploitation de l'unité de réfrigération. On détermine la quantité de chaleur à extraire de la façon suivante :

IV.3.1.1 Charge frigorifique

Nous allons calculer ici, la charge frigorifique en appliquant un coefficient de sécurité de 20 % :

$$Q_0 = 1.2 \times \Sigma Q_{int} \tag{21}$$

IV.3.1.2 Puissance frigorifique prévisionnelle

En général, la durée de marche de l'installation frigorifique est de 18 heures par jour pour les produits congelés et de 14 a16 heures par jour dans les autres cas.

$$P_f = \frac{Q_0 \times t}{24} \tag{22}$$

t : temps de fonctionnement de l'installation frigorifique en heures (14 h).

IV.3.1.3 Nombres totaux d'évaporateurs à installer dans notre chambre froide

Pour déterminer le nombre d'évaporateurs qu'il nous faut pour répondre à nos besoins en froid afin d'extraire les différentes sources de chaleur (charges thermiques) dégagée par la chambre froide due aux divers équipements, nous utiliserons la formule suivante :

$$N_n = \frac{P_{fn}}{P_{ev_n}} \tag{23}$$

- N_n : le nombre d'évaporateurs à installer dans le local considéré
- P_{fn} : puissance frigorifique prévisionnelle de l'installation du local considéré en kW

- P_{ev_n}: puissance frigorifique d'un évaporateur du local considéré disponible sur le marché en kW, P_{ev_n} choisi (En fonction de la taille ; du prix et du fluide frigorigène).

IV.3.1.4 Puissance frigorifique réelle à installer

Pour déterminer la puissance frigorifique réelle du groupe frigorifique à installer pour alimenter les évaporateurs, nous appliquerons la formule suivante :

$$P'_{fn} = N_n \times P_{ev_n} \tag{24}$$

- P'_{fn} : puissance frigorifique réelle à installer en kW.

IV.3.2 Architecture de notre système froid

L'architecture du groupe frigorifique de notre unité de réfrigération, qui illustre l'installation de notre système de froid, est présentée dans la Figure 18 suivante :

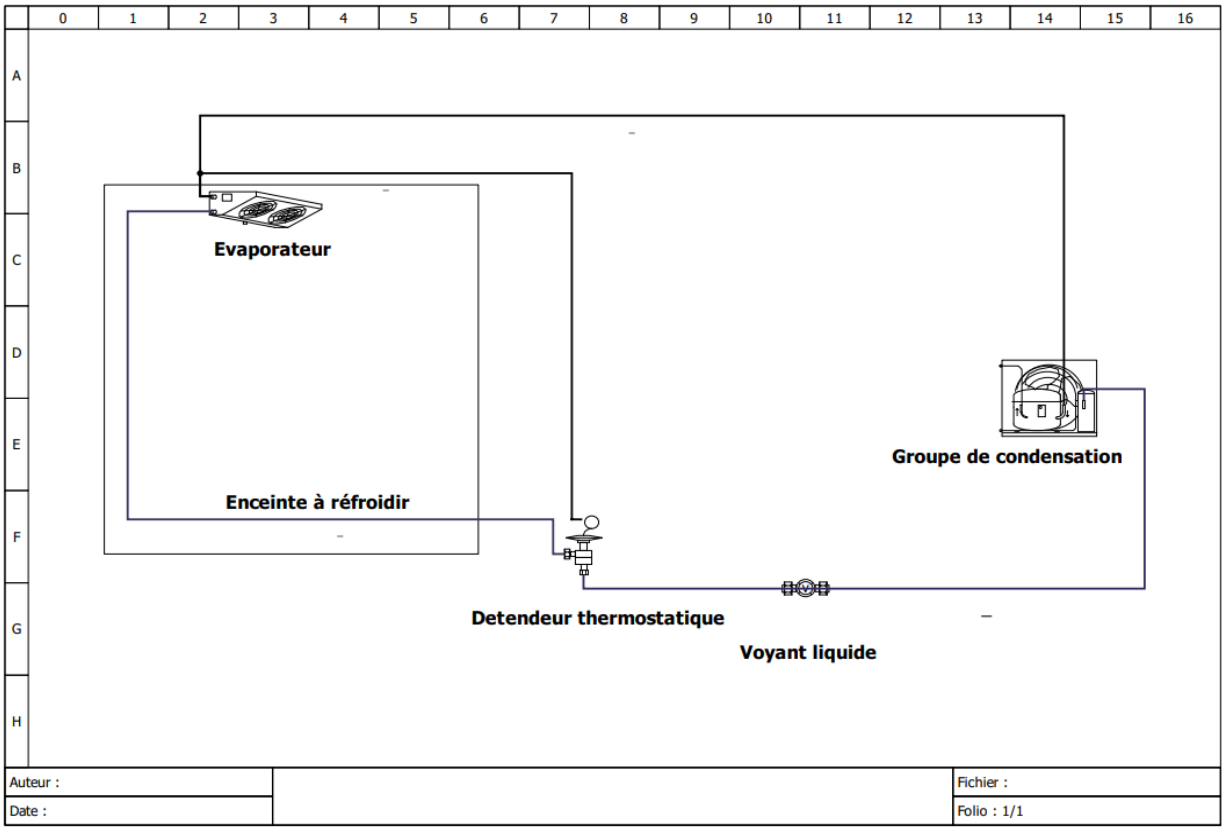


Figure 18 : Architecture système froid

Comme pour toute installation frigorifique, nous pouvons constater que l'ensemble des éléments constituants notre groupe frigorifique seront à l'extérieur de la chambre froide, à l'exception des évaporateurs qui en revanche eux seront situés à l'intérieur.

IV.4 Dimensionnement de l'alimentation solaire photovoltaïque et choix des équipements

Le dimensionnement se ferait successivement selon les étapes énoncées ci-dessous :

- Étude du potentiel solaire que dispose le Niger en général et la région d'Agadez en particulier ;
- Collecte des données météorologique et topographique du site ;
- Réalisation du modèle 3D des magasins et la disposition des modules solaires sur les surfaces disponibles en toiture des magasins ;
- Simuler les pertes d'ombrage sur l'année, prenant en compte les obstacles environnants et les distances inter rangée entre modules ;
- Évaluation des besoins journaliers énergétiques du magasin ;
- Dimensionnement du champ PV ;
- Choix des équipements de protections ;
- Proposition des lieux d'implantation du champ solaire suivant la configuration des terrains et l'architecture des magasins ;
- Étude quantitative et qualitative du coût de l'installation ;
- Étude des impacts de l'installation sur l'environnement.

IV.4.1 Outils et techniques de conception utilisés

Nous avons étudié le potentiel solaire que dispose le Niger en général et la région d'Agadez en particulier. Nous avons, dans la même mesure, évalué le besoin énergétique du magasin, et nous avons dimensionné ce besoin énergétique par deux méthodes particulières que nous verrons en détails.

Dans ce qui suit nous allons fournir la liste des matériels utilisés pour réaliser ce mémoire. Le matériel utilisé est constitué :

- D'un GPS pour prendre les coordonnées géographiques des sites ;
- De fiches de collectes des données (différentes méthodes de conservation des semences, bilan des charges thermiques et bilan des charges électriques) ;
- Excel : pour l'élaboration des calculs ainsi que la réalisation des histogrammes ;
- Du logiciel QGIS pour la cartographie de la zone d'étude ;
- Du logiciel PVSYST pour l'évaluation du potentiel solaire de la zone et pour le dimensionnement de notre système ;

- ❖ Du logiciel X-RELAIS pour la réalisation des schémas électriques unifilaire ;
- ❖ Du logiciel QELECTROTECH pour la modélisation architecturale du système froid.

IV.4.2 Méthode par calcul

Le dimensionnement d'une installation solaire PV hors réseau peut être réalisé de diverses manières. Les critères les plus couramment employés sont : la quantité d'électricité utilisée, la superficie disponible et les dépenses engagées. Dans le cadre de notre étude sur l'alimentation photovoltaïque, le dimensionnement implique d'estimer la puissance à développer, en tenant compte des besoins à satisfaire. Cependant, l'objectif principal est d'obtenir une alimentation permanente qui couvrira le pic de consommation (besoin énergétique maximum) pour chaque chambre froide sans tenir compte des périodes à vide. Ci-dessous, la figure présente la configuration de notre système PV :

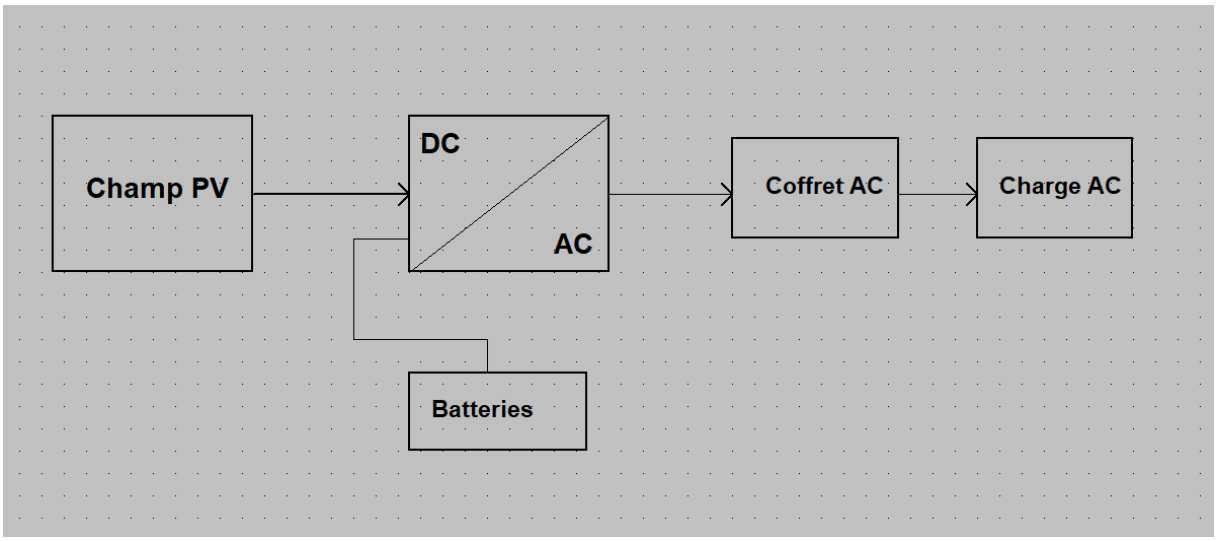


Figure 19 : Configuration système PV

Les différentes étapes qui nous ont permis de faire le dimensionnement de notre système PV sont :

- ➢ **Estimation des besoins journaliers des récepteurs**
  - La puissance installée est calculée par la formule suivant :

$$P = \sum_{i=1}^{n} Pu \times N \qquad (25)$$

Avec ;

P : puissance installée en watt

Pu : puissance unitaire d'un récepteur électrique

N : nombre des récepteurs

Cette puissance est la puissance active, car on ne tient pas compte des récepteurs à courant continu.

- La consommation électrique journalière est calculée comme suit :

$$Ec = \sum_{i=1}^{n} P \times T \quad (26)$$

Avec ;

Ec : consommation journalière en Wh.

P : puissance du récepteur en W ;

T : temps d'utilisation en h ;

Les valeurs de la puissance et de la consommation journalière seront présentées sur la figure (à préciser).

- ➢ Estimation de l'ensoleillement journalier

Il est donné en fonction de la latitude du lieu considéré et de l'orientation en plein sud (Cas du Niger, car il est dans l'hémisphère nord. L'irradiation (Ir) quotidienne du mois le plus défavorable de l'année.).

Le logiciel PVsyst nous a fourni les données météorologiques pour le site de Toukadji. Le mois le moins ensoleillé de cette ville est janvier, avec une irradiation moyenne sur un plan horizontal de **5,09 kWh / (m^2.j).** Un dimensionnement basé sur le rayonnement de ce mois sera utilisé pour répondre à la demande énergétique pour l'année entière.

Le coefficient de correction k

Pour le système PV, le coefficient k en général est compris entre 0,55 et 0,75. La valeur approchée que l'on utilise sera souvent de 0,65 qui prend en compte divers facteurs tels que :

- L'incertitude météorologique ;
- L'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison ;
- Le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par : la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des modules dans le temps ;
- Le rendement du chargeur et de l'onduleur (90 à 95 %) ;
- Les pertes dans les câbles de connexion ;[28]

- ➢ Calcul de la puissance crête à installer :

$$Pc = \frac{Ej}{H_i \times k} \quad (27)$$

Avec :

E_j (kWh/j) : Le besoin journalier en électricité ;

H_i (kWh/m^{-2}.j^{-1}) : l'ensoleillement global moyen journalier du mois le plus défavorable ;

K : facteur de correction.

Le nombre des modules est calculé par :

- Nombre de modules en série N_s est :

$$N_s = \frac{U_{n\,ond}}{V_{mp}} \quad (28)$$

Avec ;

$U_{n\text{-}ond}$: tension du fonctionnement nominale de l'onduleur (V) ;

V_{mp} : tension maximale de puissance du module (V).

- Nombre de modules en parallèle (string) N_p est :

$$N_p = \frac{P_c}{P_m \times N_s} \quad (29)$$

Avec ;

P_c : puissance crête à installer ;

P_m : puissance du module ;

N_s : nombre de modules en séries.

- Nombre total de modules est N_t :

$$N_t = N_s \times N_p \quad (30)$$

- Puissance totale à installer :

$$P_{c\,totale}(Wc) = N_s \times N_p \times P_{mod} \quad (31)$$

- **Configuration des sous-champs**

Nous configurerons nos sous-champs en fonction du nombre total d'onduleurs et des modules du champ PV que nous aurons besoin pour couvrir les charges des récepteurs.

Pour ainsi déterminer le nombre total de modules que chaque onduleur pourrait prendre, nous utiliserons la formule suivante :

$$N_{m_{sc\,ond}} = \frac{N_m}{N_{ond}} \quad (32)$$

$N_{m_{sc\,ond}}$: nombre totale de modules par sous-champ ;

N_m : nombre totale de module du champ ;

N_{ond} : nombre totale d'onduleur.

- **Choix de la technologie de l'onduleur**

Le choix de l'onduleur sera dimensionné non seulement en fonction de la puissance de la charge à alimenter, mais aussi en fonction de la puissance du champ PV. Il doit avoir les caractéristiques suivantes :

- La puissance de l'onduleur doit être supérieure ou égale à la puissance totale des charges électriques à alimenter ;
- La tension à l'entrée doit être égale à celle de fonctionnement du système ;

La puissance apparente en aval de l'onduleur est calculée par l'équation :

$$S_n = \frac{P_{inst}}{cos\varphi} \quad (33)$$

Avec ;

S_n : puissance apparente en aval de l'onduleur (Va) ;

P_{inst} : puissance installée des récepteurs en W ;

Cosφ : facteur de puissance considéré à 0,8 pour le courant alternatif,

La puissance nominale de l'onduleur choisi est :

- Onduleur CC/CA : Pn (kW) ≥ k x $P_{démarrage}$
- K facteur compris entre 2 et 3 pour tenir compte des appels de courant au démarrage des appareils (si l'installation comporte des moteurs, il est préférable de prendre k=3). Pour notre étude, on considère k=3 ;
- Les caractéristiques d'entrée de l'onduleur sont :
  - Tension d'entrée donnée par la formule suivante :

$$Ue = \sum_{i=1}^{n} V_{oc} \times N_s \quad (34)$$

Avec V_{oc} qui est tension de circuit ouvert d'un module ;

- Courant d'entrée est donné par :

$$Ie = \sum_{i=1}^{n} I_{cc} \times N_p \quad (35)$$

Avec I_{cc} qui est le courant de court-circuit d'un module

- Puissance d'entrée est calculée par :

$$P_e = \sum_{i=1}^{n} P_U \times N_t \quad (36)$$

Avec P_u qui est la puissance nominale d'un module

Ces caractéristiques sont fonctions des caractéristiques d'entrée de l'onduleur fournie par le constructeur.

La puissance du convertisseur doit être choisie suivant les conditions suivantes :

- Calcul du nombre de strings et de branches parallèles de module que peut pendre une entrée MPPT

La tension à vide d'entrée de l'onduleur sera donnée en fonction de la température minimale du site.

$$Voc_{Tmin} = Voc_{STC} + [\mu_{voc}(T_{min} - 25)] \quad (37)$$

$$Voc_{Tmax} = Voc_{STC} + [\mu_{voc}(T_{max} - 25)] \quad (38)$$

- Voc_{Tmin} : Tension à circuit ouvert à la température spécifiée (X°C) en volts
- Voc_{Tmax} : Tension à circuit ouvert à la température spécifiée (X°C) en volts
- Voc_{STC} : Tension en circuit ouvert à STC, en volts, c'est-à-dire la tension nominale du module
- μ_{voc} : Coefficient de température de Voc
- T_{max} : Température maximale du site (°C)
- T_{min} : Température minimale du site (°C)
- $V_{max\ mod}$: Tension maximale du module

Le courant Isc max en fonction de la température maximale du site :

$$Isc_{Tmax} = Isc_{STC} + [\mu_{Isc}(T_{max} - 25)] \quad (39)$$

- Isc_{Tmax} : Courant de court-circuit à la température spécifiée (X°C) en ampère
- Isc_{STC} : Courant de court-circuit du mode en condition STC
- μ_{Isc} : Coefficient de température de Isc
- T_{max} : Température maximale du site (°C)
- T_{min} : Température minimale du site (°C)

$$\frac{V_{\min\ MPP\ ond}}{V_{OC_{STC}}} < N's < \frac{V_{max_{entrée\ onduleur}}}{V_{OC_{STC}}} \quad (40)$$

- $V_{\min\ _MPP}\ ond$: Tension minimale MPPT onduleur en volts (V)
- $V_{max_{entrée\ onduleur}}$: Tension maximale d'entrée onduleur en volts (V)

- Nombre maximal de strings par entrée MPPT

$$\frac{I_{\max entrée\ ond}}{Icc\ module} < N'p < \frac{I_{cc\ \max\ ond}}{Icc\ module} \quad (41)$$

- $I_{max\ entrée\ ond}$: Intensité maximale à l'entrée de l'onduleur
- $I_{cc\ module}$: Intensité du court de circuit du module

- Puissance maximale des onduleurs en kW, elle doit être supérieure à la puissance crête totale du champ à installer :

$$P_{max/MPPT} = N'_s \times N'_p \quad (42)$$

$$P_{\max ond} = P_{max/MPPT} \times Nbre_{MPPT} \times N_{ond} \quad (43)$$

- $Nbre_{MPPT}$: Nombre de trackers MPP ;
- $P_{max/_{MPPT}}$: Puissance par MPPT ;
- N_{ond} : Nombre d'onduleurs.

➢ **Estimation de la capacité du stockage**

❖ Dimensionnement de la batterie d'accumulateurs

Pour calculer la capacité de stockage, on utilisera l'équation suivante :

$$Cbat_{min} = \frac{B_j \times N_{ja}}{V_b \times R_{bat} \times D_{mb}} \quad (44)$$

N_{ja} : les nombres de jour de stockage

V_b= tension du banc de stockage

D_{mb}=la profondeur de décharge de la batterie.

R_{bat}: Rendement batterie.

❖ Nombres de batteries en série par strings

$$Nbats = \frac{V_{systeme}}{tension\ nominale\ batterie} \quad (45)$$

❖ Nombres de strings de batteries

$$Nbats_p = \frac{Cbat_{min}}{Capacité\ batterie} \quad (46)$$

❖ **Capacité total des batteries**

$$C_{bat} = N_{batp} \times C_{bat} \quad (47)$$

- $Nbats$: nombre de batteries en série par string
- $Nbatp$: nombre de strings de batteries
- $Cbat$: capacité totale des batteries (en Ah).

