

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Spécialité : Énergétique

Titre :
Etude technico-économique des isolants dans les cuves de stockage

Promoteur :
Dr. Hadji Ahmed

Réalisé par :
LACEB Anis
AMALOU Kamel

Année universitaire : 2022/2023

الملخص

تركز هذه الدراسة على التقييم التقني والاقتصادي لبعض المواد العازلة المستخدمة في صهاريج التخزين الحراري. الهدف الرئيسي من الدراسة هو مقارنة المواد العازلة المختلفة المتاحة في السوق الجزائرية، مع مراعاة الأداء التقني والجدوى الاقتصادية. تهدف الدراسة إلى توفير معلومات حول المواد العازلة الأكثر كفاءة واقتصادية، بهدف مساعدة صانعي القرار في اختيار واستخدام المواد العازلة في صهاريج التخزين الحراري.

Résumé

Cette étude se concentre sur l'évaluation technique et économique des quelques isolants utilisés dans les cuves de stockage thermique. Son objectif principal est de comparer différents isolants disponibles sur le marché algérien, en tenant compte de leurs performances techniques et de leur viabilité économique. L'étude vise à fournir des informations sur les isolants les plus efficaces et rentables, afin d'aider les décideurs à faire des choix dans la sélection et l'utilisation d'isolants pour les cuves de stockage thermique.

Abstract

This study focuses on the technical and economic evaluation of various insulation materials used in thermal storage tanks. Its main objective is to compare different insulation options available in the Algerian market, taking into account their technical performance and economic viability. The study aims to provide information on the most efficient and cost-effective insulation materials, in order to assist decision-makers in selecting and using insulation for thermal storage tanks.

REMERCEMENTS

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers nos familles, nos amis et toutes les personnes qui ont joué un rôle essentiel dans notre parcours académique et qui nous ont soutenus tout au long de nos études. Votre soutien inconditionnel, vos encouragements et vos conseils précieux ont été d'une importance capitale pour notre réussite.

Nous tenons également à adresser nos remerciements les plus sincères à notre encadrant, le **Dr. Ahmed Hadji**, pour sa dévotion et son engagement constants tout au long de ce projet. Ses conseils éclairés, son expertise et son soutien infaillible ont été des facteurs déterminants dans l'accomplissement de notre travail avec excellence. Sa disponibilité et son implication ont été d'une aide inestimable.

Nous souhaitons également rendre hommage à notre ex-chef de département, le **Dr. M. Brahimi**, allah yehmou.

Après, nous tenons à exprimer notre sincère gratitude envers notre actuel chef de département, le **Dr. Ketfi**. Son soutien constant, son encadrement attentif et son engagement envers notre réussite académique ont été d'une valeur inestimable. Sa confiance en notre projet nous a inspirés à donner le meilleur de nous-mêmes. Enfin, nous remercions sincèrement **Cheblaoui Ali** pour son aide précieux.

Nous tenons à remercier du fond du cœur toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à notre parcours académique. Votre soutien indéfectible a été le moteur de notre réussite. Chacun de vos encouragements et de vos gestes de soutien resteront gravés dans nos cœurs.

Sincèrement,

Nous vous remercions tous de tout cœur.

Dédicace

Merci Dieu de m'avoir accordé la capacité d'écrire et de réfléchir, ainsi que la patience nécessaire pour réaliser ce travail. J'ai l'honneur de dédier humblement ce mémoire :

*À ma mère, Farida AIT OUAZZOU, celle qui m'a donné la vie et qui incarne la tendresse.
Elle s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.*

À mon père, Dr. Mourad LACEB, qui a été mon pilier tout au long de mes études, veillant sur moi et m'encourageant à avancer, me prodiguant son soutien et sa protection.

À mon frère, Karim, je te souhaite paix et réussite dans ta vie.

À mes deux sœurs et à leurs époux, Adel et Anis, je vous souhaite un avenir rempli de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Une pensée spéciale pour la petite nouvelle de la famille, Sofia.

À mes chers amis : Fethi, Imed, Nidal, Brahim, Zakaria, Abderezzak, Oussama, Amir, Saber, Rayane, ainsi qu'à mes collègues Chakib, Walid et Nouar, et à mon binôme Kamel.

Enfin, un grand merci à mon encadrant, le Dr. Ahmed Hadji, pour son accompagnement tout au long de ce projet et le Dr. Omar KETFI pour son aide dans nos moments les plus difficiles

Dédicace

Merci dieu de m'avoir accordé la capacité d'écrire et de réfléchir, ainsi que la patience nécessaire pour réaliser ce travail. J'ai l'honneur de dédier humblement ce mémoire :

À ma mère, Allal Linda, celle qui m'a donné la vie et qui incarne la tendresse. Elle s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite.

À mon père, Maamar, qui a été mon pilier tout au long de mes études, veillant sur moi et m'encourageant à avancer, me prodiguant son soutien et sa protection.

À mes frères , Salim et Hamza, je vous souhaite la paix et la réussite dans votre vie.

À mes chers amis : Merouane, Anisse, Rafik, les deux frères Bencherchali, Sidahmed chaoui, Billel laichi, mon cousin Mohamed ainsi qu'à mes collègues Chakib et Nouar Kamel et à mon binôme Anis Laleb

Enfin, un grand merci à mon encadrant, le Dr. Ahmed Hadji, pour son accompagnement tout au long de ce projet et le Dr. Omar KETFI pour son aide dans nos moments les plus difficiles

Table des matières

RESUME	
REMERCEMENTS	
DEDICACE	
LISTES DES TABLEAUX	
NOMENCLATURE	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE ET CUVES DE STOCKAGE AVEC ISOLANTS.....	3
1.1 INTRODUCTION	4
1.2 DEFINITION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE	6
1.3 UTILISATION DE L'ÉNERGIE THERMIQUE EN MODE DIRECT OU INDIRECT	7
1.3.1 UTILISATION DE L'ÉNERGIE THERMIQUE EN MODE DIRECT	7
1.3.2 UTILISATION DE L'ÉNERGIE THERMIQUE EN MODE INDIRECT	8
1.4 LES DIFFERENTS TYPES DE CAPTEURS THERMIQUES	9
1.4.1 LES CAPTEURS SOLAIRES PLANS	9
1.4.2 LES CAPTEURS SOLAIRES A TUBES SOUS VIDE	10
1.4.3 LES CAPTEURS SOLAIRES A CONCENTRATION	11
1.5 LES CUVES DE STOCKAGE	12
1.5.1 DEFINITION DES CUVES DE STOCKAGE THERMIQUE	12
1.5.2 LA VARIÉTÉ DES CUVES DE STOCKAGE THERMIQUE	13
1.5.2.1 CUVES A STRATIFICATION THERMIQUE	13
1.5.2.2 CES CUVES UTILISENT DES MATERIAUX A CHANGEMENT DE PHASE	14
1.5.2.3 CUVES A ACCUMULATION D'EAU	14
1.5.2.4 CUVES A MATERIAU A HAUTE CAPACITE THERMIQUE :	15
1.5.3 L'ISOLATION ET LES CUVES DE STOCKAGE THERMIQUE	16
1.5.4 L'IMPORTANCE DES CUVES DE STOCKAGE THERMIQUE	17
1.5.4.1 OPTIMISATION DE L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE SOLAIRE:	17
1.5.4.2 FOURNITURE DE CHALEUR PENDANT LES PERIODES D'INACTIVITE SOLAIRE	17
1.5.4.3 REDUCTION DES COUTS ENERGETIQUES	17
1.5.4.4 REDUCTION DES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	17

1.6 LES ISOLANTS UTILISES SUR LE SYSTEME DE STOCKAGE THERMIQUE ET LEURS CARACTERISTIQUES TECHNICO-ECONOMIQUES	18
1.6.1 LA LAINE DE VERRE	18
1.6.1.1 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA LAINE DE VERRE	18
1.6.1.2 LES CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DE LA LAINE DE VERRE	19
1.6.2 LA MOUSSE DE POLYURETHANE.....	20
1.6.2.1 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES LA MOUSSE DE POLYURETHANE	20
1.6.2.2 LES CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DE LA MOUSSE DE POLYURETHANE	21
1.6.3 LA LAINE DE ROCHE	22
1.6.3.1 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE LA LAINE DE ROCHE	22
1.6.3.2 LES CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DE LA LAINE DE ROCHE	23
1.6.4 LE LIEGE	25
1.6.4.1 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU LIEGE	25
1.6.4.2 LES CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DU LIEGE	26
1.6.5 LE POLYESTER	27
1.6.5.1 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU POLYESTER	27
1.6.5.2 LES CARACTERISTIQUES ECONOMIQUES DU POLYESTER	28
1.7 CONCLUSION	30
CHAPITRE 2 : SIMULATION NUMERIQUE	31
2.1 INTRODUCTION	32
2.2 FORMULES UTILISEES DANS LA SIMULATION NUMERIQUE	33
2.2.1 RESISTANCE THERMIQUE	33
2.2.2 LE COEFFICIENT DE PERTE GLOBALE	34
2.2.3 SURFACE DE LA PAROI	34
2.2.4 LA QUANTITE DE CHALEUR PERDUE	35
2.2.5 TEMPS D'EQUILIBRE THERMIQUE	36
2.3 II.3 SCHEMA DE LA CUVE DE STOCKAGE THERMIQUE.....	37
2.4 HYPOTHESES SIMPLIFICATRICE	39
2.5 SIMULATION MATLAB	40
2.5.1 DEFINITION MATLAB	40
2.5.2 ORGANIGRAMME DE LA SIMULATION MATLAB :.....	41
2.6 CONCLUSION	42

CHAPITRE 3 : RESULTAT ET DISCUSSION	43
3.1 INTRODUCTION	44
3.2 RESULTAT POLYESTER	45
3.3 RESULTAT POLYURETHANE	49
3.4 RESULTAT DE LA LAINE DE VERRE	52
3.5 RESULTAT LAINE DE ROCHE	56
3.6 RESULTAT POUR LE LIEGE	60
3.7 COMPARAISON DES RESULTATS	64
<i>3.8 Analyse comparative des coûts des isolants</i>	<i>66</i>
3.9 CONCLUSION	68
CONCLUSION GENERALE	69
BIBLIOGRAPHIE	70

Listes des tableaux

TABLEAU 3. 1 PRIX UNITAIRE EN M ³ DE CHAQUE ISOLANT	66
TABLEAU 3. 2 COMPARAISON DES COUTS DES ISOLANTS	66

Listes des figures

Chapitre 1 : Énergie solaire thermique et cuves de stockage avec isolants.