❖ **Calcul des ratios de vérifications**

Deux ratios de vérification ont été calculés : le degré de décharge quotidien Ddq et l'aptitude du champ PV à couvrir les besoins journaliers R1. Leur formule de calcul est respectivement obtenue à partir des équations 48 et 49 :

▪ **Degré de décharge quotidien**

$$Ddq = \frac{B_j}{C_{bat} \times V_{bat} \times R_{bat}} \leq \frac{DM}{J_{rau}} \quad (48)$$

▪ **Ratio 1 : aptitude du champ PV à couvrir les besoins journaliers**

$$R_1 = \frac{Pc \times H_i \times R_{gen} \times R_{bat}}{B_j} > 1 \quad (49)$$

▪ **Ratio 2 : aptitude du champ a rechargé les batteries pour un nombre d'heures de soleil compris entre 20 et 40**

$$R_2 = \frac{C_{bat}}{Icc_{mod} \times N_{bp}} \quad (50)$$

❖ **Dimensionnement des câbles**

Nous dimensionnerons les sections des câbles sur les tronçons suivants : générateur PV-régulateur.

On prendra :

- ρ = 0,017 Ω mm²/m pour un câble en cuivre
- ΔVL(%) : Chute de tension maximale admissible =1%

- Im (A) : Intensité maximale
- Vm (V) : Tension maximale.

Les sections de câble coté DC seront calculées avec cette formule :

$$S \geq \frac{2\rho LI}{\Delta VL(\%) \times U} \quad (51)$$

Tableau 3 : Sections normalisées de câbles

Section des câbles (mm²)	**1.5**	**2.5**	**4**	**6**	**10**	**16**	**25**	**35**	**50**	**70**	**95**	**120**	**150**	**185**	**240**	**300**
Courant maximum	13	21	28	36	46	61	81	99	125	160	195	220	250	285	340	395

La norme CEI 60364-5-52 est utilisée pour calculer le courant admissible du côté CC. Selon les règles de la norme NFC 15-100 et du guide UTE C15-105, le dimensionnement des câbles CA est réalisé en utilisant les facteurs de correction en courant classiques (en fonction du mode de pose, du nombre de câbles posés ensemble, de la température ambiante et du type de câble).

❖ **Choix des fusibles de protection**

▪ **Fusible pour la protection des branches**

▪ Tension : La tension de fonctionnement d'un fusible doit être de 1,15 fois la tension à vide dans les conditions STC des modules raccordés en série : 1,15 x Voc x Ns

▪ Calibre fusible : Le calibre des fusibles doit être compris entre 1,5 et 2 fois le courant Isc (STC) de chaque chaîne.

$$1{,}5 \times I_{sc} \leq calibre\ fusible \leq 2 \times I_{sc} \quad (52)$$

▪ **Fusible pour la protection générale**

▪ Tension : La tension de fonctionnement d'un fusible doit être de 1,15 fois la tension à vide dans les conditions STC des modules raccordés en série : 1,15 x Voc x Ns

$$1{,}5 \times I_{sc} \times N_p \leq calibre\ fusible \leq 2 \times I_{sc} \times N_p \quad (53)$$

Tableau 4 : Calibres fusibles

Calibres fusibles (A)	**4**	**6**	**8**	**12**	**16**	**20**	**25**	**32**	**40**	**63**	**80**	**100**	**125**	**160**	**200**	**250**

- **Protection de la partie DC**

Cette protection est choisie en prenant en considération le courant de sortie maximal de l'onduleur. Il est donc nécessaire que le disjoncteur ait un calibre supérieur.

Étant donné que les installations photovoltaïques font face aux dangers causés par la foudre, il sera nécessaire de mesurer le parafoudre en estimant le niveau d'exposition de notre installation aux surtensions en utilisant la formule suivante :

$$F_{PV} = N_k \times (1 + \varphi + \sigma) \tag{54}$$

Avec :

N_k : le niveau kéraunique local qui détermine le nombre annuel de coups de foudre d'un lieu

φ : Selon le choix d'une mesure de protection (obligatoire, recommandée ou pas)

σ : Selon la situation de la ligne aérienne BT, du bâtiment ou du champ PV.

- **Puissance crête en fonction de la surface disponible du toit**

Dans notre situation, nous espérons qu'au mieux, le soleil alimente toutes nos charges. Puisque l'installation sera effectuée sur le toit, nous calculerons la taille du système photovoltaïque en fonction de la surface disponible et exploitable, et nous utiliserons ce dernier comme exemple. En d'autres termes, nous allons d'abord évaluer la taille du système PV en utilisant les formules suivantes :

- Puissance crête que, selon la surface du toit du magasin peut prendre :

$$P'_c(Wc) = G_o \times S_u \times \eta_{mod} \tag{55}$$

Avec :

G_o (1000 W/m^2) : l'ensoleillement STC ;

S_u (m^2) : la surface utile orientée Sud ;

η_{mod} : le rendement du module PV choisi.

- Nombre de modules :

$$N'_{mod} = \frac{P'_c}{P_{mod}} \tag{56}$$

Par la suite, nous allons comparer le nombre total de panneaux solaires photovoltaïques trouvés après le dimensionnement en fonction de l'ensemble des besoins énergétiques à la référence (Nmod). Si le nombre de modules est inférieur ou égal à celui-ci, l'installation pourrait ainsi être installée sur le toit.

IV.5 Estimation du coût de l'installation

Cette étude vise à donner une tranche de prix pour Tous les équipements nécessaires pour répondre aux besoins énergétiques de la chambre froide en utilisant des panneaux solaires photovoltaïques, ainsi que tous les travaux à réaliser. Les prix indiqués sont des indicateurs et peuvent varier en fonction du cours des monnaies et des variations du prix des marchandises. Cependant, il est très pratique de connaître ces prix lors de l'étude de faisabilité, car cela permet de déterminer si le projet est réalisable, pour l'organisation qui financera ce projet. Ses coûts, dont nous allons faire l'étude estimative, sont liés :

- Aux équipements frigorifiques ;
- Aux équipements solaires photovoltaïques ;
- Aux mains d'œuvres.

V. RÉSULTATS ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Dans cette partie, nous allons présenter les différents résultats obtenus à l'issue des démarches méthodologiques précédentes que nous allons adapter dans ce cas de figure avec les applications numériques.

V.1 Résultats du bilan thermique et des besoins énergétiques

V.1.1 Résultats du bilan thermique

❖ **Chambre froide 1**

Dimensions de la chambre :

- Longueur L = 10.4 m
- Largeur l = 9.6 m
- Hauteur h = 4.2 m

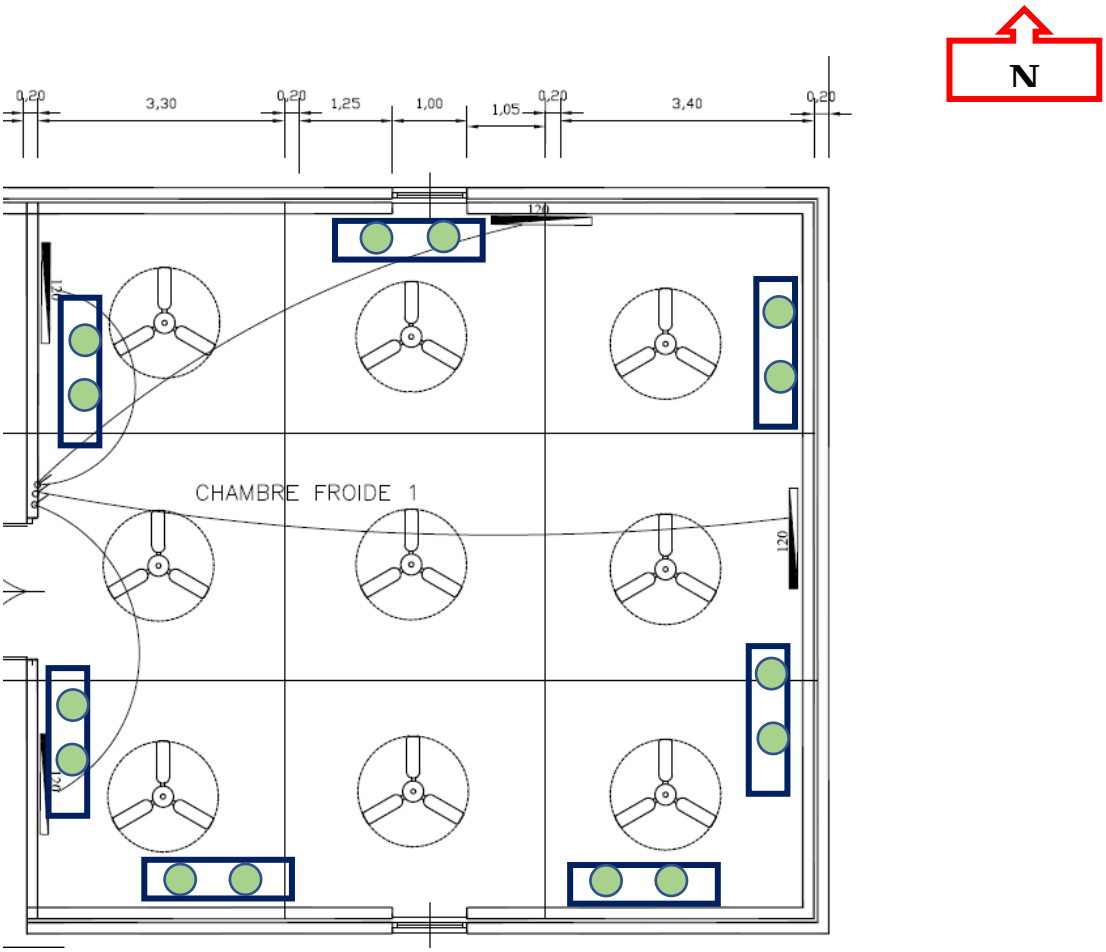


Figure 20 : Chambre froide 1

Nous allons d'abord calculer la capacité de pomme de terre à entreposer dans la chambre en fonction de la capacité totale de stockage du magasin, nous appliquerons la formule suivante pour la déterminer :

$$m_1 = m_t \times \frac{V_1}{V_1 + V_2} \tag{57}$$

Avec

- m_t : masse totale de stockage du magasin en tonne ;
- V_1 : volume de la chambre froide 1 en m^3 ;
- V_2 : volume de la chambre froide 2 en m^3.

Les résultats de l'application numérique précédente sont inscrits dans le *Tableau 5* suivant :

Tableau 5 : Résultats calculs de la capacité de stockage de la chambre froide 1

Formules	Applications numériques	Résultats	Unités
$V_1 = S_{sol} \times h$	$V_1 = 99.84 \times 4.20$	419.32	m^3
$V_2 = S_{sol} \times h$	$V_2 = 81.6 \times 4.20$	342.72	m^3
$m_1 = m_t \times \frac{V_1}{V_1 + V_2}$	$m_1 = 100 \times \frac{419.32}{762.04}$	55.026	tonnes

- **Capacité de déshumidification**

Le Tableau 6 donne les résultats de la quantité d'eau à déshumidifier dans la chambre froide 1 :

Tableau 6 : Capacité de déshumidification

Capacité de déshumidification	Applications numériques	Résultats	Unités
À 70 % d'humidité	$M_e = 0.622 \times \frac{0.70 \times 625}{101325}$	2.72	g/m^3
	$M_{e_{70}} = 2.72 \times 419.32$	1143.56	g
À 90 % d'humidité	$M_e = 0.622 \times \frac{0.90 \times 625}{101325}$	3.49	g/m^3
	$M_{e_{90}} = 3.49 \times 419.32$	1463.05	g
Quantité d'eau à déshumidifier	$Masse\ d'eau\ \text{à}\ déshumidifier = 1463.05 - 1143.56$	0.319	l
Chaleur latente de vaporisation	$Q_{latente} = (8 \times 2260)/3600$	5	W
Nombre de déshumidificateur	$n_d = \frac{0.319}{8}$	1	-

- **Apport par les parois de la chambre froide 1**

Le *Tableau 7* donne les résultats des différentes charges thermiques externe à travers les parois de la chambre froide 1 :

Tableau 7 : Résultats calcul des charges thermiques par transmission à travers les parois

Parois	Orientation	Longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m^2)	φ(W/ m^2)	φ. S (W)
Mur 1	O	9.6	4.2	40.32	8	322.56
Mur 2	N	10.4	4.2	43.68	8	349.44

Mur 3	E	10.4	4.2	43.68	8	349.44
Mur 4	S	9.6	4.2	40.32	8	322.56
Sol				99.84	0	0
Plafond				99.84	8	798.72
ΣQtr						**2142.72**

Les résultats du bilan frigorifique de la chambre froide 1 sont présentés au *Tableau 8* :

Tableau 8 : Synthèse des résultats du dimensionnement du bilan frigorifique

N	Formules	Applications numériques	Résultats	Unités
1	$\boldsymbol{Q_{tr} = \Sigma q \times S}$	-	**2,14**	kW
2	$A = (h_{ae} - h_{aa}) \times \left(h \times \left(1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}\right)\right)^{\frac{1}{2}}$	$A = 71.51 \times (2.2 \times \left(1 - \frac{1.12}{1.26}\right))^{\frac{1}{2}}$	35,36	-
	$t_{ouv} = d_t \times \frac{f_j}{24}$	$t_{ouv} = 6 \times \frac{10}{24}$	2,5	min/h
	$\boldsymbol{Q_{op} = 8 + (0.067 \times \Delta T) \times t_{ouv} \times \rho_{aa} \times l \times h \times A \times C_{min}}$	$Q_{op} = 8 + (0.067 \times 25) \times 2.5 \times 1.26 \times 2 \times 2.20 \times 35.36 \times 1$	**0,83**	**kW**
3	$Q_{ren} = \frac{n \times V \times \rho_{aa} \times \Delta h}{86400}$	$Q_{re} = \frac{3.42 \times 419.32 \times 1.26 \times 71510}{86400}$	**1.49**	**kW**
4	$\boldsymbol{Q_{ec} = \frac{n \times P \times t}{24}}$	$Q_{ec} = \frac{4 \times 18 \times 1}{24}$	**0,001**	**kW**
5	$\boldsymbol{Q_{pe} = \frac{n \times q_p \times t}{24}}$	$Q_{pe} = \frac{3 \times 255 \times 2}{24}$	**0.06**	**kW**
6	$\boldsymbol{Q_{de} = \frac{m \times C1 \times (T1 - T2)}{86400}}$	$\boldsymbol{Q_{de} = \frac{55000 \times 3560 \times 24}{86400}}$	**54,39**	**kW**
7	$Q_{resp} = \frac{m_1 \times q_{resp}}{86400}$	$Q_m = \frac{55000 \times 5440}{86400}$	**3,463**	**kW**
8	$Q_v = \frac{P'' \times S \times t_{vent}}{24}$	$Q_v = \frac{30 \times 99.84 \times 20}{24}$	**2,50**	**kW**
9	$Q_m = \frac{n \times P_{ce} \times t}{24}$	$Q_m = \frac{2 \times 10000 \times 2}{24}$	**1,67**	**kW**
10	$Q_{ext} = \frac{n \times P_{ext} \times t}{24}$	$Q_{ext} = \frac{2 \times 370 \times 10}{24}$	**0,31**	**kW**
11	$Q_d = \frac{n \times (P_{elecdsh} + Q_{latente}) \times t}{24}$	$Q_d = \frac{1 \times (350 + 5) \times 24}{24}$	**0.36**	**kW**
12	$Q_{int} = Q_{tr} + Q_{ren} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_{res} + Q_v + Q_m + Q_{ext} + Q_d$		**66,91**	**kW**
13	$Q_0 = 1.2 \times Q_{int}$	$Q_0 = 1.2 \times 66.91$	**80,29**	**kW**
14	$P_f = \frac{Q_0 \times t}{24}$	$P_{int} = \frac{80.29 \times 14}{24}$	**47**	**kW**
15	$N_n = \frac{P_{f_1}}{P_{ev_1}}$	$N_n = \frac{47}{7.26}$	**7**	**-**
16	$P'_{f_1} = N_1 \times P_{ev_1}$	$P'_{f_1} = 7 \times 7.26$	**51**	**kW**

V.1.2 Contribution de la charge thermique a l'apport de chaleur dans la chambre froide 1

Dans cette section, nous allons illustrer, à l'aide d'un graphique, la contribution de chaque charge thermique à l'apport de chaleur dans la chambre froide 1. Les résultats sont présentés dans le graphique de la *Figure 21* suivante :

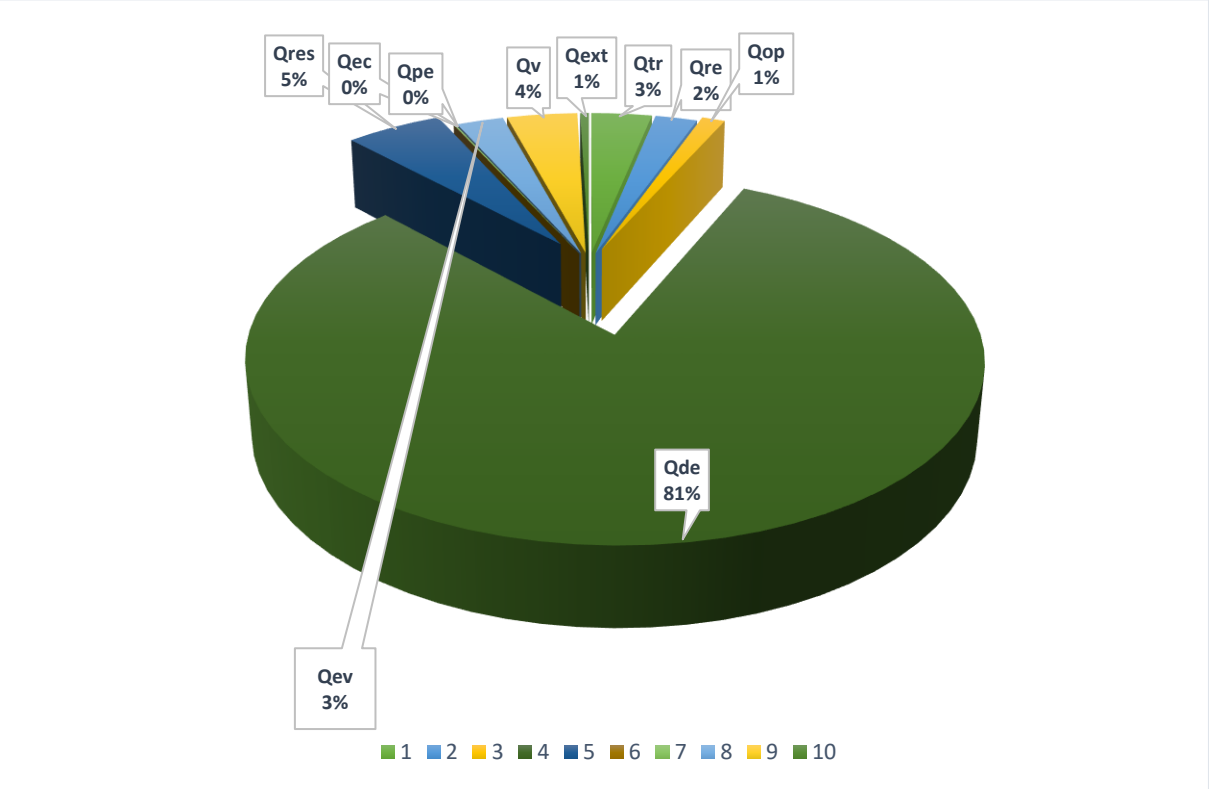


Figure 21 : Contribution apport de chaleur chambre froide 1

Nous observons que la chaleur générée par les denrées entrantes constitue la principale source de chaleur, surpassant largement les autres types de charges thermiques. En effet, elle représente plus de 80 % des charges thermiques totales.

Pour la chambre froide 2, nous avons procédé de la même manière pour le bilan frigorifique et le choix des évaporateurs (voir annexe 15). Les résultats sont comme suit :

- Puissance frigorifique : 38 kW
- Nombre d'évaporateur : 6
- Caractéristiques de l'évaporateur : voir annexe 14. 4

V.1.2.1 Choix du groupe frigorifique

En tenant compte des différentes charges thermiques internes et externes. Le groupe frigorifique que nous allons choisir doit disposer d'une capacité de refroidissement adéquatée pour alimenter ces évaporateurs. Dans cette optique, nous avons opté pour le groupe frigorifique à air de la marque **PROFROID.** Nous avons choisi la puissance du groupe frigorifique en fonction de la puissance frigorifique de chaque chambre froide et de la disponibilité selon le modèle. Nous avons donc plus précisément :

- Pour la chambre froide 1 avec une puissance frigorifique de 47 kW

Trois (3) groupes de condensation a air de 16.05 kW viendrons alimenter les 7 évaporateurs de 7.26 kW.

- Pour la chambre froide 2 avec une puissance frigorifique de 38 kW

Cinq (5) groupes de condensation à air de 9.32 kW viendrons alimenter les 6 évaporateurs de 7.26 kW.

La fiche technique détaillant ses caractéristiques sont référencées en annexe 12.

V.1.3 Devis Estimatif du cout de l'installation frigorifique

Le cout total de l'installation frigorifique s'élèverait à **28 030 896 FCFA.**

Tableau 9 : Estimation cout de l'installation frigorifique

MATÉRIELS	RÉFÉRENCES	QUANTITÉ	UNITÉ	PRIX UNITAIRE (FCFA)	PRIX D'ENSEMBLE (FCFA)
Évaporateurs de 7.26 kW	SOLO 31XS464	13	U	1 048 000	13 624 000
Groupe de condensation de 9.32 kW	ZB45	5	U	825 719	4 128 595
Groupe de condensation de 16 kW	ZB76	3	U	1 015 634	3 046 902
Déshumidificateur 8 L/jour	DryFan 8 pro	2	U	221 554	443 108
Transport et montage	-	-	-	-	1 000 000
Ingénierie	-	-	-	-	1 500 000
Investissement sans taxes	-	-	-	-	23 754 996
TVA 18%	-	-	-	-	4 275 899
Investissement net (TTC)	**-**	**-**	**-**	**-**	**28 030 896**

V.2 Résultats des besoins énergétiques journaliers du magasin

Ces résultats sont consignés dans le *Tableau 10* qui suit :

Tableau 10 : Bilan énergétique Magasin 100 tonnes

Équipements	Nombres	P unitaire (W)	Puissance appelé (W)	Temps d'utilisation (h)	Ej (kWh/jr)
Ventilateurs	17	25	425	20	8.5
Lampes fluorescentes intérieure	9	18	162	2	0.324
Lampes fluorescentes extérieure	4	18	72	12	0.864
Ventilos convecteur (extracteur d'air)	4	370	740	10	14.8
Évaporateurs	11	106	1 166	14	16.32
Groupe condensation 1	3	8 830	26 490	14	370.86
Groupe condensation 2	5	5 050	25 250	14	353.5
Total			**55 045**		**765.172**

L'énergie journalière totale consommer par tous les équipements du magasin est estimée à **765 kWh/jr** et une puissance appelée de **55 kW.**

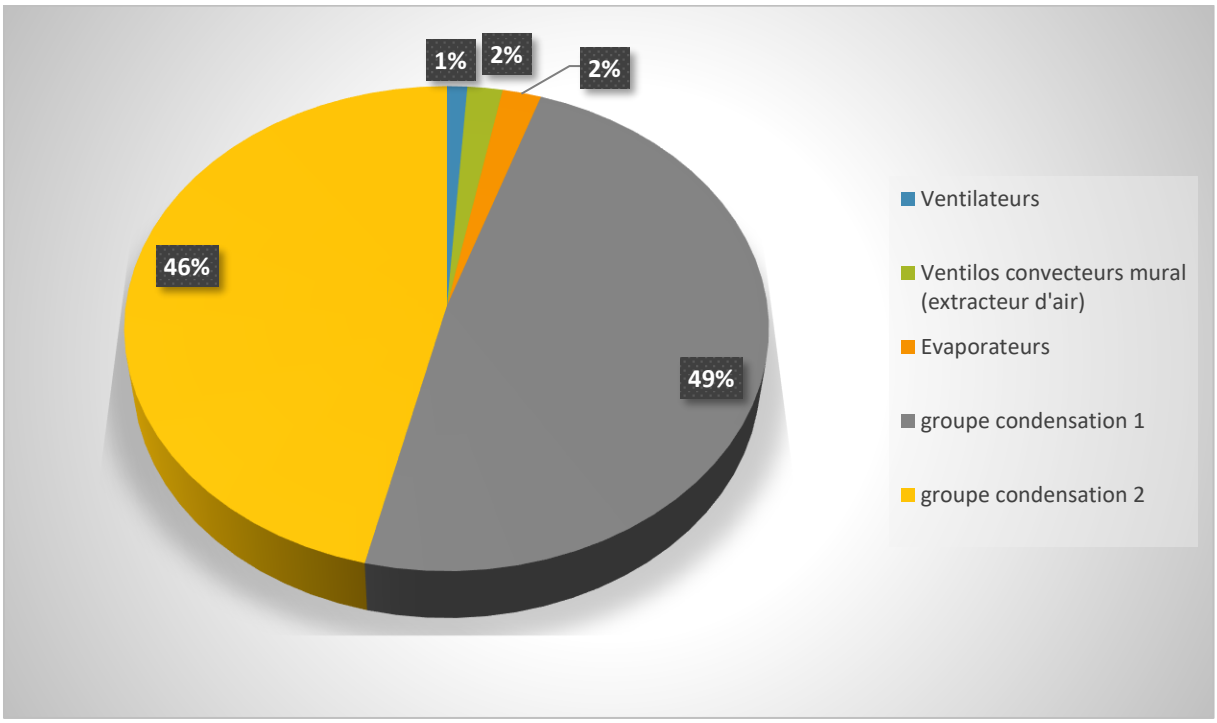


Figure 22 : Distribution pourcentage bilan électrique récepteur

Selon la Figure *22* les groupes de condensations représentent la principale source de consommation d'électricité, englobant un pourcentage de 95 % de l'ensemble de la consommation électrique dans le magasin.

V.3 Modèle 3D des magasins

Le site de TOUKADJI dispose d'un magasin de 100 tonnes déjà existant (le bâtiment au centre de l'image), qui est également une surface disponible pouvant accueillir un champ solaire en plus de deux magasins de 100 tonnes si la structure le permet.

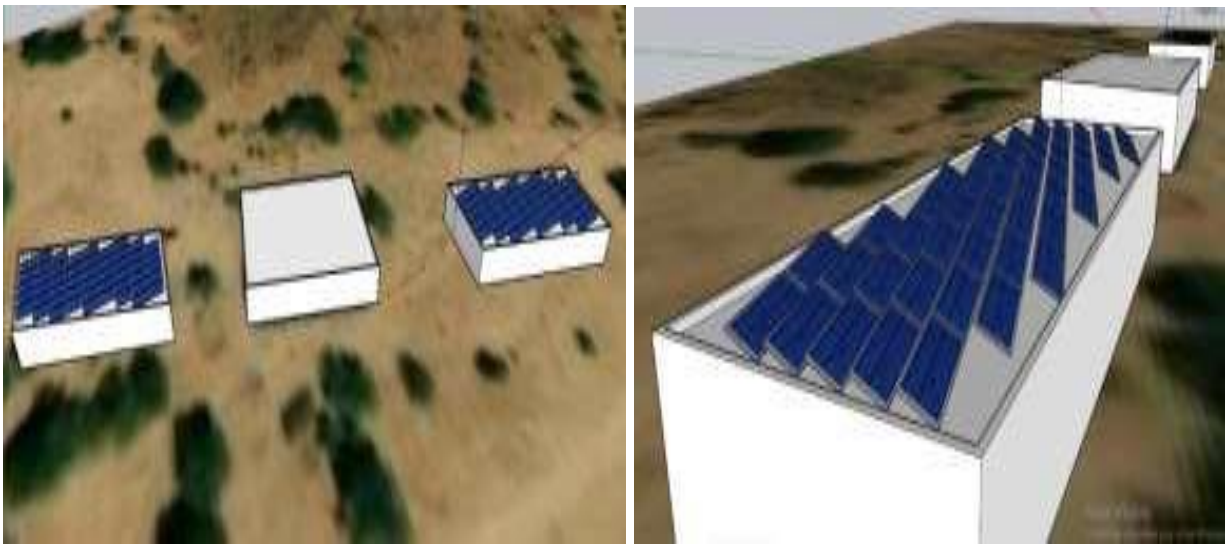


Figure 23 : Simulation 3D des magasins du site de TOUKADJI et implantation des modules en toiture

V.4 Présentation des résultats simulations d'ombrages

Les dimensions du toit prévu pour l'implantation du système sont de :

- 25x10,4m pour les deux magasins de 100 tonnes

Le champ solaire sera orienté en plein sud avec une inclinaison des panneaux à 15°C. De ce fait, l'orientation et l'inclinaison du champ seront optimales en tenant compte de la situation géographique du site.

Tableau 11 : Pertes d'ombrage mensuelles dues aux obstacles proches et lointaines pour les deux magasins du site de TOUKADJI [29]

Petes d'ombrages mensuelles (%)												
Obstacles	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decemebre
Proches	0,00	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lointaines	0,00	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Moyenne	0,00	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Les résultats consignés dans le *Tableau 11* montre que les pertes d'ombrage (proche et lointaine mensuelles du site sont inférieur à la valeur limite de 3% ce qui permet de dire que la production

pour une installation en toiture ou (pour une structure génie civil adaptée) sera optimal sur toute l'année sur le site.

V.5 Résultats de dimensionnement du système PV

À l'issue des calculs, nous avons obtenu les résultats du dimensionnement du champ PV résumés dans le tableau ci-dessous. :

- **Puissance crête totale à installer**

Pour répondre à nos besoins énergétiques quotidiens, il est essentiel de calculer la puissance crête totale à installer pour notre champ photovoltaïque afin de garantir son approvisionnement. Les résultats sont présentés dans le *Tableau 12* ci-dessous :

Tableau 12 : Résultats calcul de la puissance crête et du nombre total de modules à installer

Locaux	Ej (kWh/jr)	Puissance crête (kWc)	Ns	Np	Nbre totale module	Puissance crête totale à installer (kWc)
Magasin 100 tonnes	765,172	234,88	14	24	336	235,2

- **Configuration des sous-champ PV**

$$N_{m_{sc\,ond}} = \frac{336}{5} = 67{,}2\ soit\ 67\ \ modules\ au\ total\ par\ sous\ champ$$

Sachant que chaque entrée MPPT de nos onduleurs ne peuvent prendre que 2 chaines. Nous avons 4 entrées MPPT au total donc 8 chaines par onduleur, ce qui nous donne :

$$N_{S_{sc\,ond}} = \frac{112}{8} = 8{,}37\ soit\ 8\ modules\ en\ séries\ et\ 8\ strings\ par\ sous-champ$$

- **Calcul des tensions d'entrée et de démarrage des onduleurs et du nombre total de modules par MPPT.**

Le *Tableau 13* ci-dessous présente les différentes valeurs que nous avons utilisé pour déterminer ainsi ses résultats :

Tableau 13 : Caractéristiques d'entrées des onduleurs et des modules

Icc mod	KT Isc	Vmp mod	Voc mod	Vmin MPP ond	Vmax entrée ond	Ktvoc	Tambmax	Tambmin	Imax entré ond	Icc max ond
17,43	0,04	42,1	50,14	450	600	-0,22	32	15	36	55

$$Ue = Voc_{Tmin} \times Ns_{max} < Tension\ entre\acute{e}\ \max de\ l'onduleur \quad (58)$$

$$Ue = 49.74 * 12 = 596.88\ V < 600\ V\ \ OK!$$

$$Ud = Voc_{Tmax} \times Ns_{min} > Tension\ de\ demarrage\ de\ l'onduleur \quad (59)$$

$$Ud = 48.6 \times 9 = 437.4\ V > 250\ V\ \ OK!$$

Ud : Tension de démarrage, elle doit être supérieure à la tension de démarrage de l'onduleur

$$Ie = Isc_{Tmax} \times Np_{min} < \text{Courant de court circuit max par MPPT de l'onduleur}$$

$$I_e = 17.71 \times 2 = 35.42\ A < 55\ \text{A}\ \ OK!$$

$$P_e = 700 \times 20 = 14\ 00\ \ W$$

- Ue : Tension d'entrée (V)
- Ie : Courant d'entrée onduleur(A)
- Pe : Puissance d'entrée en (W)

Ces conditions doivent être remplie pour :

- Ne pas surcharger ou surchauffer les onduleurs ;
- Qu'il y ait une tension suffisante au niveau des modules qui doit être supérieure ou égale à la tension d'entrée de démarrage de l'onduleur pour que l'onduleur puisse démarrer.

Le *Tableau 14* suivant nous présente le récapitulatif des résultats obtenus après calcul :

Tableau 14 : Résultats calcul Nombre maximum de module par MPPT et des courants d'entrée et démarrage de l'onduleur

Voc a T max (V)	Voc a T_{min} (V)	Isc a T_{max}	N's_{max}	N'p_{max}	N't	Ue (V)	Ud (V)	Ie (A)	Pe (kW)
43.6	49.74	17.71	12	3	36	596.88	437.4	35.42	14

- **Puissance totale des panneaux solaires :**

$$P_t = 14 \times 4 = 56\ kW\ \ < 65\ kW\ la\ capacit\acute{e}\ maximale\ que\ l'onduleur\ peut\ g\acute{e}rer$$

La puissance totale des panneaux ne dépassant pas la capacité de l'onduleur coté DC, nous pourrons dire qu'à partir de cela nous obtenons une performance optimale.

- N's_{max} : nombre maximum de modules en série par MPPT
- N'p_{max} : nombre maximum de strings de modules en parallèle par MPPT
- N't : nombre totale de modules par MPPT.

➢ **Calcul du nombre d'onduleur à installer et de la puissance max des onduleurs**

À partir de la puissance nominale du choix de nos onduleurs **(50 kW)** ainsi que de leurs caractéristiques d'entrée et de la puissance crête du champ, nous pouvons ainsi déterminer le

nombre d'onduleur qu'il nous faut pour couvrir les charges et la puissance max des onduleurs. Ces résultats sont donnés par le *Tableau 15*:

Tableau 15 : Résultats calcul du nombre d'onduleurs à installer et la puissance max des onduleurs

Besoins (kWh/jr)	**Pn (kW)**	**Pc (kWc)**	**Nombre onduleur**	**Pmax onduleur (kW)**	**Commentaires**
765	50	235	5	325	**Pmax onduleur > P crête OK !**

- **Dimensionnement du parc de batteries**

Les résultats des estimations de la capacité des accumulateurs sont présentés dans le *Tableau 16 c*i-dessous :

Tableau 16 : Résultats estimations de la capacité totale des accumulateurs

Cbat min (Ah)	**Nbats**	**Nbatp**	**Nt**	**Cbat (Ah)**
4 916,04	4	10	40	5000

Pour satisfaire nos besoins journaliers de 765 kWh, le parc batterie de notre système PV sera composée de 40 batteries au totale dont 4 batteries en série et 2 strings de batteries ce qui nous fais un nombre total de 8 batteries à connecter par onduleur. Sachant que la capacité de stockage d'une batterie est de 25 kWh, ses 40 batteries de l'ensemble du champ pourront stocker 1000 kWh d'énergie ce qui est en effet supérieur à notre besoin quotidien qui est de 765 kWh.

- **Dimensionnement des sections de câbles**

Les résultats du calcul de section de câbles sont présentés au

Tableau *17* :

Tableau 17 : Calcul des sections de câbles

Tronçon	Distance L(m)	Tension max (V)	Intensité max (A)	Section (mm^2)	Section normalisée (mm^2)
Générateur PV-boite de jonction	40	600	16,63	3,77	**4**
Boite de jonction-onduleur	20	600	144	16 ,32	**16**
Onduleur-batterie	1,5	48	100	10.625	**16**
Onduleur-charges AC	15	230	83,3	18,47	**25**

- **Choix des fusibles de protection et parafoudre**

Dans un système solaire photovoltaïque, les fusibles sont essentiels pour garantir la sécurité, protéger les équipements et simplifier les opérations de maintenance. Ils permettent de gérer les risques associés aux surcharges et aux courts-circuits, tant au niveau général qu'au niveau des branches spécifiques de l'installation. Les résultats des calibres normalisés pour le choix des fusibles pour la sécurité de notre installation sont présentés au *Tableau 18* ci-dessous :

Tableau 18 : Choix fusible de protection

Choix fusible protection						
Tension à vide Uo (V)	Cfpg 1 (A)	Cfpg Normalisé (A)	Cfpg 2 (A)	Cfpb 1(A)	Cfpb normalisé (A)	Cfpb 2 (A)
461,28	209,16	**250**	278,88	26,145	**32**	34,86

- Cfpg : calibre fusible protection général
- Cfpb : calibre fusible protection par branche

- Les parafoudres

Le niveau d'exposition de notre installation aux surtensions d'origine atmosphérique est calculé comme suit :

$$F_{PV} = 60 \times (1 + 1 + 0{,}75) = 165$$

Selon les données de l'annexe 5, le courant nominal de décharge du parafoudre à sélectionner est calculé en fonction du niveau de foudroiement précédemment calculé. Le parafoudre

sélectionné étant supérieur à 80, il est de type 2 F_{PV} Étant supérieur à 80, le parafoudre choisi est de type 2 dont $\boldsymbol{Imax = 40\ kA}$ et $\boldsymbol{In = 20\ kA}$.

Le calcul et la validité des rations sont donnés dans le *Tableau 19* ci-dessous :

Tableau 19 : Calcul ratios de vérification

Ddq	DM/Jr	R1	R2	Commentaires
0,93	**0,95**	**1,14**	**29,17**	**Validée**

Les trois conditions étant simultanément remplies, la compatibilité entre les besoins énergétiques journaliers, le générateur PV et la batterie d'accumulateurs est vérifiée.

- **Puissance crête en fonction de la surface disponible au toit**

$$P'_c(Wc) = 1000 \times 260 \times 0.2321 = 60346\ Wc$$

$$N'_{mod} = \frac{P'_c}{P_{mod}} = \frac{60346}{700} = 86\ modules$$

Nmod > N'mod, le toit ne pourra donc pas supporter l'ensemble des modules photovoltaïque le reste du champ sera installer au sol.

V.5.1 Choix des équipements solaires

V.5.1.1 Choix des modules photovoltaïques

Nous avons choisi les modules **(AE TME- 132BDS 700-720 Wc) de la marque AE Solar** dont les caractéristiques seront citées dans l'annexe 3. Les panneaux solaires en silicium monocristallin de 210 mm de 700 W, intègrent la technologie avancée Multi Busbar. Cette innovation permet d'optimiser significativement la capture de la lumière et l'efficacité de la collecte du courant, ce qui se traduit par une augmentation considérable de la puissance de sortie et de la fiabilité des modules. La *Figure 24* ci-dessous donne un aperçu du panneau :

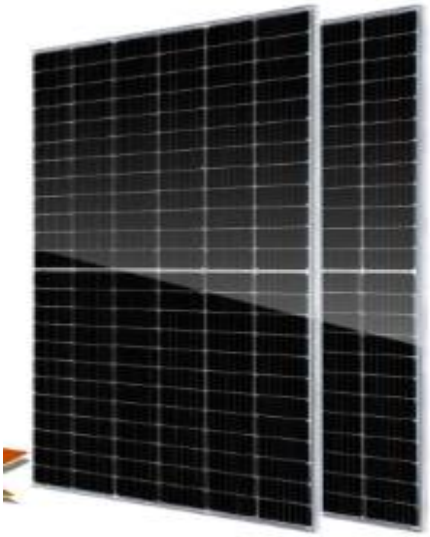


Figure 24 : panneaux solaire AE solar de 700 Wc*[30]*

Prix disponible à l'adresse suivante : [31].