FIGURE 1 1 SCHEMA D'UNE INSTALLATION D'UN CHAUFFE-EAU SOLAIRE	7
FIGURE 1 2 CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL OPTIMISE	8
FIGURE 1 3 SCHEMA D'UNE CENTRALE SOLAIRE.....	9
FIGURE 1 4 SCHEMA CAPTEUR SOLAIRES PLANS.....	10
FIGURE 1 5 LES CAPTEURS SOLAIRES A TUBES SOUS VIDE	11
FIGURE 1 6 LES CAPTEURS SOLAIRES A CONCENTRATION.....	12
FIGURE 1 7 SCHEMA D'UNE CUVE DE STOCKAGE THERMIQUE	13
FIGURE 1 8 SCHEMA D'UNE CUVE A STRATIFICATION THERMIQUE	13
FIGURE 1 9 SCHEMA D'UNE CUVE A ACCUMULATION D'EAU	15
FIGURE 1 10 SCHEMA D'UNE CUVES A MATERIAU A HAUTE CAPACITE THERMIQUE	16
FIGURE 1 11 LA LAINE DE VERRE.....	18
FIGURE 1 12 LA MOUSSE DE POLYURETHANE.....	20
FIGURE 1 13 LA LAINE DE ROCHE	22
FIGURE 1 14 LE LIEGE	25
FIGURE 1 15 LE POLYESTER.....	27

Chapitre 2 : Modélisation et simulation

FIGURE 2 1 SCHEMA SIMPLIFIE DE LA CUVE DE STOCKAGE THERMIQUE.....	37
FIGURE 2 2 ORGANIGRAMME DE LA SIMULATION MATLAB	41

Chapitre 3 : Résultat et discussion

FIGURE 3 1 EPAISSEUR EN FONCTION DU TEMPS DU POLYESTER	45
FIGURE 3 2 COEFFICIENT DE PERTE GLOBALE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU POLYESTER	46
FIGURE 3 3 LA RESISTANCE THERMIQUE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU POLYESTER.....	47
FIGURE 3 4 EPAISSEUR EN FONCTION DU TEMPS DU POLYURETHANE	49
FIGURE 3 5 COEFFICIENT DE PERTE GLOBALE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU POLYURETHANE	50
FIGURE 3 6 LA RESISTANCE THERMIQUE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU POLYURETHANE	51
FIGURE 3 7 EPAISSEUR EN FONCTION DU TEMPS DE LA LAINE DE VERRE.....	52
FIGURE 3 8 COEFFICIENT DE PERTE GLOBALE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DE LA LAINE DE VERRE	54
FIGURE 3 9 LA RESISTANCE THERMIQUE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DE LA LAINE DE VERRE	55
FIGURE 3 10 EPAISSEUR EN FONCTION DU TEMPS DE LA LAINE DE ROCHE	56
FIGURE 3 11 COEFFICIENT DE PERTE GLOBALE DE CHALEUR EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DE LA LAINE DE ROCHE.....	57
FIGURE 3 12 LA RESISTANCE THERMIQUE EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DE L'ISOLANT DE LA LAINE DE ROCHE	59
FIGURE 3 13 VARIATION DU TEMPS EN FONCTION DE L'EPAISSEUR DU LIEGE .	60

FIGURE 3 14 LE COEFFICIENT DE PERTES GLOBALES EN FONCTION DE L'EPaisseur DU LIEGE	61
FIGURE 3 15 LA RESISTANCE THERMIQUE EN FONCTION DE L'EPaisseur DU LIEGE	62
FIGURE 3 16 COMPARAISON DES RESULTATS DES GRAPHES DU TEMPS EN FONCTION DE L'EPaisseur DE TOUS LES ISOLANTS ETUDIE	64
FIGURE 3 17 COMPARAISON DES RESULTATS DE COEFFICIENT DE PERTE GLOBALE L'EPaisseur DE TOUS LES ISOLANTS ETUDIES	64
FIGURE 3 18 COMPARAISON DE LA RESISTANCE THERMIQUE EN FONCTION DES EPaisseurs DES ISOLANTS ETUDIES.....	65

Nomenclature

Nomenclature :

R	Le rayon de la cuve, m
R_1	Le rayon extérieur de la cuve, m
R_2	Le rayon de la cuve avec l'isolant, m
l	La longueur de la cuve, m
λ_{iso}	La conductivité thermique de l'isolant. $W/m.K$
λ_{gal}	La conductivité thermique de l'acier galvanisée, $W/m.K$
h	Le coefficient de convection $W/m^2.K$
Up	Le Coefficient de perte globale, $W/m^2.K$
A	Moyenne logarithmique de la surface, m^2
A_1	La surface à l'intérieur de la cuve, m^2
A_2	La Surface de la cuve + isolant, m^2
A : Moyenne logarithmique de la surface.	
ΔT	Différence de température, $^{\circ}K$
m	La masse de la cuve, Kg
Cp	La capacité thermique du fluide, $Kj/Kg.K$
Qp	La quantité de chaleur, W

Dt La durée totale, *Jours*

Lettres grecques :

λ Conductivité thermique

π Constante mathématique transcendante

Introduction générale :

L'utilisation efficace des cuves de stockage d'eau revêt une importance capitale dans de nombreux domaines, tels que l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole, l'industrie alimentaire et bien d'autres. Dans le but d'optimiser la préservation de la qualité de l'eau et de réduire les pertes d'énergie thermique, l'application d'isolants appropriés sur ces cuves peut jouer un rôle essentiel.

Le présent mémoire vise à réaliser une étude techno-économique approfondie sur différents types d'isolants appliqués aux cuves de stockage d'eau. Cette étude se concentrera sur l'évaluation des performances techniques et l'analyse des aspects économiques associés à l'utilisation de différents isolants.

L'analyse technique portera sur les propriétés thermiques des isolants, notamment leur conductivité thermique, leur résistance à la chaleur et leur épaisseur optimale. Différents types d'isolants, tels que les mousses de polyuréthane, les panneaux en polystyrène, les isolants en laine minérale, seront étudiés et comparés afin de déterminer leur efficacité dans la réduction des pertes d'énergie thermique.

Parallèlement, l'analyse économique évaluera les coûts d'installation des différents isolants, les économies d'énergie potentielles et les avantages financiers résultant de leur utilisation. Des considérations telles que le coût initial, la durabilité, l'entretien et les économies de chauffage seront prises en compte pour évaluer la viabilité économique de chaque isolant.

Les résultats de cette étude permettront de fournir des informations précieuses aux décideurs dans les domaines de l'approvisionnement en eau, de l'industrie et de l'agriculture, en les aidant à choisir l'isolant le plus approprié pour leurs cuves de stockage d'eau. Ces résultats pourront également servir de référence pour l'amélioration des performances énergétiques, la réduction des coûts d'exploitation et la préservation de la qualité de l'eau dans ces installations.

Pour réaliser cette étude, une revue approfondie de la littérature sera effectuée pour analyser les différentes options d'isolants disponibles sur le marché, en mettant l'accent sur leurs performances techniques et leurs applications spécifiques aux cuves de stockage d'eau.

Des tests et des mesures seront ensuite réalisés pour évaluer les performances de chaque isolant dans des conditions de cuve de stockage.

En conclusion, cette étude techno-économique fournira des informations essentielles sur les performances techniques et les aspects économiques des isolants appliqués aux cuves de stockage d'eau. Ces connaissances permettront d'orienter les décisions des professionnels en matière de choix d'isolants, en favorisant l'efficacité énergétique, la réduction des pertes thermiques et la préservation de la qualité de l'eau dans les cuves de stockage d'eau.

Chapitre 1 : Énergie solaire thermique et cuves de stockage avec isolants.

1.1 Introduction :

L'énergie solaire thermique est une technologie cruciale dans la lutte contre le changement climatique, car elle permet de convertir la chaleur du soleil en énergie utile pour répondre aux besoins énergétiques des bâtiments résidentiels et industriels. En plus de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre, cette énergie propre et renouvelable ouvre la voie vers une économie énergétique durable et respectueuse de l'environnement.

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail les aspects de l'énergie solaire thermique, y compris les différents types de systèmes solaires thermiques, leurs composants et leur fonctionnement. Nous avons également évalué les avantages et les inconvénients de cette technologie, ainsi que son potentiel pour répondre aux besoins énergétiques futurs de notre société.

En poursuivant notre exploration, nous nous sommes concentrés sur l'étude des cuves de stockage thermique, qui jouent un rôle essentiel dans divers domaines tels que l'industrie, l'énergie et l'agriculture. Ces cuves sont conçues pour stocker et conserver l'énergie thermique, qu'il s'agisse de chaleur ou de froid, en vue d'une utilisation ultérieure. L'isolant utilisé dans ces cuves revêt une importance capitale, car il garantit l'efficacité et la performance du système de stockage.

Au cours de cette partie, nous avons présenté les différents types de cuves de stockage thermique disponibles sur le marché, chacun ayant ses propres caractéristiques et avantages en fonction des besoins spécifiques du système de stockage. Nous nous sommes ensuite penchés sur les isolants utilisés dans ces cuves, tels que la laine minérale, la mousse polyuréthane, le polystyrène, le liège, etc. Nous avons analysé en détail les caractéristiques techniques de chaque isolant pour assurer une isolation optimale de la cuve de stockage thermique.

En outre, nous avons abordé les aspects économiques des isolants, en évaluant leur coût d'acquisition, leur durée de vie, leur facilité d'installation et leurs coûts de maintenance. Cette analyse approfondie nous permet de comprendre l'impact financier à long terme de l'utilisation de différents isolants, tout en considérant les économies d'énergie réalisées grâce à une meilleure isolation.

En conclusion, ce chapitre a permis de mettre en lumière l'importance de l'énergie solaire thermique et des cuves de stockage dans la transition vers une économie énergétique plus durable. La compréhension des caractéristiques techniques et économiques des cuves et des isolants nous permettra de prendre des décisions éclairées dans la conception et la mise en œuvre de systèmes de stockage thermique efficaces et rentables pour un avenir énergétique plus vert et responsable.

1.2 Définition de l'énergie solaire thermique :

L'énergie solaire thermique est une forme d'énergie renouvelable qui exploite la chaleur du soleil pour produire de l'énergie thermique utilisable. Elle joue un rôle essentiel dans le domaine du chauffage et de la production d'eau chaude. Selon [1] l'énergie solaire thermique repose sur l'utilisation de technologies spécifiques qui permettent de convertir directement la lumière du soleil en chaleur.

Les capteurs solaires, tels que les capteurs à air, les capteurs à eau ou les capteurs à concentrateurs, sont des composants clés de ces systèmes. Ils sont conçus pour absorber la chaleur du rayonnement solaire et la transférer à un fluide caloporteur, tel que de l'eau ou un liquide caloporteur spécialisé, qui circule à travers les capteurs. L'énergie thermique est ensuite transférée à un système de stockage, généralement des réservoirs ou des ballons de stockage, où elle est conservée pour une utilisation ultérieure.

Un système de régulation est mis en place pour optimiser l'utilisation de l'énergie solaire. Il permet de contrôler la distribution de la chaleur entre les capteurs solaires, le système de stockage et les utilisateurs finaux. Cela garantit que l'énergie solaire est utilisée en priorité lorsque son rayonnement est disponible, contribuant ainsi à une utilisation plus efficace de cette source d'énergie propre et renouvelable.