V.5.1.2 Choix des onduleurs

Nous avons choisi l'onduleur hybride **Felicity Solar HY-50K-HT**[32] de puissance nominale 50 kW. Ce sont des onduleurs qui possèdent les caractéristiques suivantes :

- Prennent en charge le mode de fonctionnement multiple ;
- PV 8 chaines, MPPT 4 canaux, capacité de configuration 1,3 fois supérieur ;
- Port de générateur programmable ;
- 2 entrées de batteries indépendantes.

La fiche technique de l'onduleur est en annexe 4. La *Figure 25* suivante représente l'onduleur :

Figure 25 : Onduleur Felicity Solar de 50kW

V.5.1.3 Choix des batteries

Nous avons choisi comme type de batteries les batteries lithium de **Felicity Solar LiFePO4 (FLA48500 48V 500 Ah de 25 kWh)** dont la fiche technique est jointe dans l'annexe 6. La *Figure 26* suivante décrit l'aspect physique de la batterie :

Figure 26 : Batterie lithium Felicity Solar 48 V 500 Ah*[33]*

V.6 Choix des équipements de protections des panneaux photovoltaïques

V.6.1 Caractéristiques boite de jonction DC

Comme dans toute installation électrique en général et solaire photovoltaïque en particulier, les équipements de protections contre les surtensions et surintensités pour la protection des biens et des équipements jouent un rôle primordial pour son efficacité. Cependant, pour notre système, nous aurons besoin d'une boite de jonction de 1000 V DC, 8 strings (8 entrées + et -) de capacité maximum de 250 A.

- Choix sectionneurs protection générale

Comme déterminer dans nos dimensionnements nous auront besoins de sectionneurs de 63 A pour la protection générale de l'installation, dans ce sens nous avons choisi le sectionneur S802 PV-M-H toujours de la marque ABB Solar référencé IEC EN 60947-3 avec un courant nominale admissible allant de 32 à 100 A. ce sont des sectionneurs polarisés spécialement conçu pour les hautes tensions jusqu'à max 1000 V DC. Ils sont équipés d'aimants permanents pour la polarité de commutation et nécessitent donc une tension d'alimentation correcte. Les caractéristiques sont jointes en annexe 9, ci-dessous la représentation du sectionneur :

Figure 27 : Sectionneur S802-PV-M-H*[34]*

Prix disponible à l'adresse suivante : [35].

- Choix portes fusibles et fusible de protection

Nous avons choisi de portes fusibles **E 90 32/PV 1000 V DC de ABB Solar référencé UL 4248-1.** Ils sont conçus pour protéger les installations photovoltaïques des surintensités, ils sont combinables avec des fusibles cylindriques 10,3 x 38 gPV (application 1000 V DC), avec ses fusibles la sécurité des opérations de maintenance est renforcée empêchant tout contact avec des pièces sous tension et une identification plus rapide des strings défaillants grâce à une LED

sur le porte fusible qui rend visible immédiatement les fusibles défectueux. Les fiches techniques des fusibles et porte fusibles sont détailler en annexe 8.

Figure 28 : Porte fusible E 90 PV

Figure 29 : Fusible cylindrique E 9F

Prix disponible à l'adresse suivante :[36].

- Choix parafoudre

Les parafoudres que nous choisirons devront être capable de protéger l'installation contre les surtensions et les courts circuits qui pourraient survenir. Sachant que notre parafoudre doit assurer une protection jusqu'à max 20 KA DC 1000 V de type 2. Au vu de tous ses paramètres nos recherches nous ont amenés à choisir le modèle ABB Solar, ils proposent une large gamme de protection contre les surtensions. Parmi cette gamme nous avons opter pour le **OVR PV T2 40-1000 P QS de type 2 référencé IEC 61643-11.** La fiche technique est disponible à l'annexe 10.

Figure 30 : OVR PV T2 40 1000 P QS

Prix disponible à l'adresse suivante : [37].

V.7 RÉSULTATS DU DIMENSIONNEMENT AVEC PV SYS

V.7.1 Présentation de PVsyst 7.4

PVsyst est un logiciel de dimensionnement des systèmes Photovoltaïques connecté au réseau ou isoler avec batterie, mais aussi, il permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.

Le dimensionnement du système est basé sur une procédure simple et rapide :

- Indiquée la puissance souhaitée ou la surface disponible ;
- Choisir un module PV dans la base de données ;
- Choisir un onduleur dans la base de données.

PVsyst proposera une configuration de modules et système contribuant à réaliser une première simulation préliminaire. Le logiciel inclut un système de messages d'erreur ou d'avertissement coloré. S'il y a une incohérence, un avertissement ou une erreur, l'utilisateur sera informé dans la fenêtre, cadre correspondant.

V.7.2 Résultats des prévisions sur PVsyst 7.4

D'après les résultats des prévisions nous avons une production annuelle estimée à 279,29 MWh/an avec 338 unités de modules au total sur une superficie installable de 1 042 m^2 avec des pertes associées inférieure à 2 % et un indice de performance de 48,91 % ainsi qu'une fraction solaire de 100 %, c'est-à-dire l'énergie fournie par le champ PV répond largement aux besoins.

Tableau 20 : Résultats prévisions sur PVsyst 7.4

Mois	Résultats de la prévision sur PVsyst 7.4					
	Irradiation globale horizontale (kWh/m^2)	Énergie solaire disponible (MWh)	Énergie inutilisée (batterie pleine) (MWh)	Énergie Fournie (MWh)	Énergie besoins (MWh)	PR ratio
Janvier	164,1	38,84	14,19	23,72	23,72	0,489
Février	163,9	36,21	14,16	21,43	21,43	0,489
Mars	212,8	43,17	18,81	23,72	23,72	0,489
Avril	224,6	42,21	18,60	22,96	22,96	0,489
Mai	229,9	41,28	16,90	23,72	23,72	0,489
Juin	205,2	36,74	13,14	22,96	22,96	0,489

Juillet	213,5	38,71	14,40	23,72	23,72	0,489
Août	197,8	37,44	13,06	23,72	23,72	0,489
Septembre	190,8	37,76	14,21	22,96	22,96	0,489
Octobre	186,5	39,23	14,85	23,72	23,72	0,489
Novembre	162,1	37,10	13,49	22,96	22,96	0,489
Décembre	157,7	38,02	13,64	23,72	23,72	0,489
Valeur annuelle	2 308,8	466,71	179,44	279,29	279,29	0,489

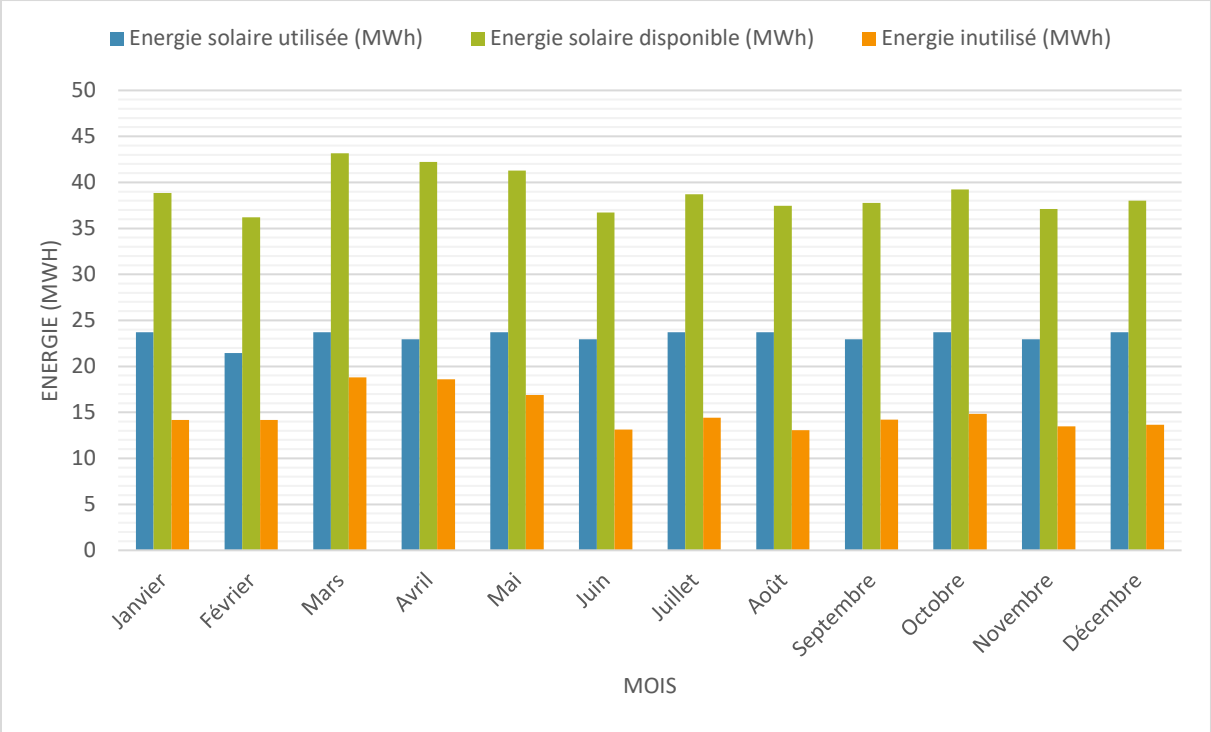


Figure 31 : Diagramme des énergies moyennes mensuelles des résultats des prévisions de notre système

La *Figure 31* ci-dessous nous présente les résultats de la production d'énergie annuelle générée par notre installation solaire photovoltaïque. Cette énergie est répartie entre les besoins de la chambre de conservation et les autres consommations du magasin. Sur une énergie solaire disponible pendant l'année de 466,71 MWh/an notre système n'utilise que 279,29 MWh/an, ce qui nous donne un excédent d'énergie inutilisé de 179,44 MWh/an.

V.8 SCHÉMA ÉLECTRIQUE ET SYNOPTIQUE DU CHAMP PV

Le schéma électrique unifilaire de notre sous-champ PV est présenter par la *Figure 32* ci-dessous :

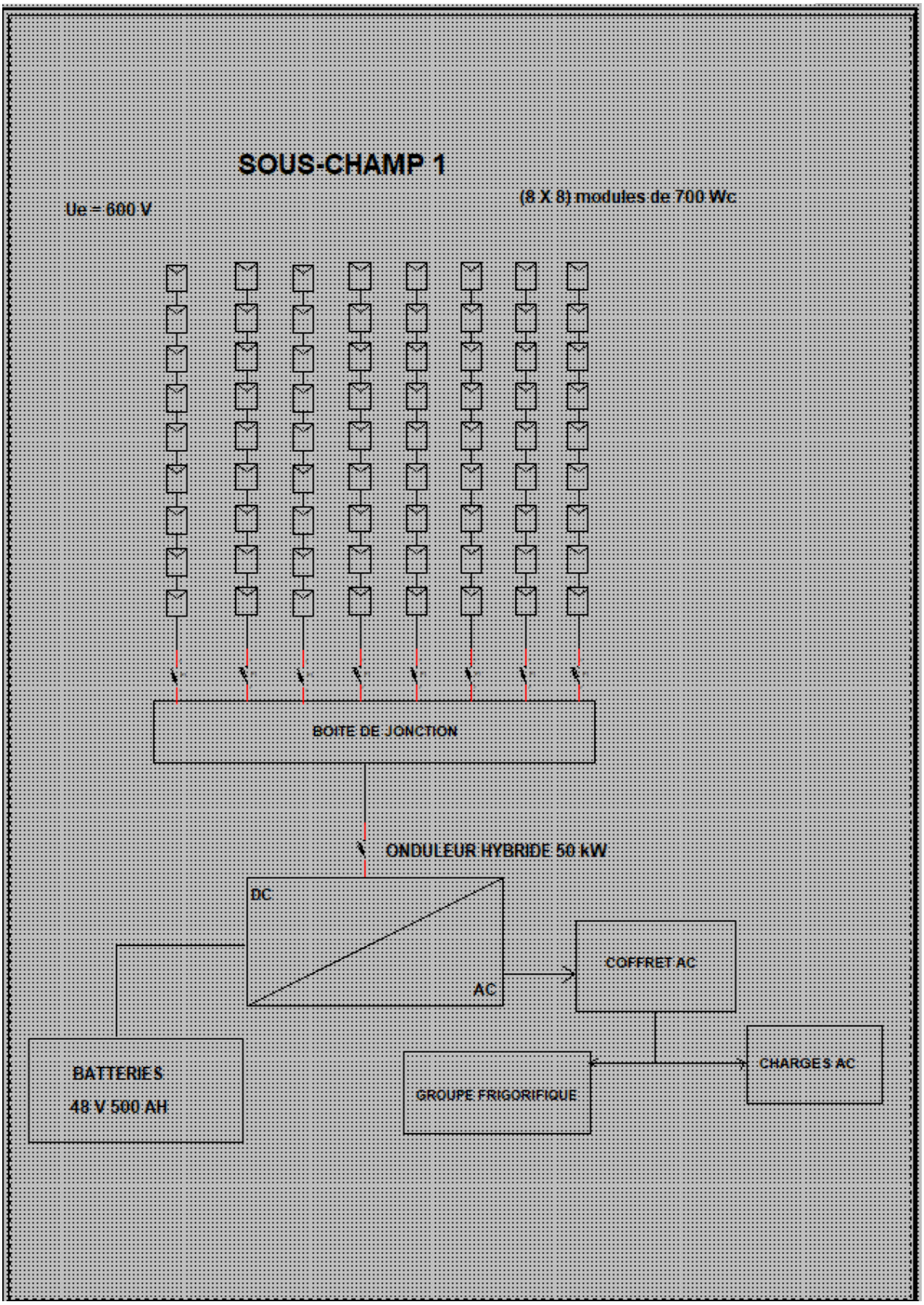


Figure 32 : Schéma électrique unifilaire d'un sous-champ PV

Les deux sous-champs restants seront configurés de la même façon. Nous procéderons à une mise en parallèle des trois onduleurs pour alimenter le groupe réfrigérant et les charges AC du magasin. Afin de réaliser la mise en parallèle de nos trois onduleurs, il est nécessaire de se procurer de câbles de communication de mise en parallèle qui permettront de les interconnecter.

Pour une bonne mise en parallèle de nos onduleurs triphasés, nous devrons d'abord nous assurer de ses conditions :

- ✓ Chaque onduleur doit être capable de fournir une tension de sortie sinusoïdale équilibrée sur chaque phase ;
- ✓ Assurez que les onduleurs sont compatibles et de capacité équivalente pour une distribution de charge équilibrée ;
- ✓ Respecter la correspondance des phases, câbler chaque onduleur à la même phase de sortie.

Ci-dessous le schéma de la configuration mise en parallèles des 5 onduleurs hybrides :

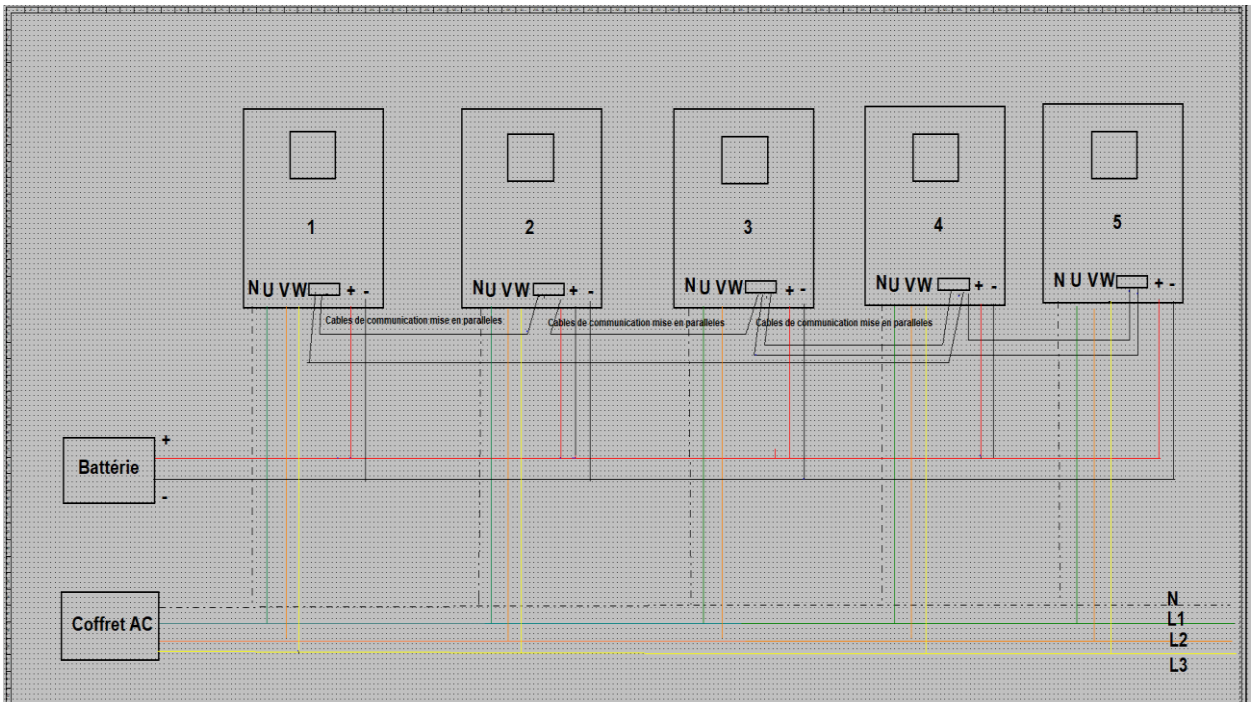


Figure 33 : Schéma câblage configuration mise en parallèle onduleur

V.9 Estimation du coût d'installation solaire photovoltaïque

Le *Tableau 21* ci-dessous récapitule la quantité et le coût des différents éléments concernant l'installation solaire photovoltaïque.

Tableau 21 : Estimation du coût de l'installation solaire photovoltaïque

MATÉRIELS	RÉFÉRENCES	QUANTITÉ	UNITÉ	PRIX UNITAIRE (FCFA)	PRIX D'ENSEMBLE (FCFA)
Modules	AE SOLAR 700 W	238	U	260 000	61 880 000
Onduleur hybride Félicity	HY-50K-HT	3	U	2 105 000	6 315 000
Batteries lithium Felicity	FLAA48500	24	U	1 954 000	46 896 000
Parafoudre OVR PV T2 40-1000 P QS de type 2 20 kA	**IEC 61643-11**	3	U	65 000	195 000
Fusible protection 32 A	E 90 PV, E 9F	24	U	6 275	150 600
Sectionneur S802 PV-M-H 63 A	IEC EN 60947-3	3	U	7 530	22 590
Coffret de regroupement AC		1	U	315 000	179 250
Puits de terre	-	3	U	100 000	300 000
Boite de jonction ABB Solar 3 chaines 1000 V DC 15 A	1SLM300300A04740	3		31 371	94 113
Liaisons générateur PV-Boite de jonction	Section : 1 x 4 mm^2 cuivre	40	m	2 500	176 480
Liaisons boite de jonction-onduleur / onduleur-charges	Cable de 1 x 25 mm^2 cuivre	35	m	5 040	176 400
Liaisons onduleurs batterie	Section : 1 x 16 mm^2 cuivre	1,5	m	3 150	4 725
Câbles de communication mise en parallèle	Fibre optique	8	U	940	7 520
Supports et auxiliaires	-	-	U	1 500 000	1 500 000
Divers	-	1	U	300 000	300 000
Transport et montage	-	-	U	-	600 000
Ingénierie		-	U	-	1 500 000
Total investissement sans taxes	-	-	-	-	177 993 698
Taxes sur investissement 18 %					32 038 865,6
Investissement net TTC					**210 032 564**

VI. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE

L'évaluation d'impact environnemental sur l'installation d'une mini centrale photovoltaïque ainsi que des machines frigorifiques vise à évaluer les effets potentiels de ce projet sur l'environnement local et régional.