Dans les cas où l'ensoleillement est insuffisant ou lorsque la demande en chaleur dépasse la capacité du système solaire thermique, un système d'appoint peut être utilisé pour fournir la chaleur supplémentaire nécessaire. Il peut s'agir d'un système de chauffage conventionnel utilisant des combustibles fossiles, comme le gaz naturel, ou d'autres sources d'énergie renouvelable, comme la biomasse.

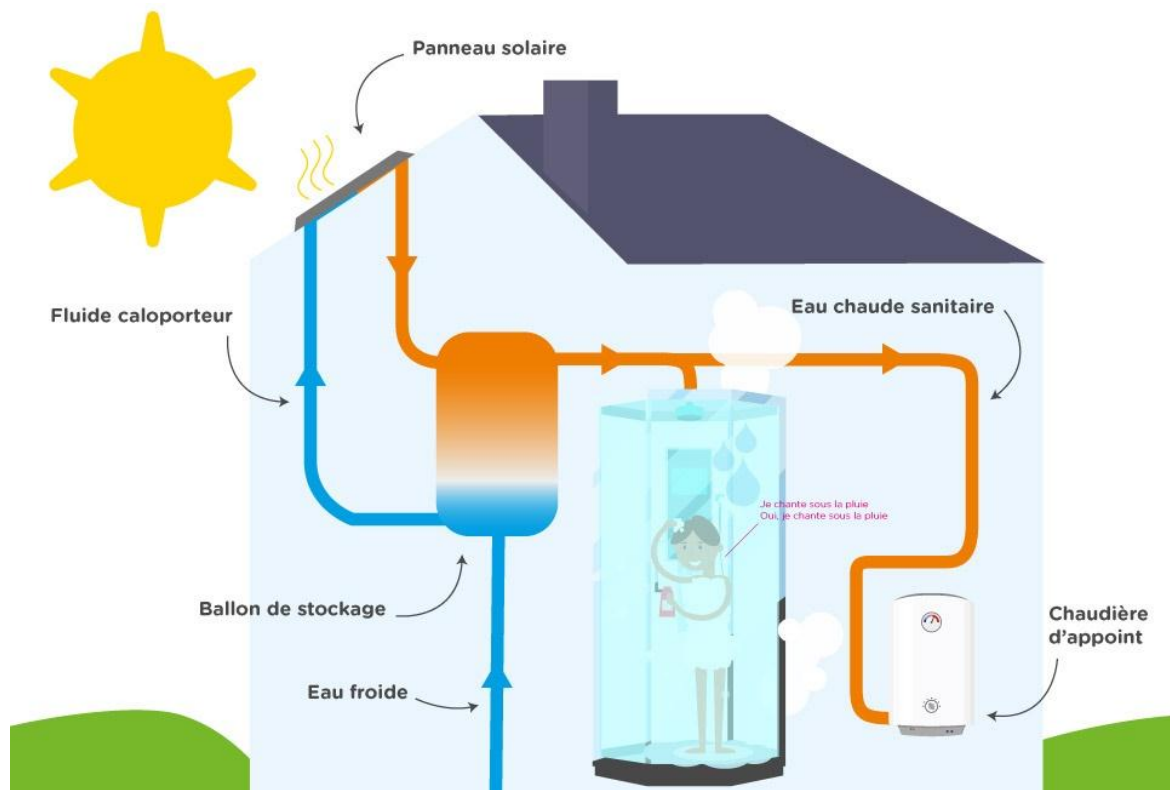


Figure 1 1 Schéma d'une installation d'un chauffe-eau solaire

1.3 Utilisation de l'énergie thermique en mode direct ou indirect :

1.3.1 Utilisation de l'énergie thermique en mode direct :

L'utilisation de l'énergie thermique en mode direct se réfère à l'exploitation de la chaleur solaire collectée directement pour satisfaire les besoins de chauffage ou de production d'eau chaude. Cette approche implique l'utilisation de capteurs solaires spécifiques, tels que les capteurs plans ou les capteurs à tubes sous vide, qui sont conçus pour absorber le rayonnement solaire et transférer efficacement la chaleur à l'endroit où elle est requise. L'énergie thermique est ainsi utilisée directement, sans passer par des intermédiaires, offrant une simplicité de conception et une efficacité élevée. [2]

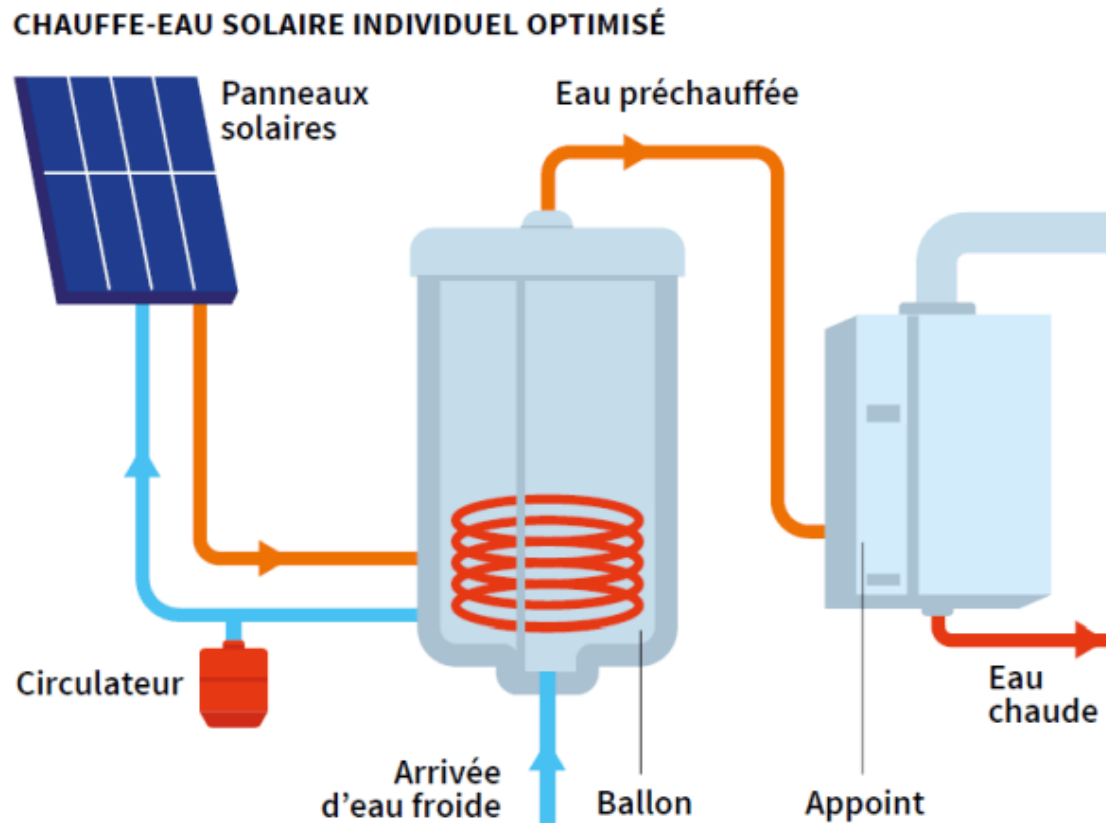


Figure 1 2 Chauffe-eau solaire individuel optimisé

1.3.2 Utilisation de l'énergie thermique en mode indirect :

L'utilisation de l'énergie thermique en mode indirect implique le transfert de la chaleur solaire vers un fluide caloporteur, tel qu'un liquide antigel, qui est ensuite utilisé pour alimenter un système de chauffage ou de production d'eau chaude. Dans cette approche, les capteurs solaires sont responsables de la conversion de la lumière solaire en chaleur, qui est ensuite transférée à travers un échangeur de chaleur pour chauffer le fluide caloporteur. Ce dernier est alors utilisé comme source de chaleur dans un système de chauffage central, un système d'eau chaude sanitaire ou d'autres applications thermiques. [3]

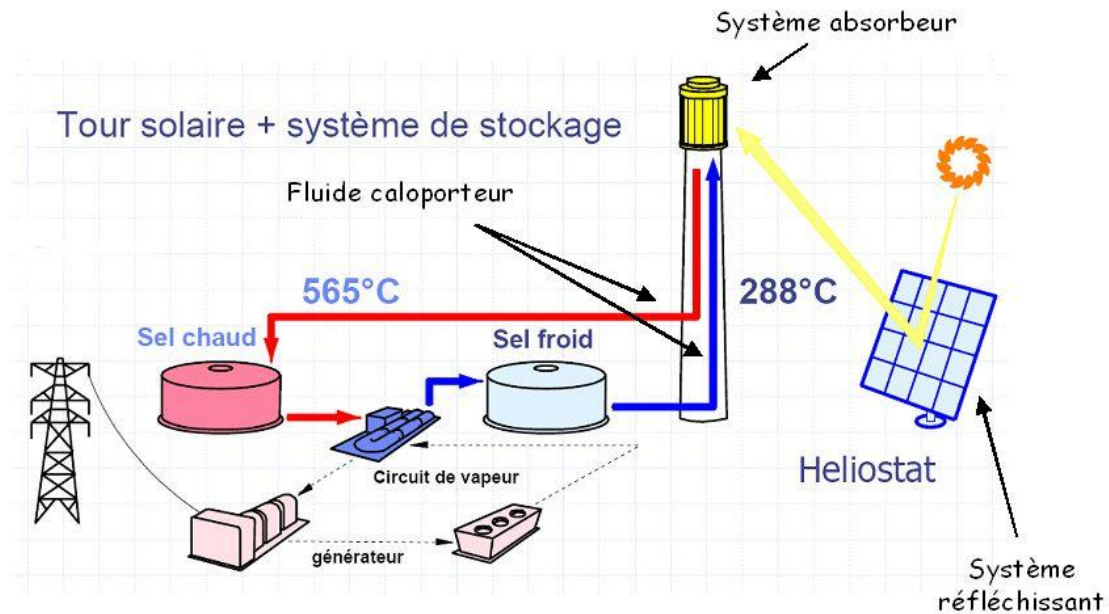


Figure 1 3 Schéma d'une centrale solaire

1.4 Les différents types de capteurs thermiques :

Il y a trois types principaux de capteurs thermiques qui sont :

1.4.1 Les capteurs solaires plans :

Les capteurs solaires plans sont l'un des types les plus couramment utilisés dans les systèmes solaires thermiques. Ils se composent d'une surface plane vitrée qui absorbe la chaleur du rayonnement solaire et la transfère à un fluide caloporteur circulant à travers des conduits intégrés. Les capteurs solaires plans offrent une efficacité élevée et sont adaptés aux applications de chauffage domestique et de production d'eau chaude. [4]