Les activités menées durant la phase de construction et d'exploitation du projet peuvent être responsables des conséquences néfastes sur l'environnement. Ses impacts potentiels qui concernent notre projet sont :

- Impact sur la biodiversité ;
- Utilisation des terres ;
- Émissions de gaz à effet de serre ;
- Fuites de fluides ;
- Impact sur la couche d'ozone.

Plus d'ample détails sur les différents impacts liés à ce projet dans l'évaluation des impacts environnementales en annexe 1.

Pour minimiser les impacts environnementaux des champs photovoltaïques et des machines frigorifiques, il est essentiel d'adopter des pratiques durables et d'encourager l'innovation dans les technologies utilisées. La sensibilisation et la réglementation jouent également un rôle crucial dans la protection de l'environnement tout en favorisant le développement des énergies renouvelables.

CONCLUSION GÉNÉRALE

En définitive, cette étude insiste sur le fait qu'il est crucial d'adopter des approches modernes et efficaces pour le stockage des semences de pomme de terre, afin d'optimiser les rendements en production. L'emplacement choisi, bénéficiant d'une exposition solaire favorable, permet d'envisager une solution viable et durable pour répondre aux besoins énergétiques spécifiques de ces installations.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque, combinée à un stockage en caisse-palette, s'avère être non seulement avantageuse tant en termes d'économie d'énergie, qu'en terme de fonctionnalité, mais également bénéfique pour la qualité et la traçabilité des semences. En utilisant une méthodologie de dimensionnement bien définie et explicite, nous avons réussi à établir un système efficace, permettant ainsi de créer un champ photovoltaïque de 235 kWc avec 336 modules au total et un total de cinq onduleurs hybrides. L'installation de 40 batteries Lithium de 48 V et 500 Ah, en plus de divers équipements, assurera pleinement les exigences en matière de réfrigération des deux chambres froides, ainsi que les autres besoins électriques du magasin.

Malgré un coût initial de **238 063 459 FCFA TTC suffisamment élevée**, les avantages à long terme en matière de durabilité énergétique et à la préservation des ressources agricoles, notamment les semences de pomme de terre font de ce projet un modèle à suivre pour l'avenir. En somme, cette étude ouvre la voie à une transformation significative des pratiques de conservation des semences de la pomme de terre en général au Niger et en particulier dans la région d'Agadez, tout en soulignant l'importance d'une transition vers des solutions énergétiques renouvelables dans le secteur agricole.

RECOMMANDATIONS

En se basant sur les résultats techniques obtenus lors de notre étude, nous formulons les recommandations suivantes :

- Nous avons observé qu'il existe des moments où les magasins sont inoccupés. Afin d'éviter le gaspillage d'énergie, il serait judicieux de réutiliser cette énergie excédentaire pour alimenter un système d'irrigation, ou d'explorer la possibilité d'utiliser ces espaces pour stocker d'autres produits alimentaires.
- Si l'option d'une implantation des modules solaires aux toits, est retenue, il conviendra d'évaluer la capacité portante de ces toits et au besoin les renforcer par des structures adaptées pour prendre en compte le poids des modules.
- Dans le cas d'une installation au sol comme en toiture, il doit être prévu la construction d'un local technique pour les équipements de conversion et de stockage (onduleurs, régulateurs, batteries, …).
- Pour assurer la pérennité des installations de ce type de projet, il est essentiel d'instaurer des mécanismes de suivi et d'évaluation approfondis. Une gestion efficace de la maintenance des divers équipements contribuera à renforcer la durabilité des installations, il est recommandé de donner une formation a au moins cinq jeunes du village sur les techniques de maintenance.

BIBLIOGRAPHIE

[1] « Wageningen University & Research », WUR. Consulté le: 1 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.wur.nl/en.htm
[2] « Centre International de la Patate ». Consulté le: 1 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://cipotato.org/
[3] « African Development Bank Group », African Development Bank Group. Consulté le: 1 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.afdb.org/en
[4] « Portail de connaissances ::Accueil ». Consulté le: 1 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://openknowledge.fao.org/home
[5] « Institut National de la Statistique du Niger ». Consulté le: 19 novembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.stat-niger.org/
[6] « MAG/EL – Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage ». Consulté le: 19 novembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://agriculture.gouv.ne/
[7] « FAOSTAT ». Consulté le: 19 novembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.fao.org/faostat/en/#data
[8] *The alkaline rocks and carbonatites of the world. 3: Africa*. London: British Museum (Natural History), 2001.
[9] A. Morel, « Villages et oasis des Monts Bagzans (Massif de l'Aïr-Niger) », vol. 61, nº 2, p. 247-266, 1973.
[10] E. A. Sidiyene, E. Le Floc'h, et E. Bernus, *Des arbres et des arbustes spontanés de l'Adrar des Iforas (Mali): étude ethnolinguistique et ethnobotanique*. Paris: Editions de l'Orstom : CIRAD, 1996.
[11] A. Afane, « A. Afane, L'olivier de Lapperine, indicateur des changements environnementaux à long terme dans l'Aîr: Cas du massif de bagzane. Aïr-Ténéré, Mémoire de DEA Milieux et sociétés des espaces arides et semi-arides: Aménagement-développement, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 2007, 65 pages. »
[12] « République du Niger, Rapport d'étude d'impact environnemental et social de trois seuils de recharge de la nappe Abseck, Bogol, Misène dans la région d'Agadez, Ministère de l'Agriculture, République du Niger, 2013, 94 pages. » [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%A9cial:Ouvrages_de_r%C3%A9f%C3%A9rence/1-86239-083-5
[13] « INRAE : recherches pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement ». Consulté le: 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.inrae.fr/
[14] « Accueil | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture ». Consulté le: 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.fao.org/home/en/
[15] « Centre national de la recherche scientifique (CNRS) ». Consulté le: 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cnrs.fr/fr
[16] « Accueil », Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Consulté le: 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.anses.fr/fr/content/accueil
[17] « 4a775d5060bd989b530f40d32a424684c1418351.pdf ». Consulté le: 25 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://duddal.org/files/original/4a775d5060bd989b530f40d32a424684c1418351.pdf
[18] « fiche d'enquete semences pomme de terre effectuer par BANAOU D Aboubacar aupres du producteur Ilias Alghabid.pdf ». Consulté le: 25 juin 2024. [En ligne]. Disponible sur:

https://onedrive.live.com/view.aspx?resid=57FBC0F3947E9B38!s01259d9dbad14d46b3b9e9b403ebe83f
[19] « fiche_tech_stockage_frigo_fr.pdf ».
[20] « Technologie_Froid_et_Entreposage_Frigorifique.pdf ».
[21] « Full Text PDF ». Consulté le: 6 juillet 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1111/jfpe.14127
[22] « Chambre froide », *Wikipédia*. 20 avril 2024. Consulté le: 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Chambre_froide&oldid=214417943
[23] « Le futur en construction ». Consulté le: 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cstb.fr/
[24] « Solar resource maps and GIS data for 200+ countries | Solargis ». Consulté le: 23 mai 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/niger
[25] « JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission ». Consulté le: 21 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/tools.html
[26] « Methode_charge_thermique.pdf ».
[27] « Groupe AFNOR | Les services du groupe en France et à l'international », Groupe AFNOR. Consulté le: 2 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.afnor.org/
[28] INES, « Institut National de l'Energie Solaire - INES | Photovoltaïque », INES - Institut National de l'Énergie Solaire. Consulté le: 2 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.ines-solaire.org/
[29] « Rapport de mission Agadez FAO-D.docx ».
[30] « ae-tme-132bds-700w-720w-ver24-11-1.pdf ».
[31] E. N. F. Ltd, « ENF Ltd. » Consulté le: 31 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/60382
[32] « Onduleur Solaire Hybride À Onde Sinusoïdale Pure Triphasé Haute Tension 50kw 48v Avec Contrôleur Mppt - Buy Bms Inverter 3phase 220v 230v 50kw Solar Hybrid Inverter Product on Alibaba.com ». Consulté le: 28 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://felicityenergy.en.alibaba.com/product/1601157204794-817867757/50KW_High_voltage_three_phase_48V_Pure_Sine_Wave_Hybrid_Solar_Inverter_With_MPPT_Controller.html?spm=a2700.shop_index.152.8.5b5f56b91uB5K4
[33] « Batterie Lifepo4 Prismatique 500ah,Cellules Lithium-ion,48v Pour Stockage D'énergie - Buy Lithium Ion Battery For House Solar System Product on Alibaba.com », www.alibaba.com. Consulté le: 31 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.alibaba.com/product-detail/500AH-Lifepo4-Prismatic-Lithium-Ion-Battery_1601158794945.html
[34] « 1SLC009000D0301_Boite_de_junction_pour_systemes_PV_LR.pdf ».
[35] « [Hot Item] Miniature Circuit Breaker DC S202m-C40DC », Made-in-China.com. Consulté le: 2 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://asfhccm.en.made-in-china.com/product/UJNpFtQrTRYP/China-Miniature-Circuit-Breaker-DC-S202m-C40DC.html
[36] « Fusible Solaire Pv Dc 1000v 32a Avec Porte-fusible - Buy Voltage Fuse,Fuse With Holder,Fuse Gpv Product on Alibaba.com », www.alibaba.com. Consulté le: 31 décembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.alibaba.com/product-detail/Solar-PV-DC-1000V-32A-Fuse_1600898881975.html
[37] « [Hot Item] DC T2 40 kA 1 000 V DC PV énergie solaire CLASSE 2 Parasurtenseur II SPD », Made-in-China.com. Consulté le: 2 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur:

https://fr.made-in-china.com/co_fatechelectronic/product_Dc-T2-40Ka-1000V-Dc-PV-Solar-Power-CLASS-2-II-SPD-Surge-Protector-Device_yuniersrhg.html

[38] « Profroid-catalogue-general-fr-d-041021b.pdf ».

SOMMAIRE

DÉDICACES I
REMERCIEMENTS II
RÉSUMÉ III
ABSTRACT IV
LISTE DES ABRÉVIATIONS V
NOMENCLATURE VI
LISTE DES TABLEAUX IX
LISTE DES FIGURES X
I. INTRODUCTION 1
I.1 Contexte et justification de l'étude 4
I.2 Objectifs de l'étude 4
I.2.1 Objectif général du projet 4
I.2.2 Objectifs spécifiques du projet 5
I.3 Présentation de la zone d'étude 5
I.3.1 Localisation de la zone d'étude 6
I.3.2 Description du site 8
I.4 Présentation de la structure d'accueil 8
I.4.1 Missions et Statut 9
I.4.2 Historique 9
II. État de l'art sur la conservation des denrées 10
II.1 Généralités sur le stockage et la conservation des aliments (pomme de terre) 10
II.1.1 Techniques de conservation 10
II.1.2 Application par la chaleur 10
II.1.3 Application par le froid 12
II.2 Conservation de la pomme de terre 12
II.2.1 Importance de la conservation de la pomme de terre 12
II.2.2 Problématiques énergétiques liées à la conservation de la pomme de terre 15
II.3 Méthodes de conservation (traditionnelles et modernes) 16
II.3.1 Méthodes traditionnelles de conservation de la pomme de terre au Niger 16
II.3.2 Méthode moderne de conservation 17
II.4 Impacts de la conservation sur la qualité de la pomme de terre 20
III. Généralités sur les chambres froides 21
III.1 Définition 21
III.2 Les types de chambres froides 22

III.2.1 Les chambres froides positives 22
III.2.2 Les chambres froides négatives 22
IV. DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE DE DIMENSIONNEMENT 23
IV.1 MÉTHODOLOGIE (BILAN THERMIQUE, BILAN DE PUISSANCE, CHOIX DES ÉQUIPEMENTS) 23
IV.1.1 Méthodologie de détermination du bilan thermique 23
IV.1.2 Informations sur les données climatiques de la zone 24
IV.1.3 Spécifications techniques du magasin de stockage 28
IV.1.4 Orientation de la chambre froide 30
IV.1.5 Méthodologie calcul des différentes charges thermique de la chambre froide 30
IV.2 Le bilan de puissance 37
IV.3 Dimensionnement de la chambre froide 38
IV.3.1 Bilan frigorifique et unité de réfrigération 38
IV.3.2 Architecture de notre système froid 39
IV.4 Dimensionnement de l'alimentation solaire photovoltaïque et choix des équipements 40
IV.4.1 Outils et techniques de conception utilisés 40
IV.4.2 Méthode par calcul 41
IV.5 Estimation du coût de l'installation 50
V. RÉSULTATS ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL 50
V.1 Résultats du bilan thermique et des besoins énergétiques 50
V.1.1 Résultats du bilan thermique 50
V.1.2 Contribution de la charge thermique a l'apport de chaleur dans la chambre froide 1 ... 55
V.1.3 Devis Estimatif du cout de l'installation frigorifique 56
V.2 Résultats des besoins énergétiques journaliers du magasin 57
V.3 Modèle 3D des magasins 58
V.4 Présentation des résultats simulations d'ombrages 59
V.5 Résultats de dimensionnement du système PV 60
V.5.1 Choix des équipements solaires 64
V.6 Choix des équipements de protections des panneaux photovoltaïques 67
V.6.1 Caractéristiques boite de jonction DC 67
V.7 RÉSULTATS DU DIMENSIONNEMENT AVEC PV SYS 69
V.7.1 Présentation de PVsyst 7.4 69
V.7.2 Résultats des prévisions sur PVsyst 7.4 69
V.8 SCHÉMA ÉLECTRIQUE ET SYNOPTIQUE DU CHAMP PV 71
V.9 Estimation du coût d'installation solaire photovoltaïque 73

VI. NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE 75
CONCLUSION GÉNÉRALE 76
RECOMMANDATIONS 77
BIBLIOGRAPHIE 78
ANNEXES 85
LISTE DES ANNEXES 86
ANNEXE 1: ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTALE ET SOCIÉTALE DU PROJET 87
ANNEXE 2 : DÉTERMINATION DES CHOIX DE COEFFICIENTS POUR LE CALCUL DU DIMENSIONNEMENT DU BILAN FRIGORIFIQUE 88
Annexe 2. 1 : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité moyenne dans une chambre froide 88
Annexe 2. 2 : Durée moyenne de transit de différents types de marchandises entreposées en chambre froide 88
ANNEXE 3 : FICHES TECHNIQUES MODULES DE 700 Wc 89
ANNEXE 4 : FICHE TECHNIQUE ONDULEUR FELICITY SOLAR HY-50K-HT 91
ANNEXE 5 : VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE CALCUL DU NIVEAU Fpv 92
Annexe 5. 1 : Choix du niveau d'exigence de la protection 92
Annexe 5. 2 : Choix de la caractéristique de la protection 92
Annexe 5. 3 : Choix du coefficient fonction de la situation du bâtiment ou du champ 92
Annexe 5. 4 : Estimation du risque de surtensions 92
ANNEXE 6 : FICHE CARACTÉRISTIQUE BATTERIE LITHIUM FLA4850 48 V DE 500 Ah 93
ANNEXE 7 : RÉSULTATS DES DIMENSIONNEMENTS DES SIMULATIONS SUR PVSYST 94
ANNEXE 8 : FICHES CARACTÉRISTIQUES PORTES FUSIBLES E 90 PV 32 A ET FUSIBLES CYLINDRIQUES E 9F PV 96
..... 96
ANNEXE 9 : FICHE TECHNIQUE SECTIONNEUR S802-PV-M-H 63 A 97
ANNEXE 10 : PARAFOUDRE PROTECTION OVR PV T2 40100 P QS CONTRE LES SURTENSIONS 98
ANNEXE 11 : RÉSULTATS DU POINT DE TRACER DU DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE 99
ANNEXE 12 : FICHE CARACTÉRISTIQUES GROUPE CONDENSATION A AIR PROFROID DE 9.32 ET 16.05 kW 100
ANNEXE 13 : PLAN AUTOCAD DU MAGASIN 100 TONNES 101
ANNEXE 14 : CALCUL BILAN FRIGORIFIQUE CHAMBRE FROIDE 2 ET CHOIX DES ÉVAPORATEURS 102
Annexe 14. 1 : Chambre froide 2 102
Annexe 14. 2 : Contribution de la charge thermique a l'apport de chaleur dans la chambre froide 106

Annexe 14. 3 : Choix de l'évaporateur..... 106
Annexe 14. 4 : Fiche technique évaporateur PROFROID de 7.26 kW 107
ANNEXE 15 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DESHUMIDIFICATEUR 8L/JOUR..... 108

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1: ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTALE ET SOCIÉTALE DU PROJET 87
ANNEXE 2 : DÉTERMINATION DES CHOIX DE COEFFICIENTS POUR LE CALCUL DU DIMENSIONNEMENT DU BILAN FRIGORIFIQUE 88
ANNEXE 3 : FICHES TECHNIQUES MODULES DE 700 Wc 89
ANNEXE 4 : FICHE TECHNIQUE ONDULEUR FELICITY SOLAR HY-50K-HT 91
ANNEXE 5 : VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE CALCUL DU NIVEAU Fpv 92
ANNEXE 6 : FICHE CARACTÉRISTIQUE BATTERIE LITHIUM FLA4850 48 V DE 500 Ah 93
ANNEXE 7 : RÉSULTATS DES DIMENSIONNEMENTS DES SIMULATIONS SUR PVSYST 94
ANNEXE 8 : FICHES CARACTÉRISTIQUES PORTES FUSIBLES E 90 PV 32 A ET FUSIBLES CYLINDRIQUES E 9F PV 96
ANNEXE 9 : FICHE TECHNIQUE SECTIONNEUR S802-PV-M-H 63 A 97
ANNEXE 10 : PARAFOUDRE PROTECTION OVR PV T2 40100 P QS CONTRE LES SURTENSIONS 98
ANNEXE 11 : RÉSULTATS DU POINT DE TRACER DU DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE 99
ANNEXE 12 : FICHE CARACTÉRISTIQUES GROUPE CONDENSATION A AIR PROFROID DE 9.32 ET 16.05 kW 100
ANNEXE 13 : PLAN AUTOCAD DU MAGASIN 100 TONNES 101
ANNEXE 14 : CALCUL BILAN FRIGORIFIQUE CHAMBRE FROIDE 2 ET CHOIX DES ÉVAPORATEURS 102
ANNEXE 15 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DESHUMIDIFICATEUR 8L/JOUR 108

ANNEXE 1: ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTALE ET SOCIÉTALE DU PROJET

Domaines d'applications	Impacts positifs	Impact négatifs	Mesures d'atténuations
Champs photovoltaïques	**Réduction des émissions de gaz à effet de serre :** Les panneaux solaires produisent de l'électricité sans émissions directes de CO2, contribuant à la lutte contre le changement climatique. **Utilisation des ressources renouvelables :** L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable et inépuisable tant qu'il y a du soleil. **Diminution de la dépendance aux énergies fossiles :** L'augmentation de la production d'énergie solaire peut réduire la dépendance aux combustibles fossiles.	**Impact sur la biodiversité :** La construction de champs photovoltaïques peut entraîner la destruction d'habitats naturels et affecter la faune et la flore locales. **Utilisation des terres :** Les grands champs photovoltaïques nécessitent de grandes surfaces, ce qui peut conduire à une concurrence avec des terres agricoles ou naturelles. **Fin de vie des panneaux :** La gestion des déchets issus de panneaux solaires en fin de vie est un enjeu important, car certains matériaux peuvent être nocifs pour l'environnement.	Effectuer des études d'impact écologique avant l'installation, et concevoir les installations pour promouvoir la biodiversité (par exemple, en intégrant des zones de végétation). Utiliser des terrains dégradés ou des toits pour l'installation, et intégrer les panneaux dans des systèmes agro voltaïques qui permettent la coexistence de l'agriculture et des panneaux solaires. Mettre en place des programmes de recyclage et de réutilisation des panneaux en fin de vie.
Machines frigorifiques	**Efficacité énergétique :** Les machines frigorifiques modernes peuvent être très efficaces, réduisant ainsi la consommation d'énergie et les émissions associées. **Possibilité de récupération de chaleur :** Certaines installations permettent de récupérer la chaleur générée par le processus de refroidissement pour d'autres applications.	**Émissions de gaz à effet de serre :** Certains fluides frigorigènes, tels que les hydrofluorocarbures (HFC), ont un potentiel de réchauffement global (PRG) élevé, contribuant au changement climatique s'ils sont émis dans l'atmosphère. **Fuites de fluides :** Les fuites de fluides frigorigènes peuvent se produire lors de l'installation, de l'entretien ou de la désinstallation des équipements, entraînant des impacts environnementaux négatifs. **Impact sur la couche d'ozone :** Certains anciens fluides frigorigènes, comme les chlorofluorocarbures (CFC), sont nocifs pour la couche d'ozone, bien que leur utilisation ait été largement réduite grâce au Protocole de Montréal. **Déchets électroniques :** Les machines frigorifiques en fin de vie peuvent générer des déchets électroniques, qui doivent être gérés de manière appropriée pour éviter la pollution.	Utiliser des fluides frigorigènes à faible PRG, comme les hydrocarbures naturels ou les alternatives écologiques, et assurer une bonne gestion des fuites. Améliorer l'efficacité énergétique des systèmes et intégrer des sources d'énergie renouvelable pour alimenter les machines. Établir des programmes de recyclage pour les machines en fin de vie et des procédures de récupération des fluides frigorigènes.