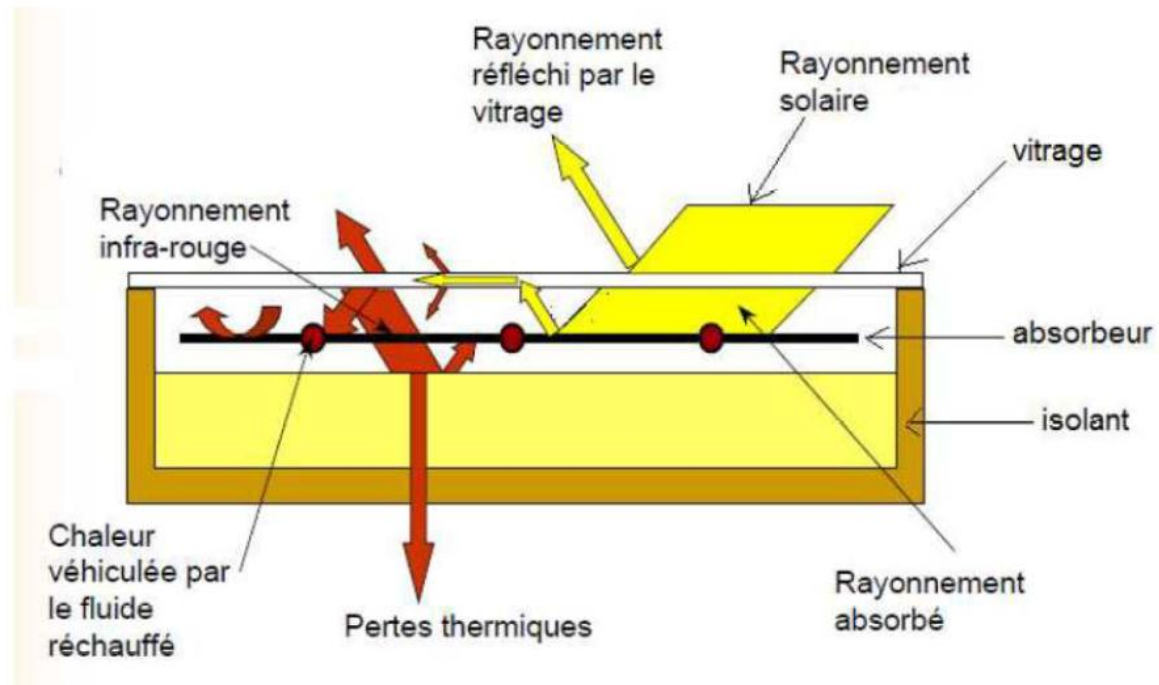


Figure 1 4 Schéma Capteur solaires plans

1.4.2 Les capteurs solaires à tubes sous vide :

Les capteurs solaires à tubes sous vide sont constitués de tubes en verre sous vide contenant un absorbeur sélectif qui convertit la lumière solaire en chaleur. Chaque tube agit comme un capteur indépendant, ce qui permet une meilleure performance en termes d'absorption et de transfert de chaleur. Ces capteurs sont souvent utilisés dans les systèmes solaires thermiques à haute température, tels que les applications industrielles ou les systèmes de chauffage à grande échelle. [5]

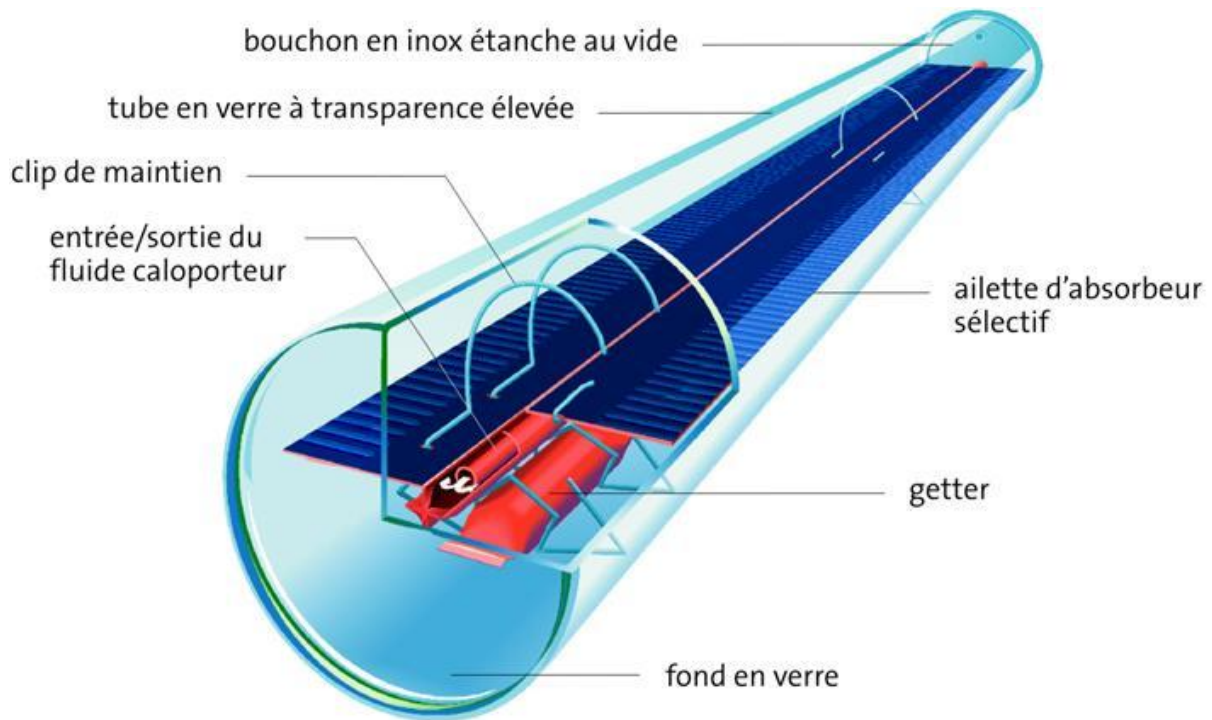


Figure 1 5 Les capteurs solaires à tubes sous vide

1.4.3 Les capteurs solaires à concentration :

Les capteurs solaires à concentration utilisent des miroirs ou des lentilles pour concentrer la lumière solaire sur un petit absorbeur, augmentant ainsi l'intensité de la chaleur générée. Ces capteurs sont adaptés aux applications à haute température et peuvent être utilisés dans les centrales solaires thermiques à concentration, les systèmes de chauffage solaire à grande échelle et les applications industrielles. [6]

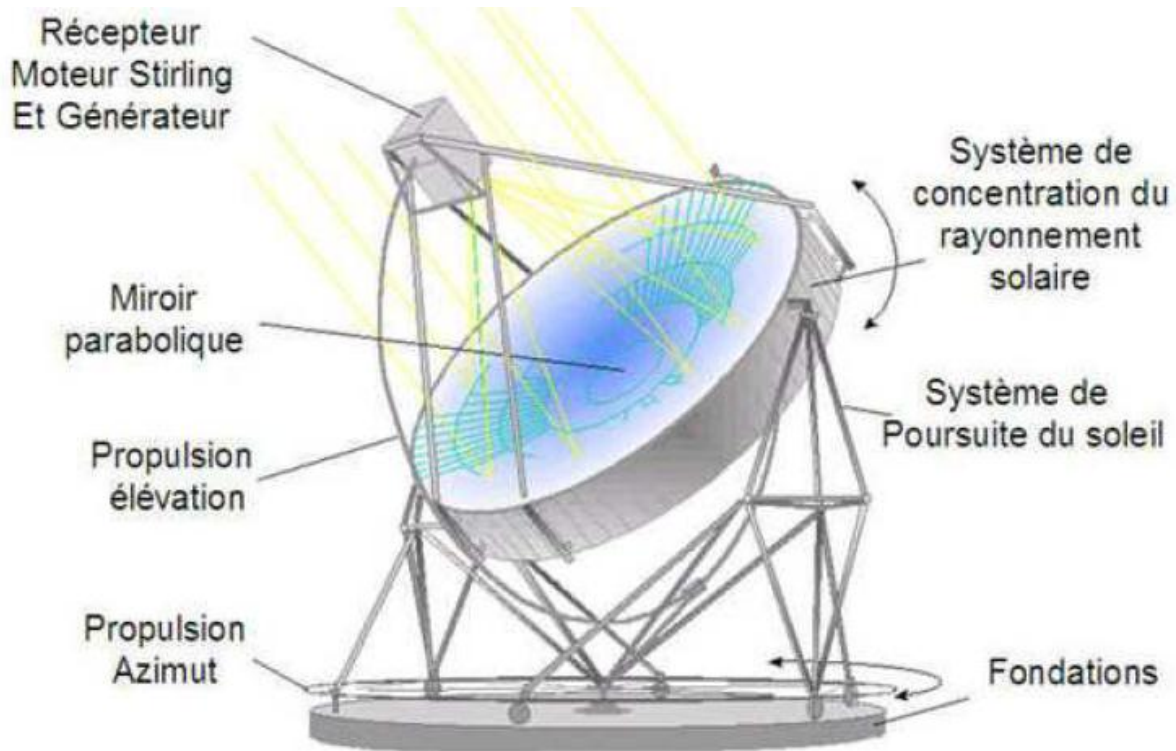


Figure 1 6 Les capteurs solaires à concentration

1.5 Les Cuves de stockage :

1.5.1 Définition des cuves de stockage thermique :

Les cuves de stockage thermique sont des réservoirs spécialement conçus pour stocker et conserver la chaleur produite par les systèmes solaires thermiques. Elles jouent un rôle crucial dans le stockage de l'énergie thermique collectée pendant les périodes d'ensoleillement élevé, permettant ainsi une utilisation ultérieure lorsque l'ensoleillement est insuffisant. Les cuves de stockage thermique sont généralement fabriquées à partir de matériaux à haute capacité thermique, tels que l'acier, la céramique ou les matériaux composites, afin de minimiser les pertes de chaleur et de maintenir une température stable pendant une période prolongée. [7].

Les cuves de stockage thermique jouent un rôle essentiel dans l'optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire thermique, en permettant le stockage efficace et la disponibilité continue de la chaleur pour les besoins de chauffage et d'eau chaude, même en l'absence de rayonnement solaire direct.

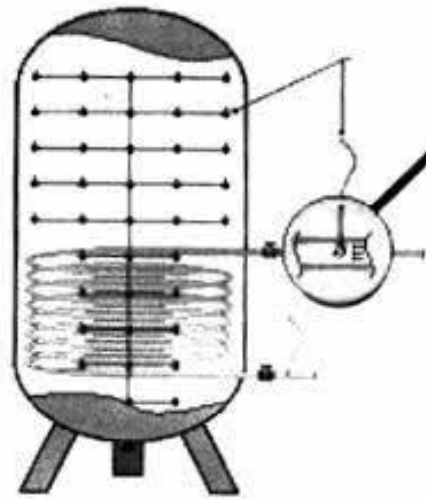


Figure 1 7 Schéma d'une cuve de stockage thermique

1.5.2 La variété des cuves de stockage thermique :

Il existe une variété de cuves de stockage thermique adaptées à différents besoins et applications. Ces cuves se distinguent par leur conception, leur taille, leur matériau de construction et leurs caractéristiques de performance. Les principaux types de cuves de stockage thermique comprennent

1.5.2.1 Cuves à stratification thermique :

Ces cuves sont conçues pour maximiser l'efficacité du stockage en permettant une stratification thermique du fluide caloporteur. Elles comportent généralement des couches de températures différentes, ce qui permet de stocker la chaleur collectée à différentes températures et de l'utiliser de manière plus efficace lorsqu'elle est nécessaire.

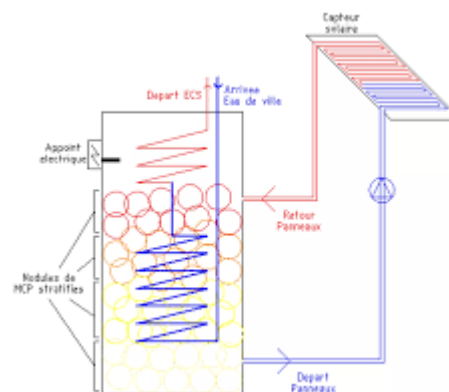


Figure 1 8 Schéma d'une cuve à stratification thermique

1.5.2.2 Ces cuves utilisent des matériaux à changement de phase :

Tels que les sels fondus ou les paraffines, qui sont capables d'absorber et de libérer de grandes quantités de chaleur lorsqu'ils passent d'un état solide à un état liquide (fusion) ou vice versa (solidification). Cela permet un stockage de chaleur à haute densité et une libération contrôlée de l'énergie thermique.

Ces cuves utilisent des matériaux à changement de phase, tels que les sels fondus ou les paraffines, qui sont capables d'absorber et de libérer de grandes quantités de chaleur lorsqu'ils passent d'un état solide à un état liquide (fusion) ou vice versa (solidification). Cela permet un stockage de chaleur à haute densité et une libération contrôlée de l'énergie thermique.

1.5.2.3 Cuves à accumulation d'eau :

Ces cuves utilisent l'eau comme fluide de stockage, qui possède une capacité thermique élevée. Elles sont souvent utilisées dans les systèmes solaires thermiques pour le chauffage domestique et la production d'eau chaude sanitaire. Les cuves à accumulation d'eau peuvent être équipées de tarificateur internes pour optimiser la distribution de la chaleur et minimiser les pertes thermiques.

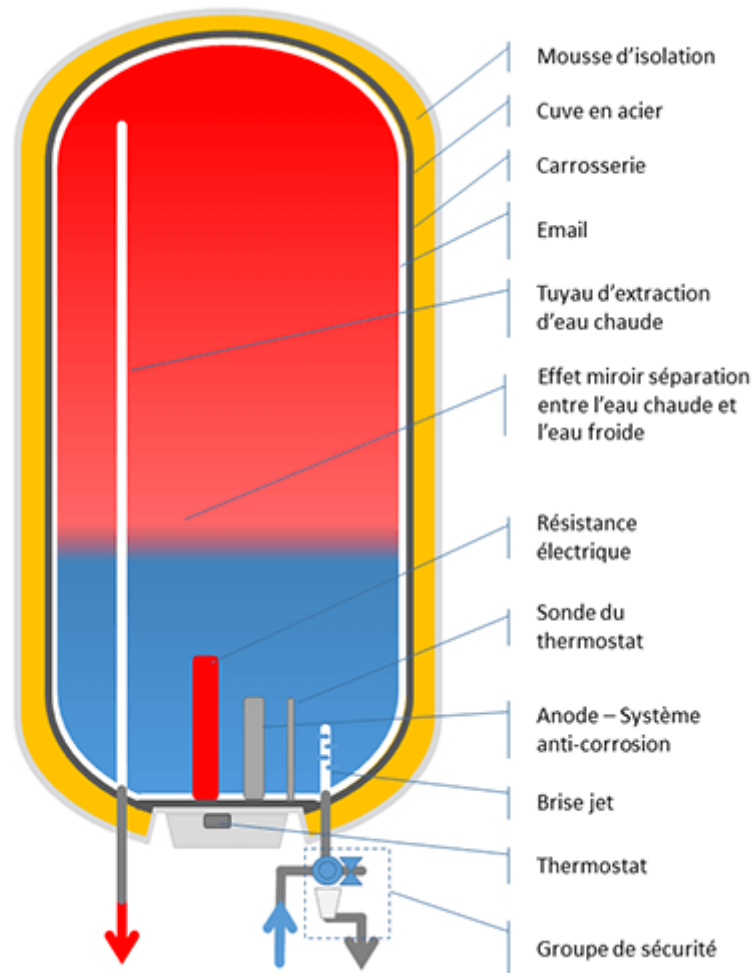


Figure 1 9 Schéma d'une cuve à accumulation d'eau

1.5.2.4 Cuves à matériau à haute capacité thermique :

Ces cuves sont construites avec des matériaux à haute capacité thermique, tels que les bétons spéciaux ou les matériaux à base de phase change. Ces matériaux permettent de stocker efficacement la chaleur et de maintenir une température stable sur une période prolongée. [7]

La variété des cuves de stockage thermique offre des options adaptées aux besoins spécifiques des applications solaires thermiques, permettant une gestion efficace de l'énergie thermique et une utilisation optimale de l'énergie solaire.

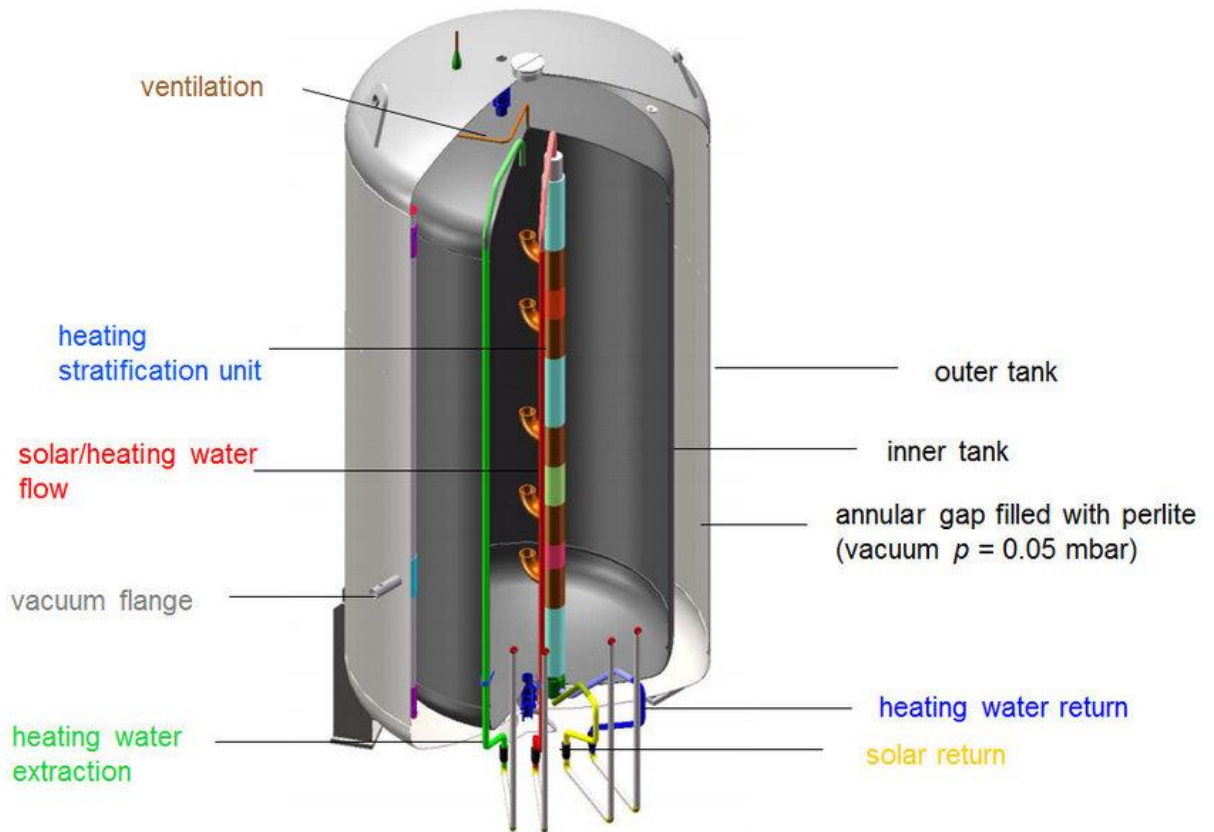


Figure 1 10 Schéma d'une Cuves à matériau à haute capacité thermique

1.5.3 L'isolation et les cuves de stockage thermique

L'isolation joue un rôle crucial dans les cuves de stockage thermique, car elle permet de minimiser les pertes de chaleur et de maintenir la température du fluide caloporteur à un niveau optimal. Une isolation efficace contribue à améliorer l'efficacité du système de stockage thermique et à réduire la déperdition d'énergie thermique.

Différents matériaux isolants sont utilisés pour l'isolation des cuves de stockage thermique, tels que la laine de roche, la laine de verre, la mousse de polyuréthane, les panneaux isolants, etc. Ces matériaux possèdent des propriétés isolantes qui réduisent la conductivité thermique et empêchent la chaleur de se dissiper rapidement.

Une isolation adéquate permet de maintenir la température du fluide caloporteur à un niveau élevé, même pendant les périodes d'inactivité solaire, ce qui garantit une disponibilité continue de la chaleur stockée. De plus, une bonne isolation contribue à réduire les coûts énergétiques en minimisant les besoins de chauffage d'appoint pour maintenir la température des cuves de stockage.

Il est important de prendre en compte les propriétés isolantes des matériaux lors de la conception et de la construction des cuves de stockage thermique. Une étude technico-économique peut être réalisée pour évaluer les performances thermiques des différents isolants et déterminer celui qui convient le mieux à l'application spécifique. [8]

1.5.4 L'importance des cuves de stockage thermique :

Les cuves de stockage thermique présentent plusieurs avantages et une importance significative dans le contexte de l'utilisation de l'énergie solaire thermique.

1.5.4.1 Optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire :

Les cuves de stockage thermique permettent de maximiser l'utilisation de l'énergie solaire en stockant l'excédent de chaleur généré pendant les périodes d'ensoleillement élevé. Cette énergie thermique peut être utilisée ultérieurement, même lorsque l'ensoleillement est insuffisant, permettant ainsi une utilisation continue et régulière de la chaleur solaire.