ANNEXE 2 : DÉTERMINATION DES CHOIX DE COEFFICIENTS POUR LE CALCUL DU DIMENSIONNEMENT DU BILAN FRIGORIFIQUE

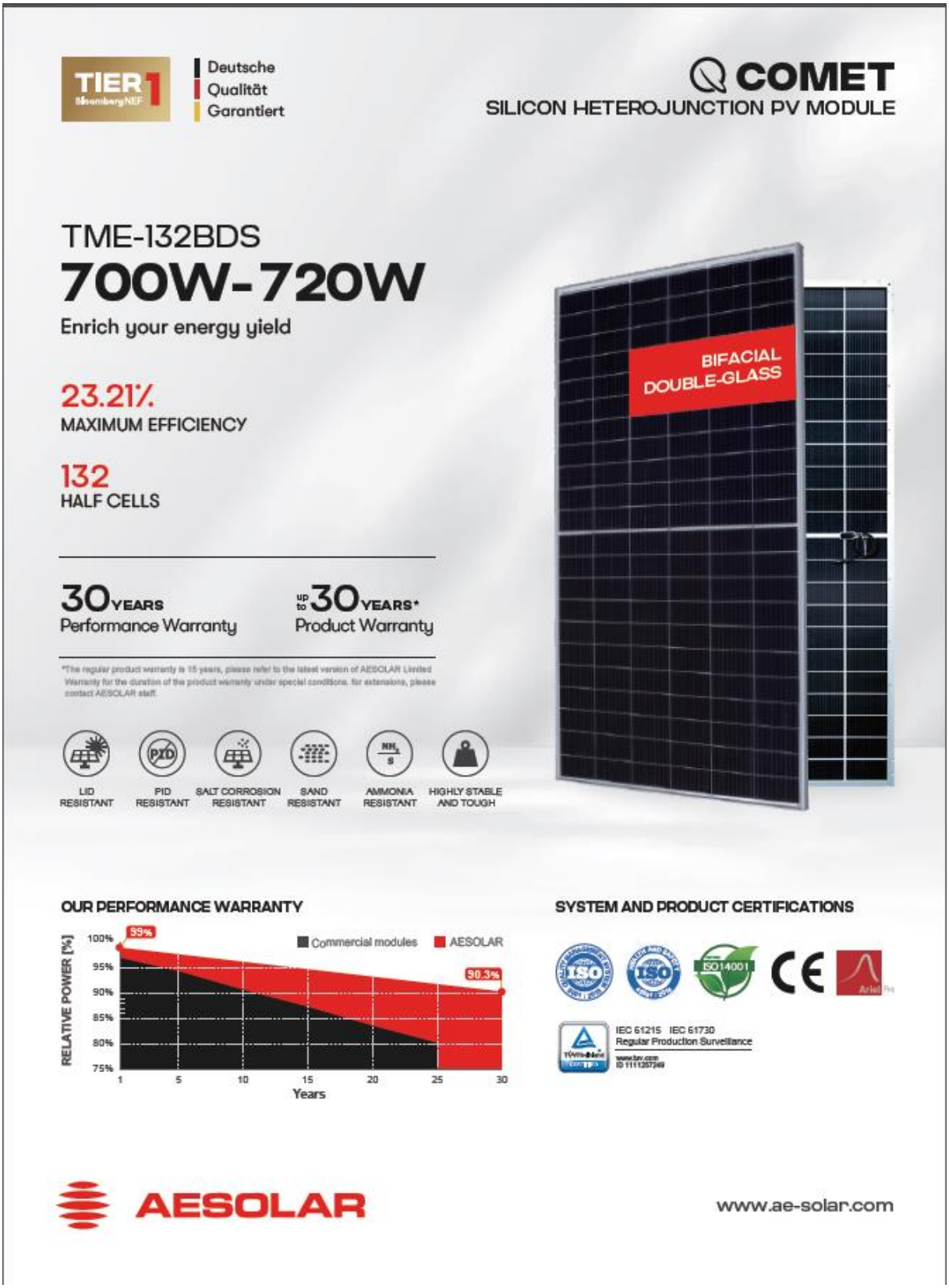
Annexe 2. 1 : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité moyenne dans une chambre froide

Température de la chambre froide (°C)	Quantité de chaleur dégagée par personne
20	180
15	200
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

Annexe 2. 2 : Durée moyenne de transit de différents types de marchandises entreposées en chambre froide

Type de porte	Type de marchandise	d_t (mn/t)
Porte à ouverture manuelle	Cas de la viande animale sur pendoir	15
	Cas des marchandises palettisées	6
Porte automatique commandée	Cas de la viande animale sur pendoir	1
	Cas des marchandises palettisées	0.8

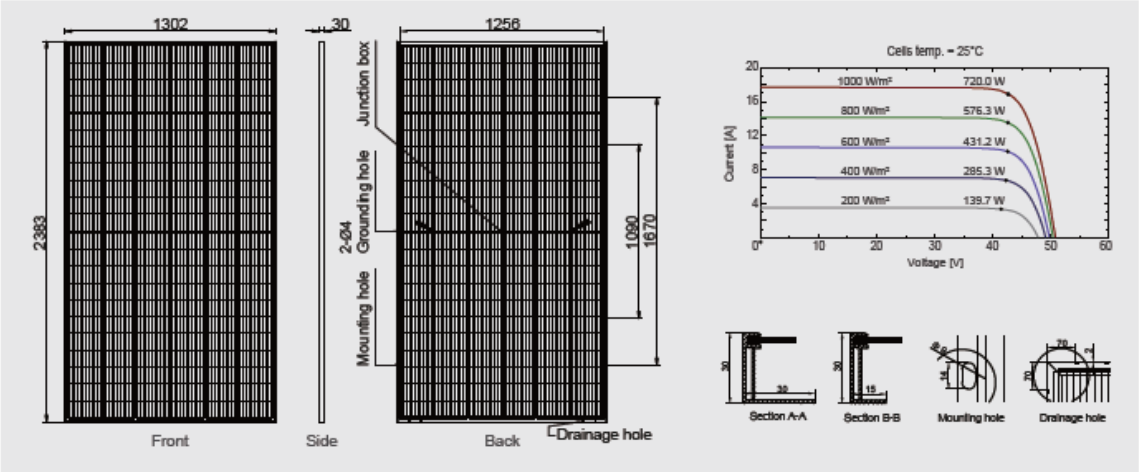
ANNEXE 3 : FICHES TECHNIQUES MODULES DE 700 Wc



AE TME-132BDS 700W-720W

SILICON HETEROJUNCTION PV MODULE

BIFACIAL • DOUBLE-GLASS



Electrical specifications (STC*):

Nominal max. power	P_{max} (Wp)	700	705	710	715	720
Maximum operating voltage	V_{MPP} (V)	42.10	42.24	42.39	42.54	42.68
Maximum operating current	I_{MPP} (A)	16.63	16.69	16.75	16.81	16.87
Open-circuit voltage	V_{oc} (V)	50.14	50.38	50.44	50.60	50.74
Short-circuit current	I_{sc} (A)	17.43	17.49	17.55	17.61	17.67
Module efficiency	η (%)	22.56	22.72	22.88	23.04	23.21
Power tolerance	(W)			0~+5		
Maximum system voltage	(V)			1500		
Maximum series fuse rating	(A)			30		

*STC: Standard Test Conditions (Irradiance 1000 W/m², cell temperature 25°C and air mass of AM1.5), measurement tolerance Pmax: ±3%

Electrical specifications (NMOT*):

Nominal max. power	P_{max} (Wp)	525	529	533	536	540
Maximum operating voltage	V_{MPP} (V)	39.46	39.62	39.74	39.79	39.91
Maximum operating current	I_{MPP} (A)	13.30	13.35	13.41	13.47	13.53
Open-circuit voltage	V_{oc} (V)	47.06	47.26	47.41	47.48	47.63
Short-circuit current	I_{sc} (A)	13.94	13.99	14.05	14.11	14.17

*NMOT: Normal Module Operating Temperature (Irradiance 800 W/m², ambient temperature 20°C, air mass of AM1.5 and wind speed of 1 m/s)

Bifacial electrical specifications

Max.power front-side $P_{max\,front}$ (Wp)	700		705		710		715		720	
Backside Power Gain	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%	5%	10%
Total equivalent power $P_{max\,equ}$ (Wp)	735	770	740	776	746	781	751	787	756	792
Module efficiency η (%)	23.69	24.82	23.86	24.99	24.03	25.17	24.20	25.35	24.37	25.53

*Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on the mounting (structure, height, tilt angle, etc.) and albedo of the ground.

Mechanical and design specification

Cell type	Silicon heterojunction technology, half-cut cells
No. of cells	132
Bifaciality	80 ± 5%
Front cover	2.0 mm glass, high transmission, AR coated, tempered
Encapsulation	POE
Back cover	2.0 mm white glazed glass, tempered
Junction box	IP68 rated, 3 bypass diodes
Frame	30 mm anodized aluminium alloy
Cable (Including Connector)	1 x 4 mm², 350 mm length or customized
Connectors	MC 4 / MC 4 compatible
Dimension	2383 mm x 1302 mm x 30 mm
Weight	37 kg
Hail resistance	Max. Ø 25 mm at 23 m/s
Wind load	2400 Pa or 244 kg/m²
Snow load	5400 Pa or 550 kg/m²

Temperature ratings

Operating temperature	-40 to +85°C
Temp. coefficient of P_{max}	-0.24 %/°C
Temp. coefficient of V_{oc}	-0.22 %/°C
Temp. coefficient of I_{sc}	0.040 %/°C
Nom. operating cell temp. NOCT	44 ± 2°C

Packaging information

Packaging configuration	36 pcs / pallet
Loading capacity	648 pcs / 40 HQ
Size / Pallet	1350 mm x 1140 mm x 2500 mm (Upright)
Weight	1364 kg / pallet

The specifications and characteristics contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the product developments and uncertainty of measurement devices.

ANNEXE 4 : FICHE TECHNIQUE ONDULEUR FELICITY SOLAR HY-50K-HT

felicitysolar®

Make life full of hope

Specification

MODEL	HY-50K-HT
Battery Input Data	
Battery Voltage Range	160~800Vd.c.
Max. Charging Current	50+50 (A)
Max. Discharging Current	50+50 (A)
Number of battery input	2
PV String Input Data	
Max. DC Input Power	65 kW
Max. DC Input Voltage	1000Vd.c.
Min. DC Input Voltage	150Vd.c.
Start-up Voltage	250Vd.c.
Rated DC Input Voltage	600Vd.c.
MPPT Range	200~850Vd.c.
Full Load DC Voltage Range	450~850Vd.c.
PV Input Current	36+36+36+36 (A)
Max. PV Isc	55+55+55+55 (A)
No.of MPP Trackers	4
No.of Strings per MPP Tracker	2
AC Output Data	
Rated AC Output Power	50 kW
Max. AC Output Power	55 kW
AC Output Rated Current	75 .8 A
Max. AC Current	83.3 A
Rated AC Voltage	220/380,230/400 Vac (-20%~+15%)
AC Wiring Mode	3W+N+PE/3W+PE
Rated AC Frequency	50 /60 Hz (45~55Hz/55~65Hz)
THDI	<3% (At Rated Power)
Power Factor	0.8(leading) to 0.8(lagging)
General Data	
Product Dimension (D*W*H)	940*595*340MM
Net Weight(KG)	70KG
Protection Degree	IP65
Noise	<45dB
Operating Temperature Range	-25 to 60 °C (> 50 °C derating)
Humidity	0 ~ 95 % (No condensation)
Cooling	Smart cooling
Altitude	2000 m (> 2000 m derating)
Communication with BMS	Communication with BMS
Installation Style	Wall-mounted
Warranty	5 years

ANNEXE 5 : VALEURS DE RÉFÉRENCE POUR LE CALCUL DU NIVEAU Fpv

Annexe 5. 1 : Choix du niveau d'exigence de la protection

Résultat du Tableau 2	Obligatoire	Recommandé	Peu utile
φ	2	1	0

Annexe 5. 2 : Choix de la caractéristique de la protection

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 Type 1 (1)	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1 (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

Le parafoudre côté AC est à l'origine de l'installation de distribution publique. Dans le cas d'un raccordement au réseau en deux points (cf. Figure 3), il est recommandé d'installer un parafoudre à proximité de l'onduleur si le parafoudre à l'origine de l'installation est obligatoire ou recommandé.

(1) Dans le cas des bâtiments intégrant le poste de transformation, si la prise de terre du neutre du transformateur est confondue avec la prise de terre des masses interconnectée à la prise de terre du paratonnerre, la mise en œuvre de parafoudres n'est pas obligatoire.
Dans les autres cas et lorsque le bâtiment comporte plusieurs installations privatives, le parafoudre de type 1 ne pouvant être mis en œuvre à l'origine de l'installation est remplacé par des parafoudres de type 2 (I_n ≥5 kA) placés à l'origine de chacune des installations privatives

(2) Toutefois, l'absence d'un parafoudre est admise si elle est justifiée par l'analyse du risque définie dans le guide UTE C 15-443.

Annexe 5. 3 : Choix du coefficient fonction de la situation du bâtiment ou du champ

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

Annexe 5. 4 : Estimation du risque de surtensions

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

ANNEXE 6 : FICHE CARACTÉRISTIQUE BATTERIE LITHIUM FLA4850 48 V DE 500 Ah

Model	FLA48500
Capacity	25kWh
Battery Type	LiFePO4
Nominal Voltage	51.2V
Operating Voltage	44.8-57.6V
Recommend Charge/Discharge Current[1]	≤200A
Recommend Charge/Discharge Power[1]	≤10,000W
Maximum Charge/Discharge Current(15s)	300A
Maximum Charge/Discharge Power(15s)	15,000W
Depth of Discharge(DOD)	≥ 95%
Scalability	Up to 15 units in parallel(375kWh)
Communication	RS485 / CAN
Protection Level	IP21
Cycle Life[2]	≥ 6000 Cycles
Charging Temperature Range	0-55 °C
Discharging Temperature Range	-20-55°C
Display	LCD+LED
Installation	Floor-Mounted
Protection	Built-in smart BMS, Breaker, Fuse
Warranty	7 Years
Net Weight	218kg
Gross Weight	248kg
Product Dimension	718x380x990mm
Package Dimension	825x498x1162mm
[1] Recommend charge/discharge current/power is affected by temperature and SOC.	
[2] Test conditions: 0.2C Charging/Discharging @25°C , 80% DOD.	

ANNEXE 7 : RÉSULTATS DES DIMENSIONNEMENTS DES SIMULATIONS SUR PVSYST

Paramètres généraux

Système isolé — **Système isolé avec batteries**

Orientation #1
Plan fixe
Inclinaison/Azimut 15 / 0 °

Configuration des sheds
Pas de scène 3D

Modèles utilisés
Transposition Perez
Diffus Perez, Meteonorm
Circumsolaire séparément

Besoins de l'utilisateur
Consomm. domestique
Constants sur l'année
Moyenne 765 kWh/Jour

Caractéristiques du champ de capteurs

Module PV
Fabricant Generic
Modèle AE700CME-132
(Base de données PVsyst originale)
Puissance unitaire 700 Wc
Nombre de modules PV 336 unités
Nominale (STC) 235 kWc
Modules 24 chaîne x 14 En série
Aux cond. de fonct. (50°C)
Pmpp 218 kWc
U mpp 519 V
I mpp 419 A

Régulateur
Régulateur universel
Technologie Convertisseur MPPT
Coeff. de temp. -5.0 mV/°C/Élém.
Convertisseur
Efficacité maxi et EURO 97.0 / 95.0 %
Seuils de régulation batterie
Seuils de commande selon Calcul SOC
Charge SOC = 0.96 / 0.80
Décharge SOC = 0.10 / 0.35

Batterie
Fabricant Generic
Modèle FLA48500
Technologie Lithium-ion, LFP
Nombre d'unités 10 en parallèle x 4 en série
Décharge : min. SOC 10.0 %
Energie stockée 886.8 kWh
Caractéristiques du banc de batteries
Tension 205 V
Capacité nominale 5000 Ah (C10)
Température Fixée 20 °C

Puissance PV totale
Nominale (STC) 235 kWc
Total 336 modules
Surface modules 1042 m²

Pertes champ

Fact. de pertes thermiques
Température modules selon l'irradiance
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (vent) 0.0 W/m²K/m/s

Pertes câblage DC
Rés. globale champ 20 mΩ
Frac. pertes 1.5 % aux STC

Perte diode série
Chute de tension 0.7 V
Frac. pertes 0.1 % aux STC

Perte de qualité module
Frac. pertes -1.3 %

Pertes de mismatch modules
Frac. pertes 2.0 % au MPP

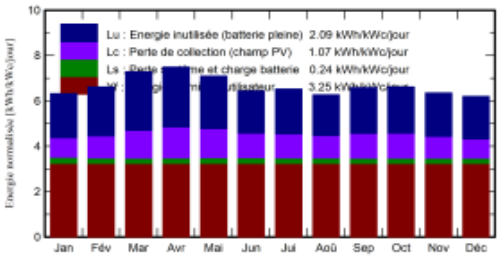
Perte de "mismatch" strings
Frac. pertes 0.2 %

Résultats principaux

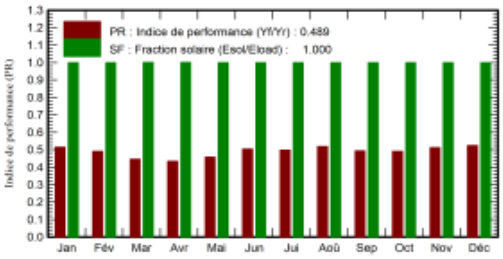
Production du système

Energie solaire utilisée	279.29 MWh/an	Indice perf. PR	48.91 %
Energie solaire disponible	466.71 MWh/an	Fraction solaire (SF)	100.00 %
En excès (inutilisée)	179.44 MWh/an		
Besoins non satisfaits		**Vieillissement batterie (Etat d'usure (SOW))**	
Fraction du temps	0.0 %	SOW cyclage	97.9 %
Energie manquante	0.00 MWh/an	SOW statique	90.0 %

Productions normalisées (par kWp installé)



Indice de performance (PR)