1.5.4.2 Fourniture de chaleur pendant les périodes d'inactivité solaire :

Les cuves de stockage thermique jouent un rôle crucial en assurant la disponibilité de chaleur pendant les périodes où l'ensoleillement est insuffisant, comme la nuit ou les jours nuageux. En stockant la chaleur pendant les périodes d'ensoleillement maximal, les cuves de stockage thermique permettent de répondre aux besoins de chauffage et d'eau chaude même en l'absence de rayonnement solaire direct. [9]

1.5.4.3 Réduction des coûts énergétiques :

Les cuves de stockage thermique permettent de réduire les coûts énergétiques en minimisant la dépendance aux systèmes de chauffage d'appoint. En utilisant la chaleur stockée dans les cuves, il est possible de réduire ou d'éliminer complètement l'utilisation d'autres sources d'énergie pour le chauffage ou la production d'eau chaude, ce qui entraîne des économies d'énergie et des économies financières à long terme.[10]

1.5.4.4 Réduction des émissions de gaz à effet de serre :

Les systèmes solaires thermiques avec des cuves de stockage contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. En utilisant l'énergie solaire pour le chauffage

et l'eau chaude, ils permettent de diminuer la dépendance aux combustibles fossiles, réduisant ainsi l'empreinte carbone et contribuant à la lutte contre le changement climatique. [11]

1.6 Les isolants utilisés sur le système de stockage thermique et leurs caractéristiques technico-économiques :

Pour le système de stockage d'énergie thermique, il est important d'utiliser des isolants thermiques efficaces pour minimiser les pertes thermiques et maximiser l'efficacité énergétique du système.[12]

Les matériaux couramment utilisés pour l'isolation des systèmes de stockage d'énergie thermique comprennent :

1.6.1 La laine de verre :

Elle est souvent utilisée en raison de sa disponibilité, de son coût abordable et de ses propriétés isolantes satisfaisantes



Figure 1 11 La laine de verre

1.6.1.1 Les caractéristiques techniques de la laine de verre sont les suivantes :

Conductivité thermique : la laine de verre a une conductivité thermique relativement faible, généralement entre 0,032 et 0,044 W/m.K, ce qui la rend efficace pour l'isolation thermique.

Densité : la densité de la laine de verre peut varier de 10 kg/m³ à plus de 100 kg/m³ en fonction de l'application. Plus la densité est élevée, plus la performance thermique est élevée.

Résistance à la compression : la laine de verre est relativement souple et a une faible résistance à la compression. Elle peut se comprimer sous le poids de la structure ou de l'équipement s'il est installé directement dessus.

Réaction au feu : la laine de verre est ininflammable et ne propage pas facilement les flammes. Elle est classée A1 selon la norme européenne de classification des matériaux de construction.

Absorption acoustique : la laine de verre est également un bon isolant acoustique en raison de sa structure en fibres. Elle peut réduire les niveaux de bruit dans un bâtiment.

Stabilité dimensionnelle : la laine de verre a une stabilité dimensionnelle élevée, ce qui signifie qu'elle ne se rétracte pas ou ne se dilate pas beaucoup lorsqu'elle est exposée à des variations de température.

En somme, la laine de verre est un matériau d'isolation thermique et acoustique efficace avec une conductivité thermique relativement faible, une densité variable et une réaction au feu excellente. Cependant, elle est relativement souple et peut se comprimer sous le poids de la structure, et peut nécessiter une attention particulière lors de son installation.

1.6.1.2 Les caractéristiques économiques de la laine de verre sont les suivantes :

Coût : la laine de verre est relativement abordable par rapport à d'autres matériaux d'isolation, tels que la mousse de polyuréthane ou les panneaux de polystyrène.

Prix : le prix de la laine de verre est de 20000Da le m³

Durabilité : la laine de verre est durable et peut durer pendant plusieurs décennies. Elle ne se détériore pas facilement, ce qui signifie qu'elle n'a pas besoin d'être remplacée fréquemment.

Installation facile : la laine de verre est facile à installer, ce qui peut réduire le coût total du projet d'isolation.

Disponibilité : la laine de verre est largement disponible auprès de nombreux fournisseurs et est disponible dans une gamme de tailles et de formes pour répondre à différents besoins d'isolation.

Économie d'énergie : en raison de sa capacité à réduire la perte de chaleur, l'installation de laine de verre peut aider à réduire les coûts de chauffage et de refroidissement à long terme.

En somme, la laine de verre est un choix économique pour l'isolation thermique et acoustique, avec un coût relativement bas et une installation facile. Elle est également durable et peut durer plusieurs décennies, ce qui en fait un choix rentable à long terme.

1.6.2 La mousse de polyuréthane(Polyerthane) :

Elle est souvent choisie en raison de ses propriétés isolantes supérieures et de son faible coût.



Figure 1 12 La mousse de polyuréthane

1.6.2.1 Les caractéristiques techniques la mousse de polyuréthane sont les suivantes :

Conductivité thermique : la mousse de polyuréthane a une conductivité thermique relativement faible, généralement entre 0,028 et 0,030 W/m.K, ce qui la rend efficace pour l'isolation thermique.

Étanchéité à l'air : la mousse de polyuréthane peut être appliquée sous forme liquide, ce qui permet de sceller efficacement les fissures et les trous dans les murs et les plafonds, réduisant ainsi la perte de chaleur par convection.

Rigidité : la mousse de polyuréthane est assez rigide, ce qui la rend utile pour la construction de murs, de toits et d'autres structures de bâtiments.

Adhérence : la mousse de polyuréthane adhère facilement à une variété de surfaces, ce qui la rend utile pour isoler les surfaces inégales ou difficiles d'accès.

Durabilité : la mousse de polyuréthane est résistante à la moisissure, aux insectes et aux dommages physiques, ce qui la rend durable et résistante aux intempéries.

En somme, la mousse de polyuréthane est un choix efficace pour l'isolation thermique, grâce à sa conductivité thermique faible et son étanchéité à l'air. Elle est également rigide et adhère facilement aux surfaces, ce qui en fait un choix utile pour la construction de bâtiments. Cependant, elle peut être plus coûteuse que d'autres matériaux d'isolation, et peut dégager des gaz nocifs lors de son application, nécessitant des précautions de sécurité.

1.6.2.2 Les caractéristiques économiques de la mousse de polyuréthane sont les suivantes :

Coût : la mousse de polyuréthane est généralement plus coûteuse que les autres matériaux d'isolation thermique, tels que la laine de verre ou la cellulose soufflée. Cependant, son efficacité énergétique supérieure peut justifier le coût supplémentaire à long terme.

Prix : Le prix du polyuréthane est de 32758 Da le m³

Économies d'énergie : l'isolation à la mousse de polyuréthane peut aider à réduire les coûts de chauffage et de climatisation, en réduisant les pertes thermiques et en améliorant l'efficacité énergétique des bâtiments.

Durée de vie : la mousse de polyuréthane est résistante à la moisissure, aux insectes et à la pourriture, ce qui lui confère une durée de vie plus longue que les autres matériaux d'isolation.

Installation : l'installation de la mousse de polyuréthane nécessite souvent une expertise professionnelle, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires. Cependant, la facilité d'application de la mousse peut réduire le temps et les coûts d'installation.

Disponibilité : la mousse de polyuréthane est largement disponible auprès de nombreux fournisseurs et fabricants, ce qui peut faciliter l'approvisionnement et réduire les coûts.

En somme, bien que la mousse de polyuréthane puisse être plus coûteuse que d'autres matériaux d'isolation, elle peut offrir des économies d'énergie à long terme et une durée de vie plus longue. Cependant, son installation peut nécessiter une expertise professionnelle et des coûts supplémentaires, ce qui peut augmenter son coût total.

1.6.3 La laine de roche :

Elle est considérée comme un excellent isolant thermique en raison de ses propriétés isolantes élevées et de sa longue durée de vie.



Figure 1 13 La laine de roche

1.6.3.1 Les caractéristiques techniques de la laine de roche sont les suivantes :

Conductivité thermique : la laine de roche est un matériau d'isolation thermique très efficace en raison de sa faible conductivité thermique. Sa conductivité thermique se situe généralement entre 0,030 et 0,045 W/mK, ce qui lui confère une très bonne capacité d'isolation thermique.

Résistance à la compression : la laine de roche est résistante à la compression, ce qui lui permet d'être utilisée comme matériau d'isolation pour les toitures et les murs où une certaine résistance mécanique est nécessaire.

Absorption d'eau : la laine de roche est hydrophobe, ce qui signifie qu'elle ne capte pas l'eau et qu'elle ne perd pas ses propriétés isolantes en cas d'exposition à l'humidité.

Stabilité thermique : la laine de roche est stable à des températures élevées et ne se dégrade pas facilement en raison de sa structure stable et de sa capacité à résister à la chaleur.

Facilité d'installation : la laine de roche est facile à installer en raison de sa légèreté et de sa flexibilité. Elle peut être coupée à la taille et à la forme désirées et s'adapte facilement aux espaces à isoler.

En somme, la laine de roche est un matériau d'isolation thermique très efficace avec une faible conductivité thermique, une résistance à la compression, une hydrophobie, une stabilité thermique et une facilité d'installation. Elle est souvent utilisée dans les applications industrielles et commerciales où une isolation thermique de haute qualité est nécessaire.

1.6.3.2 Les caractéristiques économiques de la laine de roche sont les suivantes :

Coût : la laine de roche est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres matériaux d'isolation thermique tels que la mousse de polyuréthane.

Prix : Le prix de la laine de roche est de 19000Da le m³

Durabilité : la laine de roche est un matériau d'isolation thermique durable qui peut durer des décennies sans se dégrader ni perdre de son efficacité.

Facilité d'installation : la laine de roche est facile à installer et ne nécessite pas d'équipement spécialisé. Les panneaux peuvent être coupés pour s'adapter à la forme de la surface à isoler.

Faible coût d'entretien : la laine de roche ne nécessite pas d'entretien particulier et peut durer des années sans nécessiter de réparation ou de remplacement.

Résistance au feu : la laine de roche est un matériau d'isolation thermique résistant au feu, ce qui peut contribuer à réduire le risque d'incendie dans les bâtiments.

Respect de l'environnement : la laine de roche est un matériau d'isolation thermique respectueux de l'environnement, car il peut être recyclé et réutilisé pour produire de nouveaux matériaux d'isolation.

1.6.4 Le Liège :

Le liège est un choix populaire et efficace en tant que matériau isolant en raison de ses bonnes performances thermiques et de ses autres qualités avantageuses.



Figure 1 14 Le Liège

1.6.4.1 Les caractéristiques techniques du liège sont les suivantes :

Conductivité thermique : Le liège possède une faible conductivité thermique soit 0.043 W/mK , ce qui signifie qu'il réduit efficacement la transmission de la chaleur à travers les parois. Il offre ainsi une bonne isolation thermique pour les bâtiments, réduisant les pertes de chaleur en hiver et le gain de chaleur en été.

Perméabilité à la vapeur d'eau : Le liège est un matériau perméable à la vapeur d'eau, ce qui signifie qu'il permet une bonne circulation de l'humidité. Il contribue à la régulation de l'humidité dans les structures, évitant ainsi la condensation et la formation de moisissures.

Résistance au feu : Le liège est naturellement ignifuge, ce qui le rend résistant au feu. Il ne libère pas de gaz toxiques en cas d'incendie, ce qui en fait un choix sûr pour l'isolation.