Bilans et résultats principaux

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail MWh	EUnused MWh	E_Miss MWh	E_User MWh	E_Load MWh	SolFrac ratio
Janvier	164.1	192.8	38.84	14.19	0.000	23.72	23.72	1.000
Février	163.9	182.1	36.21	14.16	0.000	21.43	21.43	1.000
Mars	212.8	222.2	43.17	18.81	0.000	23.72	23.72	1.000
Avril	224.6	221.0	42.21	18.60	0.000	22.96	22.96	1.000
Mai	229.9	215.9	41.28	16.90	0.000	23.72	23.72	1.000
Juin	205.2	189.4	36.74	13.14	0.000	22.96	22.96	1.000
Juillet	213.5	198.3	38.71	14.40	0.000	23.72	23.72	1.000
Août	197.8	190.9	37.44	13.06	0.000	23.72	23.72	1.000
Septembre	190.8	194.1	37.76	14.21	0.000	22.96	22.96	1.000
Octobre	186.5	202.1	39.23	14.85	0.000	23.72	23.72	1.000
Novembre	162.1	187.4	37.10	13.49	0.000	22.96	22.96	1.000
Décembre	157.7	188.8	38.02	13.64	0.000	23.72	23.72	1.000
Année	2308.8	2385.1	466.71	179.44	0.001	279.29	279.29	1.000

Légendes

GlobHor	Irradiation globale horizontale	E_User	Energie fournie à l'utilisateur
GlobEff	Global "effectif", corr. pour IAM et ombrages	E_Load	Besoin d'énergie de l'utilisateur
E_Avail	Energie solaire disponible	SolFrac	Fraction solaire (Eutile / Ebesoin)
EUnused	Énergie inutilisée (batterie pleine)		
E_Miss	Energie manquante		

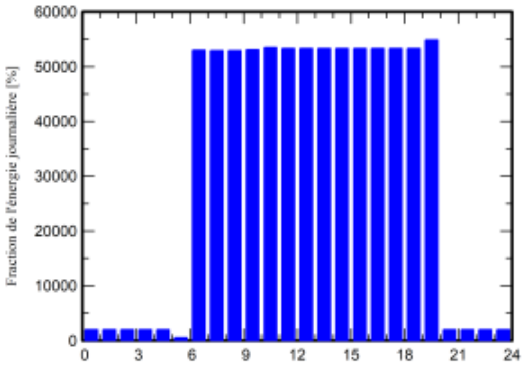
Besoins de l'utilisateur

Consomm. domestique, Constants sur l'année, moyenne = 765 kWh/jr

Valeurs annuelles

	Nb.	Puissance W	Utilisation Heure/jour	Énergie Wh/jour
Lampes fluo intérieur	9	18/lampe	2.0	324
Lampes fluo extérieur	4	18/app	12.0	864
Ventilateurs	17	25/app	20.0	8500
groupe condensation 1	1		14	370860
Ventilos convecteurs	4		10	14800
Evaporateus	11	106 tot	14.0	16324
Groupe condensation 2	1	25250 tot	14.0	353500
Consomm. de veille			24.0	24
Energie journalière totale				765196

Distribution horaire



ANNEXE 8 : FICHES CARACTÉRISTIQUES PORTES FUSIBLES E 90 PV 32 A ET FUSIBLES CYLINDRIQUES E 9F PV

Les porte-fusibles et sectionneurs E 90 PV sont conçus pour les applications 1000 V DC et 1500 V DC. La série est idéale pour protéger les installations photovoltaïques des surintensités. C'est aussi une solution fiable, compacte et efficace en combinaison avec des fusibles cylindriques 10,3 x 38 gPV (applications 1000 V DC) ou en combinaison avec des fusibles 10 x 85 et 10/14 x 85 gPV cylindriques (applications 1500 V DC). Les caractéristiques principales des portes-fusibles et sectionneurs E 90 PV sont notamment :

- Excellentes performances à haute température grâce aux fentes d'aération et aux chambres froides qui améliorent la dissipation de la chaleur, même en configuration multipolaire.
- Protection anti-contact P20 qui empêche tout contact avec des pièces sous tension pendant l'entretien et le remplacement des fusibles et qui garantit la sécurité des opérateurs.
- Lorsque l'E90 PV est utilisé pour des applications 1000 V DC, la sécurité des opérations de maintenance est encore renforcée par la possibilité de bloquer le levier en position fermée et de le verrouiller en position ouverte.
- Identification plus rapide des strings défaillants au niveau des porte-fusibles pour les systèmes 1000 V DC, grâce à la LED sur le porte-fusible, qui rend visibles immédiatement les fusibles défectueux.

Type		E90/32 PV	E90/32 PV 1500
Normes de référence	-	IEC 60947-3, UL 4248-1, UL 4248-18	IEC 60269-1,-2,-6 UL 4248-19
Courant nominal	[A]	30	(conforme IEC)/ 30 (conforme UL)
Tension nominale de fonctionnement	[V]	1000 V DC	1500 V DC
Taille du fusible	[mm]	10 x 30	10 x 85 en 10/14 x 85
Puissance max. autorisée enregistrée	[W]	3	6
Couple de serrage	[Nm]	PZ2 2-2.5 Nm (PZ2 18-22 lb-in)	PZ2 2-2.5 Nm (PZ2 18-22 lb-in)
Classe de protection	-	IP20	IP20
Sections conducteurs cuivre massif (1 fil)	[mm²]	1.5 - 25 (16-4 AWG)	
Sections conducteurs cuivre tressé (1 fil)	[mm²]	1.5 - 16 (16-5 AWG)	0.75 – 25 (18-4 AWG)
Sections conducteurs cuivre tressé (2 fils de même section)	[mm²]		0.75 – 10 (18-6 AWG)
Température du câble	[°C]	CU 60, 75, 90	max 90 (conforme UL)
Température de fonctionnement	[°C]	-0,125	> -5
Opslagtemperatuur	[°C]	-0,357142857	> -25
Stabilité de la température (boîtier)	[°C]		125
Homologations	-	UL, CCC, EAC	UL

Fusibles cylindriques
E 9F PV

Les fusibles cylindriques de la série E 9F PV sont spécialement conçus pour sécuriser les circuits de tension continue jusqu'à max. 1500 V.

La série est disponible en 10,3 x 38 mm pour un courant nominal jusqu'à max. 30 A avec une tension nominale de 1000 V DC, ou en 10 x 85 mm pour un courant nominal jusqu'à max. 32 A avec une tension nominale de 1500 V DC. Les fusibles offrent la meilleure solution pour la protection des strings, onduleurs et protections contre les surtensions dans les systèmes photovoltaïques.

Type		E9F PV	E9F PV 1500
Normes de référence	-	IEC 60269-6; ROHS 2002/98/CE, UL	IEC 60269-6; ROHS 2002/98/CE, UL
Courant nominal	[A]	1..30	4...32
Tension nominale de fonctionnement	[V]	1000 DC	1500 DC
Capacité de rupture	[kA]	10	50
Dimensions hors-tout	[mm]	10.3 x 38	10 x 85

ANNEXE 9 : FICHE TECHNIQUE SECTIONNEUR S802-PV-M-H 63 A

Les sectionneurs polarisés S802 PV-M sont spécialement conçus pour les réseaux jusqu'à max. 1000 V DC. Ils sont équipés d'aimants permanents pour la polarité de commutation et nécessitent donc une tension d'alimentation correcte. S802 PV-M-H les sectionneurs et leurs accessoires (contacts auxiliaires, bobine de sous-tension et commande moteur) conviennent à un large éventail de configurations.

Les caractéristiques principales des sectionneurs S802 PV-M-H sont notamment :

- Connexions interchangeables.
- Le statut de contact de chaque pôle est visible.

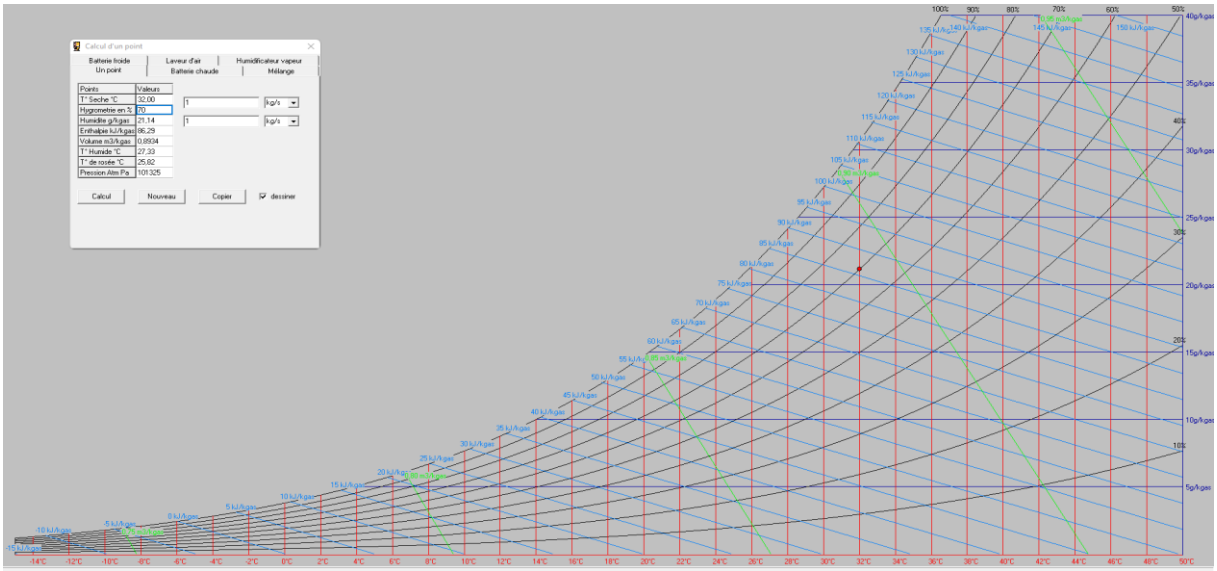
Caractéristiques techniques principales		S802 PV-M-H
Normes de référence		IEC EN 60947-3
Courant nominal In	A	32, 63, 100
Nombre de pôles		2
Tension nominale Ue (DC) 2 pôles*	V	1000
Valeur nominale Courant de résistance de court-circuit Icw (DC) 2 pôles* 1000 V	kA	1.5
Classe d'utilisation		DC- 21A
Température de fonctionnement	°C	-25...+60 °C
Montage		sur rail DIN EN 60715 (35 mm) à l'aide d'une pince rapide

* Voir les schémas de câblage.

ANNEXE 10 : PARAFOUDRE PROTECTION OVR PV T2 40100 P QS CONTRE LES SURTENSIONS

Types		OVR PV T2 40-600 P QS	OVR PV T2 40-1000 P QS	OVR PV T2 40-1000 P TWIN QS	OVR PV T2 40-1500 P QS
Types avec contacts auxiliaires		OVR PV T2 40-600 P TS QS	OVR PV T2 40-1000 P TS QS	OVR PV T2 40-1000 P TS TWIN QS	OVR PV T2 40-1500 P TS QS
Technologie		Varistor + GDT	Varistor	Varistor	Varistor
Caractéristiques électriques					
Standard		IEC 61643-11 / EN 50539-11 / UL 1449 4ᵉ édition	IEC 61643-11 / EN 50539-11 / UL 1449 4ᵉ édition	IEC 61643-11 / EN 50539-11 / UL 1449 4ᵉ édition	IEC 61643-11 / EN 50539-11 / UL 1449 4ᵉ édition
Type/classe de test		T2/II	T2/II	T2/II	T2/II
Lignes sécurisées		2	2	4	2
Types de réseaux		Photovoltaïque	Photovoltaïque	Photovoltaïque	Photovoltaïque
Types de courant		DC	DC	DC	DC
Tension nominale Un (L-N/L-L)	V	600	1000	1000	1500
Tension de fonctionnement cont. max. Ucpv	V	600	1100	1100	1500
Courant d'impulsion Iimp (10/350)		2	2	2	2
Courant de décharge maximal Imax (8/20)	kA	40	40	40	40
Nominale ontlaadstroom In (8/20)	kA	20	20	20	10
Courant de décharge nominal In Niveau de protection de tension Up avec (L-L/L-PE)	kV	2.8/1.4	3.8/3.8	3.8/3.8	4.5/4.5
Délai de réaction	ns	≤ 25	≤ 25	≤ 25	≤ 25
Courant résiduel IPE	µA	10	75	75	<30
Courant de court-circuit DC Iscpv	A	300	10,000	10,000	10,000
Séparateur Fusible		Pas nécessaire jusqu'à max. 0,3 kA	Pas nécessaire jusqu'à max. 10 kA	Pas nécessaire jusqu'à max. 10 kA	Pas nécessaire jusqu'à max. 10 kA
Coupe-circuit		Pas nécessaire jusqu'à max. 0,3 kA	Pas nécessaire jusqu'à max. 10 kA	Pas nécessaire jusqu'à max. 10 kA	Pas nécessaire jusqu'à max. 10 kA
Cartouche remplaçable		Oui	Oui	Oui	Oui
Interrupteur de séparation thermique spécial intégré		Oui	Oui	Oui	Oui
Indication de l'état		Oui	Oui	Oui	Oui
Réserve de sécurité		Non	Non	Non	Non
Contact auxiliaire		Oui (Option TS)	Oui (Option TS)	Oui (Option TS)	Oui (Option TS)

ANNEXE 11 : RÉSULTATS DU POINT DE TRACER DU DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE



Conditions extérieures en dehors de la chambre froide	
Points	Valeurs
Température sèche (°C)	32
Hygrométrie en (%)	70
Humidité (g/kgas)	21.14
Enthalpie (kJ/kgas)	86.29
Volume (m^3/kgas)	0.8934
Température humide (°C)	27.33
Température de rosée (°C)	25.82
Pression Atm (Pa)	101325
Conditions intérieures de la chambre froide	
Température sèche (°C)	4
Hygrométrie en (%)	90
Humidité (g/kgas)	4.53
Enthalpie (kJ/kgas)	15.38
Volume (m^3/kgas)	0.7904
Température humide (°C)	3.33
Température de rosée (°C)	2.52
Pression Atm (Pa)	101325

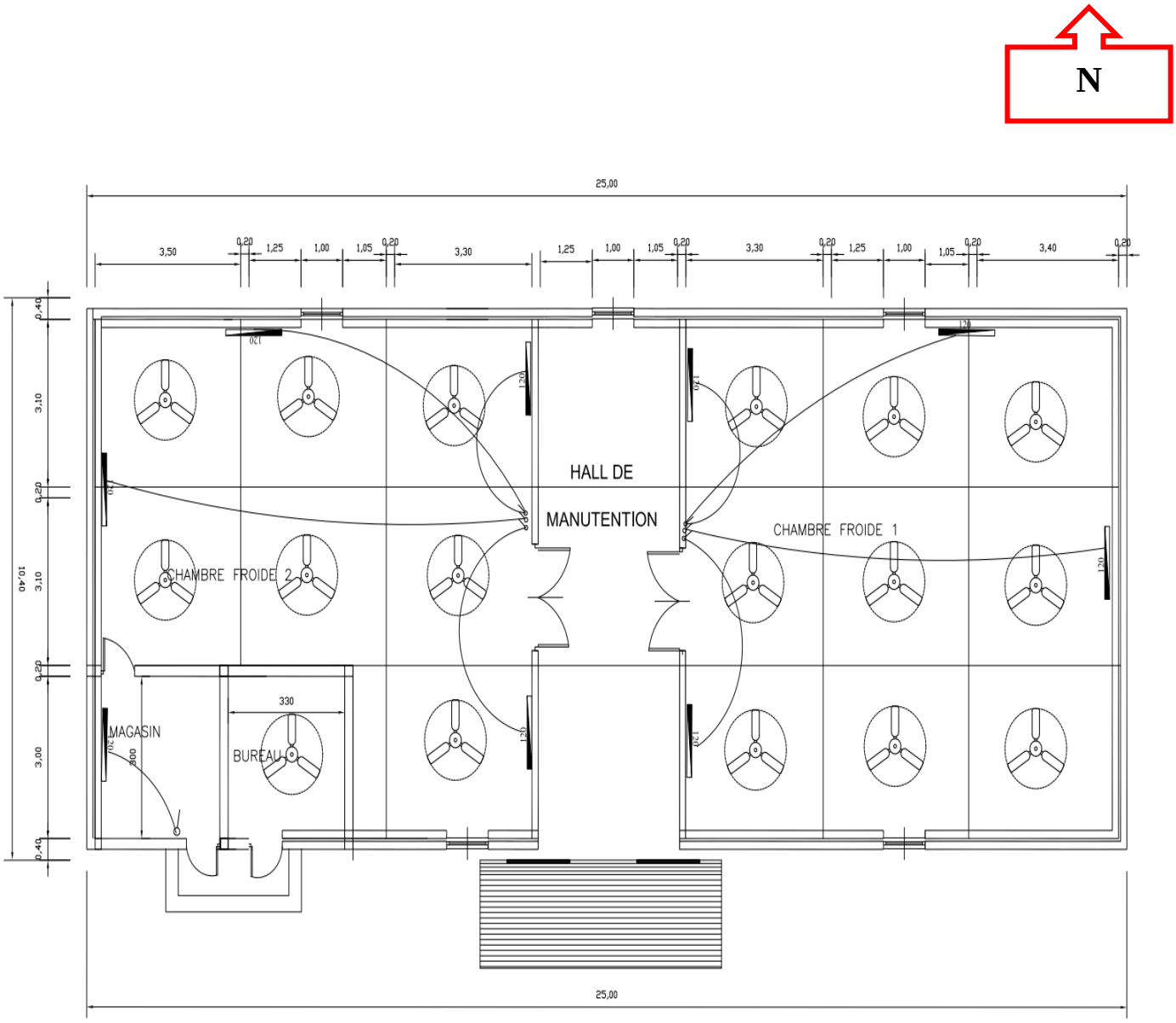
ANNEXE 12 : FICHE CARACTÉRISTIQUES GROUPE CONDENSATION A AIR PROFROID DE 9.32 ET 16.05 kW

APPLICATION MOYENNE TEMPERATURE *MEDIUM TEMPERATURE APPLICATION* ***NORMALKÜHLUNG***

GQH				ZB15	ZB19	ZB21	ZB26	ZB29	ZB38	ZB45
Fluide frigorigène *Refrigerant / Kältemittel*				R404A						
Taille de la carrosserie *Size of casing / Gehäusegröße*				T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
Puissance frigorifique nominale *Nominal cooling capacity / Kälteleistung nominal*		(1)	kW	3,51	4,22	4,93	5,78	6,59	7,73	9,32
Puissance absorbée nominale *Nominal input power / Leistungsaufnahme nominal*		(1)	kW	1,68	2,01	2,5	2,89	3,42	4,51	5,05
Compresseur *Compressor* Verdichter	Nombre *Number / Anzahl*			1	1	1	1	1	1	1
	Type *Type / Typ*			ZB15 KCE	ZB19 KCE	ZB21 KCE	ZB26 KCE	ZB29 KCE	ZB38 KCE	ZB45 KCE
Niveau sonore *Sound level* Schalldruckpegel	Vitesse mini *Min. speed / Min. Drehzahl*	(2)	dB(A)	30	30	31	31	31	31	33
	Vitesse maxi *Max. speed / Max. Drehzahl*	(2)	dB(A)	37	37	37	37	37	37	41
Moto-ventilateurs *Fan motor* Lüftermotoren	Nbre x diamètre *No. x diameter / Anz. x Durchm.*	(2)	mm	2xØ450	2xØ450	2xØ450	2xØ450	2xØ450	2xØ450	2xØ450
	Débit d'air *Air flow / Volumenstrom*	(2)	m³/h	3300	3300	3300	3300	3300	3300	5000
Intensités totales *Total current* Stromstärke ges.	I cond •	(3)	A	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6
	Id comp	(4)	A	26	32	40	46	50	65,5	74
	I comp	(5)	A	4,9	6,5	7,2	8,9	10	12,8	13,1
Volume réservoir *Receiver volume / Sammlervolumen*			dm³	4	4	4	7,1	7,1	7,1	7,1
DESP 2014/68/UE Cat. Risque *PED 2014/68/EU Risk Cat. / DGRL 2014/68/EU Risikokategorie*				I	I	I	I	I	I	I
Raccordements *Connections* Anschlüsse	Aspiration *Suction / Saugseite*		inch	7/8"	7/8"	7/8"	7/8"	7/8"	7/8"	7/8"
	Liquide *Liquid / Flüssigkeitsseite*		inch	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Figure *View / Abbildung*				1	1	1	1	1	1	1
Poids *Weight / Gewicht*			kg	141	145	145	146	146	156	160