Résistance à la compression : Le liège a une bonne résistance à la compression, ce qui lui permet de conserver ses propriétés isolantes même sous une charge importante.

Cela en fait un matériau adapté à une utilisation dans les planchers et les toitures, où il peut supporter le poids des structures.

1.6.4.2 Les caractéristiques économiques du liège sont les suivantes :

Durabilité et longévité : Le liège est un matériau durable qui peut durer de nombreuses années sans perdre ses propriétés isolantes. Il résiste à l'usure et ne se dégrade pas facilement, ce qui réduit les coûts de remplacement à long terme.

Faibles coûts de maintenance : En raison de sa résistance naturelle à l'humidité et aux moisissures, le liège nécessite peu de maintenance. Il ne se détériore pas avec le temps et ne nécessite pas de traitements chimiques coûteux pour prévenir les problèmes d'humidité.

Prix : Le prix du liège est de 16875 Da le m³

Disponibilité et facilité d'installation : Le liège est largement disponible et son installation est relativement simple. Il peut être coupé et ajusté facilement pour s'adapter aux besoins spécifiques de chaque projet, ce qui réduit les coûts d'installation.

Efficacité énergétique : En réduisant les pertes de chaleur et les gains de chaleur, le liège contribue à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments. Cela peut se traduire par des économies sur les coûts de chauffage et de climatisation à long terme.

Impact environnemental : Le liège est un matériau naturel, renouvelable et recyclable. Son utilisation comme isolant favorise la durabilité et la réduction de l'empreinte écologique des bâtiments. De plus, l'extraction du liège n'implique pas l'abattage des arbres, car seule l'écorce est récoltée, ce qui permet de préserver les ressources forestières.

En conclusion, le liège présente des caractéristiques techniques avantageuses en termes d'isolation thermique, de perméabilité à la vapeur d'eau, de résistance au feu et à la

compression. Sur le plan économique, il offre durabilité, faibles coûts de maintenance, disponibilité, facilité d'installation, efficacité énergétique et respect de l'environnement.

1.6.5 Le Polyester :

Le polyester est un matériau couramment utilisé en tant qu'isolant.



Figure 1 15 Le Polyester

1.6.5.1 Les caractéristiques techniques du polyester sont les suivantes :

Conductivité thermique : Le polyester a une conductivité thermique modérée soit 0.034W/mK . Il offre une certaine résistance à la transmission de chaleur, mais généralement moins efficace que d'autres matériaux isolants tels que la laine de roche ou la fibre de verre.

Perméabilité à la vapeur d'eau : Le polyester peut être conçu pour être perméable ou imperméable à la vapeur d'eau, selon les besoins. Cela permet de réguler l'humidité dans les structures et de prévenir les problèmes de condensation.

Résistance au feu : Certains types de polyester peuvent être traités pour améliorer leur résistance au feu, mais de manière générale, le polyester n'est pas aussi résistant au feu que d'autres matériaux ignifuges.

Résistance à la compression : La résistance à la compression du polyester peut varier en fonction de sa densité et de sa structure. Dans certains cas, il peut être comprimé lorsqu'il est soumis à une charge, ce qui peut affecter ses performances isolantes.

1.6.5.2 Les caractéristiques économiques du polyester sont les suivantes :

Coût abordable : Le polyester est généralement moins coûteux que de nombreux autres matériaux isolants. Il est largement disponible et offre un bon rapport qualité-prix, ce qui en fait un choix populaire pour les projets à budget limité.

Prix : Le prix du polyester est de 4500 Da le m³

Facilité d'installation : Le polyester est relativement léger et facile à manipuler. Il peut être coupé et ajusté aux dimensions requises, ce qui facilite son installation. Il est souvent disponible sous forme de panneaux, de rouleaux ou de flocons, offrant une certaine polyvalence pour s'adapter aux différentes applications.

Faibles coûts de maintenance : Le polyester ne nécessite généralement pas de maintenance particulière une fois installé. Il est résistant à l'humidité, aux moisissures et à la plupart des insectes, ce qui réduit les dépenses liées à l'entretien à long terme.

Durabilité variable : La durabilité du polyester peut varier en fonction de sa qualité et de son épaisseur. Dans certaines conditions, il peut se tasser ou perdre de son efficacité isolante au fil du temps, ce qui peut nécessiter un remplacement ou une mise à niveau.

Impact environnemental : Le polyester est fabriqué à partir de matières premières non renouvelables, telles que le pétrole. Sa production peut avoir un impact environnemental négatif en raison de la consommation d'énergie et des émissions associées à la fabrication des fibres de polyester. Cependant, certaines variantes de polyester peuvent être recyclées, ce qui réduit leur impact environnemental.

En résumé, le polyester offre une certaine isolation thermique et peut être conçu pour être perméable ou imperméable à la vapeur d'eau. Il présente un coût abordable, une facilité d'installation et des coûts de maintenance réduits. Cependant, sa résistance au feu peut être un inconvénient et son impact environnemental peut être un facteur à prendre en compte.

1.7 Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a abordé en profondeur l'énergie solaire thermique et les cuves de stockage thermique, mettant en évidence leur rôle essentiel dans la transition vers une économie énergétique plus durable. L'énergie solaire thermique offre une source propre et renouvelable pour répondre aux besoins énergétiques des bâtiments résidentiels et industriels, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre.

Nous avons examiné les différents types de systèmes solaires thermiques, leurs composants et leur fonctionnement, ainsi que les avantages et les inconvénients de cette technologie prometteuse. Les cuves de stockage thermique, quant à elles, sont essentielles pour stocker et conserver l'énergie thermique afin de la rendre disponible ultérieurement, et l'isolant utilisé joue un rôle clé dans l'efficacité et la performance du système de stockage.

Nous avons exploré les caractéristiques techniques et économiques des cuves de stockage thermique, en mettant l'accent sur les différents types d'isolants disponibles sur le marché. En analysant leur coût, leur durée de vie, leur installation et leurs coûts de maintenance, nous sommes en mesure de prendre des décisions éclairées pour une isolation optimale et des économies d'énergie à long terme.

Dans un contexte où la transition vers une économie énergétique durable est primordiale, l'énergie solaire thermique et les cuves de stockage thermique jouent un rôle central en offrant des solutions respectueuses de l'environnement et économiquement viables. En comprenant leurs caractéristiques techniques et économiques, nous sommes en mesure de concevoir et de mettre en œuvre des systèmes de stockage thermique efficaces et rentables.

Il est clair que l'énergie solaire thermique et les cuves de stockage thermique sont des domaines d'étude et de développement cruciaux pour l'avenir énergétique. En continuant à exploiter leur potentiel, à améliorer leur efficacité et à optimiser leur utilisation, nous pouvons contribuer activement à la transition vers une société plus durable, respectueuse de l'environnement et résiliente face aux défis énergétiques mondiaux.

Chapitre 2 : Simulation numérique

2.1 Introduction :

Le chapitre 2 se concentre sur l'utilisation de simulations numériques pour évaluer les performances thermiques des cuves de stockage et des isolants. La simulation numérique est un outil précieux qui permet d'analyser le transfert de chaleur à travers la paroi de la cuve et de prédire les variations de température à l'intérieur du système.

L'objectif de ce chapitre est de réaliser la simulation numérique en utilisant le logiciel MATLAB. Nous nous appuierons sur des formules spécifiques pour calculer des paramètres clés tels que la résistance thermique, le coefficient de perte globale, la surface de la paroi et la quantité de chaleur transférée. Ces calculs nous permettront de simuler le comportement thermique de la cuve de stockage et d'obtenir des résultats quantitatifs pour évaluer ses performances.

La simulation numérique offre de nombreux avantages dans l'évaluation des cuves de stockage thermique. Elle permet de tester différentes configurations et matériaux d'isolation. De plus, elle fournit des informations précieuses sur les flux de chaleur et les pertes thermiques. Ces informations sont essentielles pour prendre des décisions en matière de dimensionnement du système.

Dans ce chapitre, nous commencerons par présenter les formules utilisées pour la simulation numérique, en mettant l'accent sur la résistance thermique, Le coefficient de perte globale, la surface de la paroi et la quantité de chaleur transférée. Nous détaillerons également les paramètres nécessaires pour effectuer les calculs, tels que les propriétés des isolants, les dimensions de la cuve et les conditions de fonctionnement.

Ensuite, nous présenterons un schéma simplifié de la cuve de stockage thermique, qui servira de base visuelle pour la simulation numérique. Ce schéma nous aidera à mieux comprendre la structure de la cuve et les zones d'intérêt en termes de transfert de chaleur.

Enfin, nous aborderons la mise en œuvre de la simulation numérique à l'aide du logiciel MATLAB. Nous définirons le programme MATLAB en détaillant les étapes de calcul et en expliquant comment utiliser les formules précédemment présentées

2.2 Formules utilisées dans la simulation numérique :

Dans cette section, nous examinerons les formules clés utilisées dans la simulation numérique pour évaluer les performances thermiques des cuves de stockage thermique. Ces formules permettent de calculer des paramètres importants liés au transfert de chaleur à travers la paroi de la cuve. Voici les principales formules utilisées :

2.2.1 Résistance thermique (R_t) :

La résistance thermique (R_t) est un paramètre clé utilisé dans la simulation numérique pour évaluer les performances thermiques des cuves de stockage thermique. Elle représente l'opposition au transfert de chaleur à travers la paroi de la cuve et dépend des propriétés isolantes des matériaux utilisés ainsi que des pertes de chaleur par convection.

La formule générale pour calculer la résistance thermique est la suivante :

$$R_t = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{2\pi \times \lambda_{iso} \times l} + \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R}\right)}{2\pi \times \lambda_{iso} \times l} + \frac{1}{h \times 2\pi R_2}$$

R : Le rayon intérieur de la cuve.

R_1 : Le rayon extérieur de la cuve.

R_2 : Le rayon de la cuve avec l'isolant.

l : La longueur de la cuve

λ_{iso} : La conductivité thermique de l'isolant.

λ_{gal} : La conductivité thermique de l'acier galvanisé.

h : Le coefficient de convection est une mesure des pertes de chaleur par convection, qui se produit lorsque le fluide en contact avec la paroi de la cuve transfère la chaleur par mouvement de convection.

2.2.2 Le coefficient de perte globale (Up) :

Le coefficient de perte globale (Up) est un paramètre utilisé pour évaluer l'efficacité d'un système d'isolation thermique ou d'un élément isolant spécifique. Il est directement lié à la résistance thermique (Rt) du matériau ou de la structure et fournit une mesure de la capacité du système à résister aux pertes de chaleur.

Le coefficient de perte globale est défini comme l'inverse de la résistance thermique, soit :

$$Up = \frac{1}{Rt}$$

Plus la résistance thermique d'un matériau ou d'une structure est élevée, plus l'indice de performance sera petit. Cela signifie que l'isolation est plus efficace et que les pertes de chaleur sont réduites.