GQH				ZB48	ZB57	ZB66	ZB76	ZB95	ZB114
Fluide frigorigène *Refrigerant / Kältemittel*				R404A					
Taille de la carrosserie *Size of casing / Gehäusegröße*				T2	T2	T2	T2	T4	T4
Puissance frigorifique nominale *Nominal cooling capacity / Kälteleistung nominal*		(1)	kW	11,7	12,8	14,13	16,05	20,33	22,95
Puissance absorbée nominale *Nominal input power / Leistungsaufnahme nominal*		(1)	kW	5,66	6,4	7,38	8,83	10,94	13,73
Compresseur *Compressor* Verdichter	Nombre *Number / Anzahl*			1	1	1	1	1	1
	Type *Type / Typ*			ZB48 KCE	ZB57 KCE	ZB66 K5E	ZB76 K5E	ZB95 K5E	ZB114 K5E
Niveau sonore *Sound level* Schalldruckpegel	Vitesse mini *Min. speed / Min. Drehzahl*	(2)	dB(A)	33	35	37	38	39	40
	Vitesse maxi *Max. speed / Max. Drehzahl*	(2)	dB(A)	41	42	42	42	44	45
Moto-ventilateurs *Fan motor* Lüftermotoren	Nbre x diamètre *No. x diameter / Anz. x Durchm.*	(2)	mm	2xØ450	2xØ450	2xØ450	2xØ450	2xØ500	2xØ500
	Débit d'air *Air flow / Volumenstrom*	(2)	m³/h	6000	6000	6000	6000	8000	8000
Intensités totales *Total current* Stromstärke ges.	I cond	(3)	A	1,6	1,6	1,6	1,6	2,4	2,4
	Id comp	(4)	A	101	102	111	118	140	174
	I comp	(5)	A	14	17,6	17,5	20,4	28,2	33,3
Volume réservoir				[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

ANNEXE 13 : PLAN AUTOCAD DU MAGASIN 100 TONNES



ANNEXE 14 : CALCUL BILAN FRIGORIFIQUE CHAMBRE FROIDE 2 ET CHOIX DES ÉVAPORATEURS

Annexe 14. 1 : Chambre froide 2

Les dimensions de la chambre froide sont :

- Longueur L = 10.5 m
- Largeur l = 6.4 m
- Hauteur h = 4.20 m

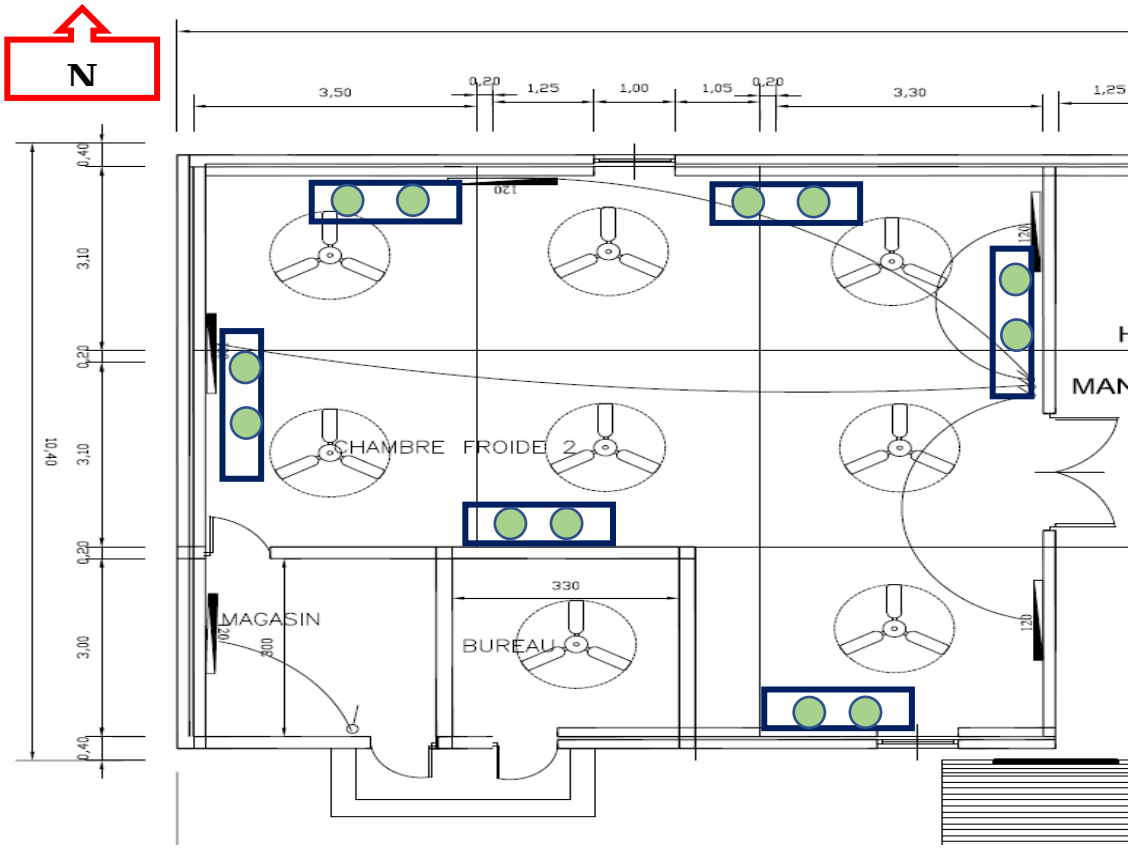


Figure 34 : Chambre froide 2

Nous allons d'abord calculer la capacité de pomme de terre à entreposer dans la chambre :

$$m_2 = m_t - m_1 \tag{60}$$

- m_t : masse totale de stockage du magasin en tonne ;
- m_1 : masse de la chambre froide 1 en tonne.

Ci-dessous les résultats présenter dans le

Tableau *22* :

Formules	Application numérique	Résultat	Unité
Formules	Application numérique	Résultat	Unité
$m_2 = m_t - m_1$	$m_2 = 100 - 55$	45	Tonne
$m_2 = m_t - m_1$	$m_2 = 100 - 55$	45	Tonne

Tableau 22 : Résultats calcul de la capaciter d'entreposage de la chambre froide 2

$m_2 = m_t - m_1$	$m_2 = 100 - 55$		

- **Capacité de déshumidification**

Le Tableau *23* donne les résultats de la quantité d'eau à déshumidifier dans la chambre froide 2 :

Tableau 23 : Capacité de déshumidification

Capacité de déshumidification	Applications numériques	Résultats	Unités
À 70 % d'humidité	$M_e = 0.622 \times \frac{0.70 \times 625}{101325}$	2.72	g/m^3
	$M_{e_{70}} = 2.72 \times 342.72$	932.19	g
À 90 % d'humidité	$M_e = 0.622 \times \frac{0.90 \times 625}{101325}$	3.49	g/m^3
	$M_{e_{90}} = 3.49 \times 342.72$	1 196.09	g
Quantité d'eau à déshumidifier	$Masse\ d'eau$ à $déshumidifier = 1\,196.09 - 932.19$	0.264	l
Chaleur latente de vaporisation	$Q_{latente} = (8 \times 2260)/3600$	5	W
Nombre de déshumidificateur	$n_d = \frac{0.264}{8}$	1	-

- **Apport par les parois de la chambre froide**

Les résultats des différentes charges thermiques externe à travers les parois de la chambre froide 2 sont représenter dans le *Tableau 24* :

Tableau 24 : Résultats calcul des charges thermiques par transmission à travers les parois

Parois	Orientation	Longueur (m)	Hauteur (m)	Surface (m^2)	φ(W/ m^2)	φ. S (W)
Mur 1	O	6.4	4.2	26.88	8	215.04
Mur 2	N	10.5	4.2	44.1	8	352.8
Mur 3	E	9.6	4.2	40.32	8	322.56
Mur 4	S	4.55	4.2	19.11	8	152.88
Sol				81.6	0	0
Plafond				81.6	8	652.8
ΣQtr						**1696.08**

Les résultats du bilan frigorifique de la chambre froide 1 sont présentés au *Tableau 25* :

Tableau 25 : Résultats bilan frigorifique chambre froide 2

N	Formules	Applications numériques	Résultats	Unités
1	$\boldsymbol{Q_{tr} = \Sigma q \times S}$	-	**1,69**	kW
2	$A = (h_{ae} - h_{aa}) \times \left(h \times \left(1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}\right)\right)^{\frac{1}{2}}$	$A = 71.51 \times (2.20 \times \left(1 - \frac{1.12}{1.26}\right))^{\frac{1}{2}}$	35,36	-
	$t_{ouv} = d_t \times \frac{f_j}{24}$	$t_{ouv} = 6 \times \frac{10}{24}$	2,5	min/h
	$\boldsymbol{Q_{op} = 8 + (0.067 \times \Delta T) \times t_{ouv} \times \rho_{aa} \times l \times h \times A \times C_{min}}$	$Q_{op} = 8 + (0.067 \times 25) \times 2.5 \times 1.26 \times 2 \times 2.20 \times 35.36 \times 1$	**0,83**	**kW**
3	$Q_{ren} = \frac{n \times V \times \rho_{aa} \times \Delta h}{86400}$	$Q_{re} = \frac{3.78 \times 342.72 \times 1.26 \times 71510}{86400}$	**0,32**	**kW**
4	$\boldsymbol{Q_{ec} = \frac{n \times P \times t}{24}}$	$Q_{ec} = \frac{4 \times 18 \times 1}{24}$	**0,001**	**kW**
5	$\boldsymbol{Q_{pe} = \frac{n \times q_p \times t}{24}}$	$Q_{pe} = \frac{3 \times 255 \times 2}{24}$	**0.06**	**kW**
6	$Q_{de} = \frac{m \times C1 \times (T1 - T2)}{86400}$	$Q_{de} = \frac{45000 \times 3560 \times 24}{86400}$	**44,50**	**kW**
7	$Q_{resp} = \frac{m_1 \times q_{resp}}{86400}$	$Q_{resp} = \frac{45000 \times 5440}{86400}$	**2,83**	**kW**
8	$Q_v = \frac{P'' \times S \times t_{vent}}{24}$	$Q_v = \frac{30 \times 81,6 \times 20}{24}$	**2,04**	**kW**
9	$Q_m = \frac{n \times P_{ce} \times t}{24}$	$Q_m = \frac{2 \times 10 \times 3}{24}$	**1,67**	**kW**
10	$Q_{ext} = \frac{n \times P_{ext} \times t}{24}$	$Q_{ext} = \frac{2 \times 370 \times 10}{24}$	**0.31**	**kW**
11	$Q_d = \frac{n \times (P_{elecdsh} + Q_{latente}) \times t}{24}$	$Q_d = \frac{1 \times (350 + 5) \times 24}{24}$	**0.36**	
12	$Q_{int} = Q_{tr} + Q_{ren} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_{de} + Q_{res} + Q_v + Q_m + Q_{ext} + Q_d$		**54,62**	**kW**
13	$Q_0 = 1.2 \times Q_{int}$	$Q_0 = 1.2 \times 54.62$	**65,54**	**kW**
14	$P_{f_2} = \frac{Q_0 \times t}{24}$	$P_{f_2} = \frac{65.54 \times 14}{24}$	**38**	**kW**
15	$N_n = \frac{P_{f_2}}{P_{ev_2}}$	$N_n = \frac{38}{7.26}$	**6**	**-**
16	$P'_{f_2} = N_2 \times P_{ev_2}$	$P'_{f_2} = 6 \times 7.26$	**44**	**kW**

Annexe 14. 2 : Contribution de la charge thermique a l'apport de chaleur dans la chambre froide

Mise en évidence, de la part de chaque charge thermique dans le transfert de chaleur vers la chambre froide 2. Les résultats sont présentés dans le graphique de la *Figure 35* ci-après :

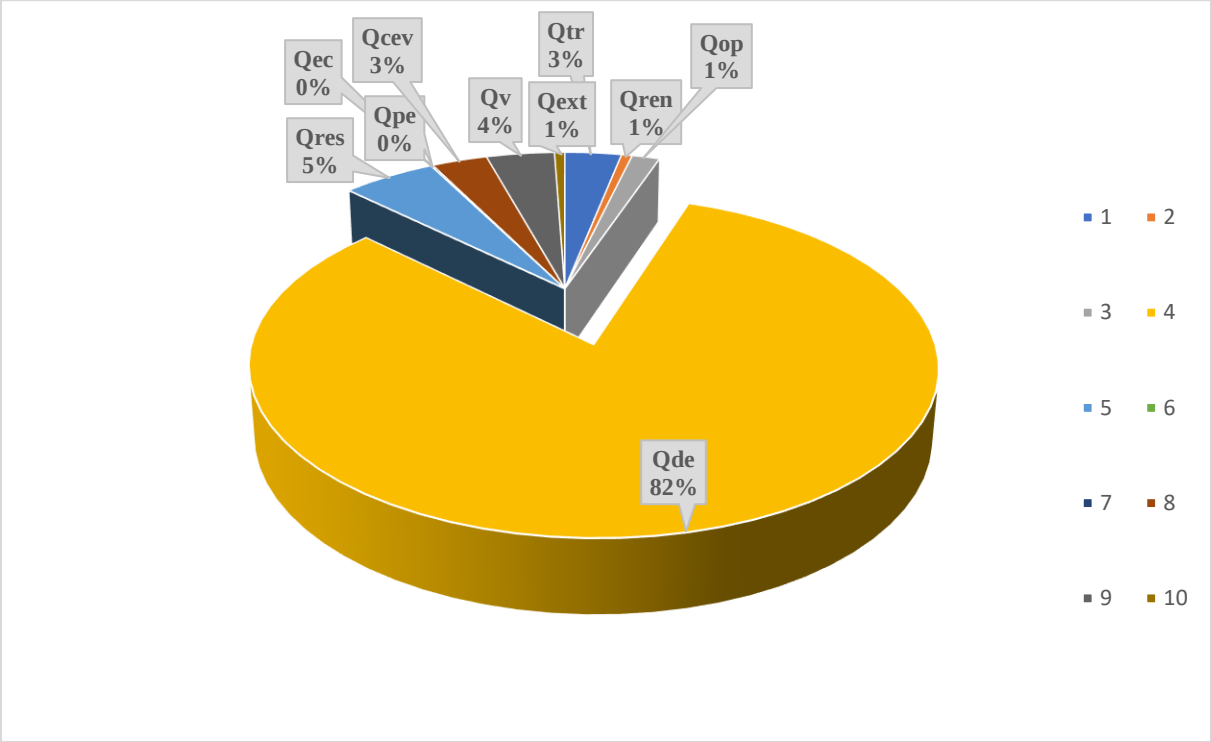


Figure 35 : Contribution charge thermique a l'apport de chaleur de la chambre froide 2

La charge thermique due aux denrées entrantes représente aussi plus de 80% des apports de chaleurs.

Annexe 14. 3 : Choix de l'évaporateur

Nous choisirons un évaporateur fractionné à air de groupe frigorifique pour les deux chambres froides. Il s'agira d'un modèle de la marque **PROFROID, ayant une capacité de 7,26 kW**. Les spécifications détaillées sont [38] :

Annexe 14. 4 : Fiche technique évaporateur PROFROID de 7.26 kW

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES I TECHNICAL DATA I TECHNISCHE DATEN

CO_2

APPLICATION MOYENNE TEMPERATURE
ECARTEMENT D'AILETTES : 4 mm

MEDIUM TEMPERATURE APPLICATION
FIN SPACING : 4 mm

NORMALKÜHLBEREICH
LAMELLENABSTAND 4 mm

MODELE MODEL MODELL		SOLO25XS 144	SOLO25XS 244	SOLO25XS 344	SOLO25XS 444	SOLO31XS 164	SOLO31XS 264	SOLO31XS 364	SOLO31XS 464
Ventilateur Fan Lüfter		1 x Ø250	2 x Ø250	3 x Ø250	4 x Ø250	1 x Ø315	2 x Ø315	3 x Ø315	4 x Ø315
Puissance frigorifique (1) Cooling capacity (1) Kühlleistung (1)	kW	0,78	1,69	2,59	3,43	1,82	3,63	5,45	7,26
Débit d'air Airflow Luftvolumenstrom	m³/h	600	1200	1800	2400	945	1890	2835	3780
Projection d'air standard (2) Standard air throw (2) Standard Wurfweite (2)	m	3	4	4	5	5	5	7	8
Connexion liquide Liquid connection Anschluss Flüssigkeit	mm	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"
Connexion aspiration Suction connection Anschluss Saugleitung	mm	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	5/8"	5/8"
Surface Surface Fläche	m²	5,3	10,6	15,9	21,2	10	20	30	40
Poids net à vide Empty net weight Netto-Leergewicht	kg	13	21	28	35	19	30	46	62

DONNES COMMUNES COMMON DATA ALLGEMEINE ANGABEN										
Niveau pression sonore Sound pressure level Schalldruckpegel		dB(A) @ 3m	48	51	53	54	52	55	56	57
Volume du circuit Circuit volume Volumen des Kreislaufs		dm³	0,6	1,2	2,1	2,8	1,1	2,2	3,3	4,4
Option dégivrage batterie + bac Optional coil & drain pan defrost Option Abtauung von Verdampfer & Tropfwanne	Puissance Power Leistung	W	450	900	1330	1750	1500	2700	4200	5400
	Intensité* Current* Stromversorgung*	A	1,96	3,91	5,78	7,61	2,17	3,9	6,06	7,79

	SOLO	Ventilateur Fan Lüfter	Vitesse Speed Drehzahl	Tension Power Leistungsaufnahme Fan	Puissance absorbée Input power Leistungsaufnahme (W)	Intensité Current Stromstärke (A)	Puissance acoustique Acoustic power Schallleistung dB(A)
AC	SOLO 25 XS	250 mm	4P	230V-1-50Hz	90	0.68	69
	SOLO 31 XS	315 mm	4P	230V-1-50Hz	106	0.49	73
EC	SOLO 25 XS	250 mm	EC	230V-1-50Hz	30	0,53	69
	SOLO 31 XS	300 mm	EC	230V-1-50Hz	85	0,8	73

ANNEXE 15 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DESHUMIDIFICATEUR 8L/JOUR

CARACTÉRISTIQUES TECNIQUES

Spécifications	DryFan® 8 / 8 PRO	DryFan® 12 / 12 PRO
Déshumidification @ 35°C 90% HR	8 l/jour	12 l/jour
Déshumidification @ 27°C 60% HR	6 l/jour	10 l/jour
Capacité d'aspiration d'air humide	90 m^3/h	124 m^3/h
Capacité d'évacuation de la condensation	14 m^3/h	20 m^3/h
Tension de réseau	230V ~ 1 phase • 50 Hz	230V ~ 1 phase • 50 Hz
Intensité de courant @ 27°C 60% HR	1,5 A	2,2 A
Consommation d'énergie @ 27°C 60% HR	0,35 kW	0,50 kW
Fusible (uniquement pour GB)	13 A	13 A
Plage de température	-20°C — + 40°C	-20°C — + 40°C
Niveau sonore	40 dB	44 dB
Classe IP	IP22	IP22
Dimensions l x p x h mm	200 x 200 x 200	200 x 300 x 200
Poids net / brut	4,8 kg / 5,4 kg	6,4 kg / 7,1 kg

Rem.: HR - humidité relative

Sous réserve de modifications.