Le coefficient de perte globale est utilisé pour comparer différentes options d'isolation ou pour évaluer l'efficacité d'un système d'isolation existant. Il permet de prendre des décisions lors de la sélection de matériaux isolants ou de la conception de systèmes de transfert de chaleur.

2.2.3 Surface de la paroi (A) :

La surface de la paroi (A) est spécifique à notre cas d'études, c'est un paramètre important dans la simulation numérique des cuves de stockage thermique. Elle représente la surface totale de la paroi de la cuve à travers laquelle se fait le transfert de chaleur.

La formule générale pour calculer la surface de la paroi est la suivante :

$$A_1 = (2 \times \pi \times R^2) + (2 \times \pi \times R \times l)$$

$$A_2 = (2 \times \pi \times R_2^2) + (2 \times \pi \times R_2 \times l)$$

$$A = (A_2 - A_1) / (\ln(\frac{A_2}{A_1}))$$

A_1 : Surface à l'intérieur de la cuve.

A_2 : Surface de la cuve + isolant.

A : Moyenne logarithmique de la surface.

La première partie de la formule ($2 * \pi * R^2$) représente la surface de la base de la cuve, qui est un cercle de rayon R . La deuxième partie de la formule ($2 * \pi * R * l$) représente la surface latérale de la cuve, qui est un rectangle de hauteur H et de longueur égale à la circonférence du cercle de base.

En calculant la surface de la paroi, nous obtenons une mesure de la surface totale exposée au transfert de chaleur. Cela permet de quantifier la zone de contact entre le fluide contenu dans la cuve et l'environnement extérieur, ce qui est important pour estimer les pertes de chaleur et évaluer l'efficacité de l'isolation thermique de la cuve.

2.2.4 La quantité de chaleur perdue (Q_p) :

La quantité de chaleur transférée (Q_p) est un paramètre clé dans la simulation numérique des cuves de stockage thermique. Elle représente la quantité de chaleur qui est échangée à travers la paroi de la cuve entre le fluide contenu à l'intérieur de la cuve et l'environnement extérieur.

La formule générale pour calculer la quantité de chaleur perdue est la suivante :

$$Q_p = U_p \times A \times \Delta T$$

où :

U_p : Le Coefficient de perte globale, qui est l'inverse de la résistance thermique (R_t) du matériau ou de la structure. [W/m^2K]

A : La surface de la paroi. [m^2]

ΔT : La différence de température entre le fluide contenu à l'intérieur de la cuve et l'environnement extérieur. [°C]

La quantité de chaleur perdue (Q_p) est exprimée en unités d'énergie, telles que les joules (J) ou les calories (cal). Elle représente la quantité de chaleur qui est perdue par la cuve en fonction de la différence de température entre le fluide et l'environnement.

En calculant la quantité de chaleur perdue, on peut évaluer les pertes thermiques de la cuve et estimer l'efficacité de l'isolation thermique.

Cela permet également d'analyser les flux de chaleur et de dimensionner correctement l'isolation pour réduire les pertes de chaleur indésirables ou assurer le transfert de chaleur nécessaire.

Il convient de noter que la quantité de chaleur perdue peut être influencée par d'autres facteurs tels que le type d'isolant utilisé, les propriétés thermiques des matériaux de construction et les conditions environnementales.

En résumé, la quantité de chaleur perdue (Q_p) est une mesure essentielle dans la simulation numérique des cuves de stockage thermique. Elle représente la quantité de chaleur échangée à travers la paroi de la cuve et permet d'évaluer les pertes thermiques et l'efficacité de l'isolation thermique.

2.2.5 Temps d'équilibre thermique (dt) :

Le temps d'équilibre total est le temps nécessaire pour que la température à l'intérieur de la cuve égale la température à l'extérieur, il est défini comme suit :

$$dt = \frac{mC_p\Delta T}{Q_p}$$

Où :

m : La masse du fluide contenu dans la cuve.

C_p : La capacité thermique du fluide.

ΔT : La différence de température entre deux instants successifs.

Q_p : La quantité de chaleur transférée à travers la paroi de la cuve.

Le temps total (Dt) est la durée totale en jours.

Pour obtenir le temps total (Dt) à partir du pas de temps (dt), on divise le pas de temps par le nombre total de pas de temps nécessaires pour atteindre la durée souhaitée:

$$Dt = \frac{dt}{3600 \times 24}$$

2.3 Schéma de la cuve de stockage thermique :

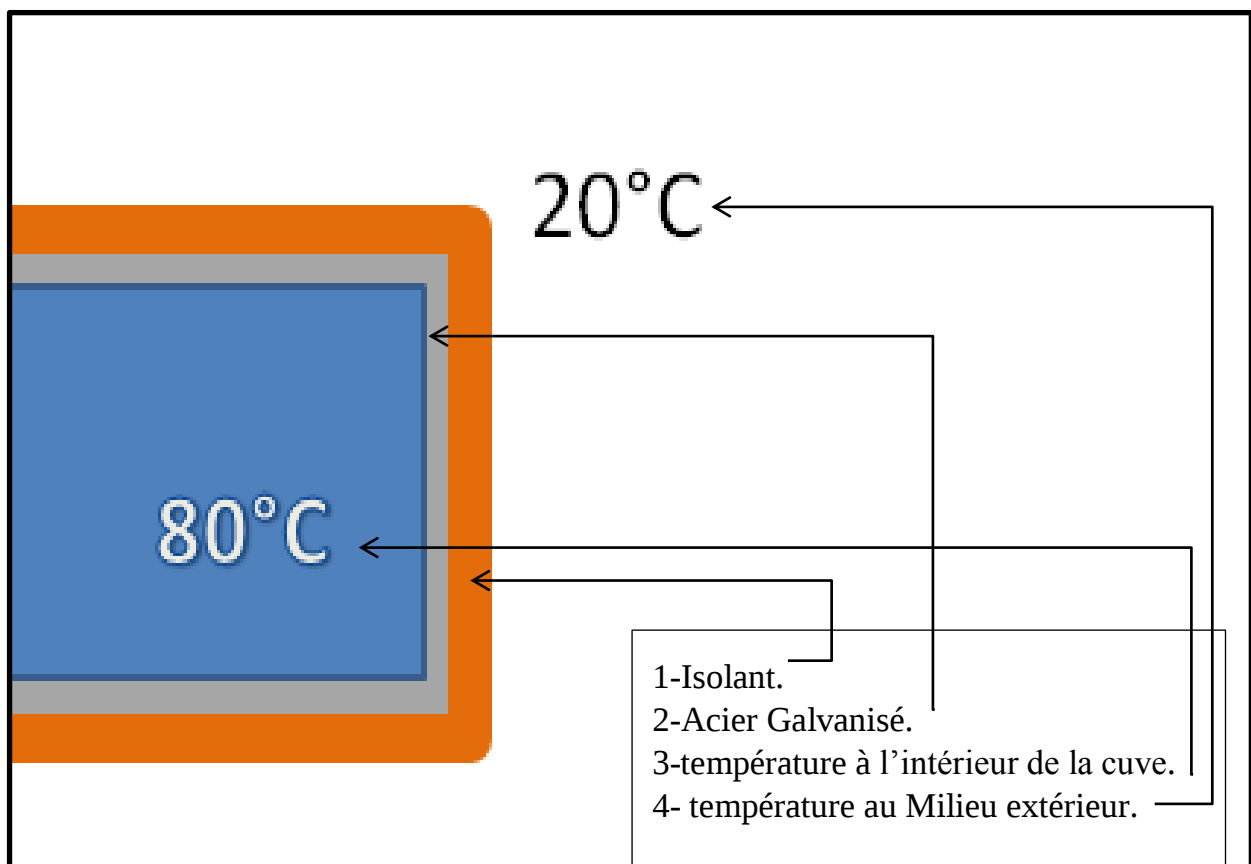


Figure 2 1 Schéma simplifié de la cuve de stockage thermique

2.4 Hypothèses simplificatrice :

Dans le cadre de cette étude, les hypothèses simplificatrices suivantes ont été formulées afin de simplifier la complexité du modèle et de se concentrer sur les aspects spécifiques liés à l'étude de l'isolant dans la cuve thermique :

Température extérieure constante : Il a été supposé que la température extérieure reste constante à 20°C tout au long de l'expérience, éliminant ainsi la variation de la température ambiante qui pourrait influencer les transferts de chaleur.

Température constante à l'intérieur de la cuve : Une hypothèse a été faite selon laquelle la température à l'intérieur de la cuve est maintenue à 80°C, permettant ainsi de se concentrer sur l'étude de l'isolant sans prendre en compte les fluctuations internes de température.

Cuve verticale pour éviter la stratification thermique : En considérant que la cuve est verticale, l'effet de la stratification thermique, c'est-à-dire la séparation des couches de température différente à l'intérieur de la cuve, a été négligé pour simplifier les analyses.

Négligence de la convection à l'intérieur de la cuve : Il a été supposé que le fluide à l'intérieur de la cuve est immobile, permettant ainsi de négliger l'effet de la convection sur les transferts de chaleur et simplifiant les calculs.

Absence d'épuisement du fluide et d'entrée d'eau chaude : Dans le contexte spécifique de cette étude axée sur l'isolant, il a été supposé qu'il n'y a ni épuisement du fluide ni entrée d'eau chaude dans la cuve, afin de se concentrer uniquement sur l'effet de l'isolant sur le maintien de la température interne.

Ces hypothèses simplificatrices ont été adoptées pour faciliter la modélisation et les analyses dans le cadre de ce mémoire. Cependant, il est important de reconnaître que ces simplifications peuvent introduire des limites et des approximations dans l'étude, qui doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats.

2.5 Simulation MATLAB :

2.5.1 Définition MATLAB :

Dans le cadre de cette étude, une simulation a été réalisée en utilisant MATLAB pour évaluer les performances thermiques des différents isolants dans la cuve de stockage. MATLAB est un logiciel de calcul numérique qui offre des fonctionnalités avancées pour la modélisation et la simulation.

Le programme de simulation a été conçu pour évaluer l'effet des différents isolants sur le transfert de chaleur à travers la paroi de la cuve. Les variables principales du programme sont les types d'isolants et leurs épaisseurs respectives. Les isolants considérés dans cette étude comprennent la laine de roche, la laine de verre, le polyuréthane, le polyester et le liège.

Le programme de simulation utilise les propriétés thermiques de chaque isolant, telles que la conductivité thermique, la capacité thermique et la densité, pour calculer les flux de chaleur à travers la paroi de la cuve. Il permet également de prendre en compte les différences de température entre l'intérieur et l'extérieur de la cuve, ainsi que les conditions ambiantes.

En utilisant les valeurs des épaisseurs des isolants spécifiées en entrée, le programme effectue les calculs nécessaires pour estimer les pertes de chaleur à travers la paroi de la cuve pour chaque isolant. Les résultats de la simulation fournissent des informations sur les performances thermiques relatives des différents isolants et aident à prendre des décisions concernant leur utilisation dans la cuve de stockage.

2.5.2 Organigramme de la simulation MATLAB :

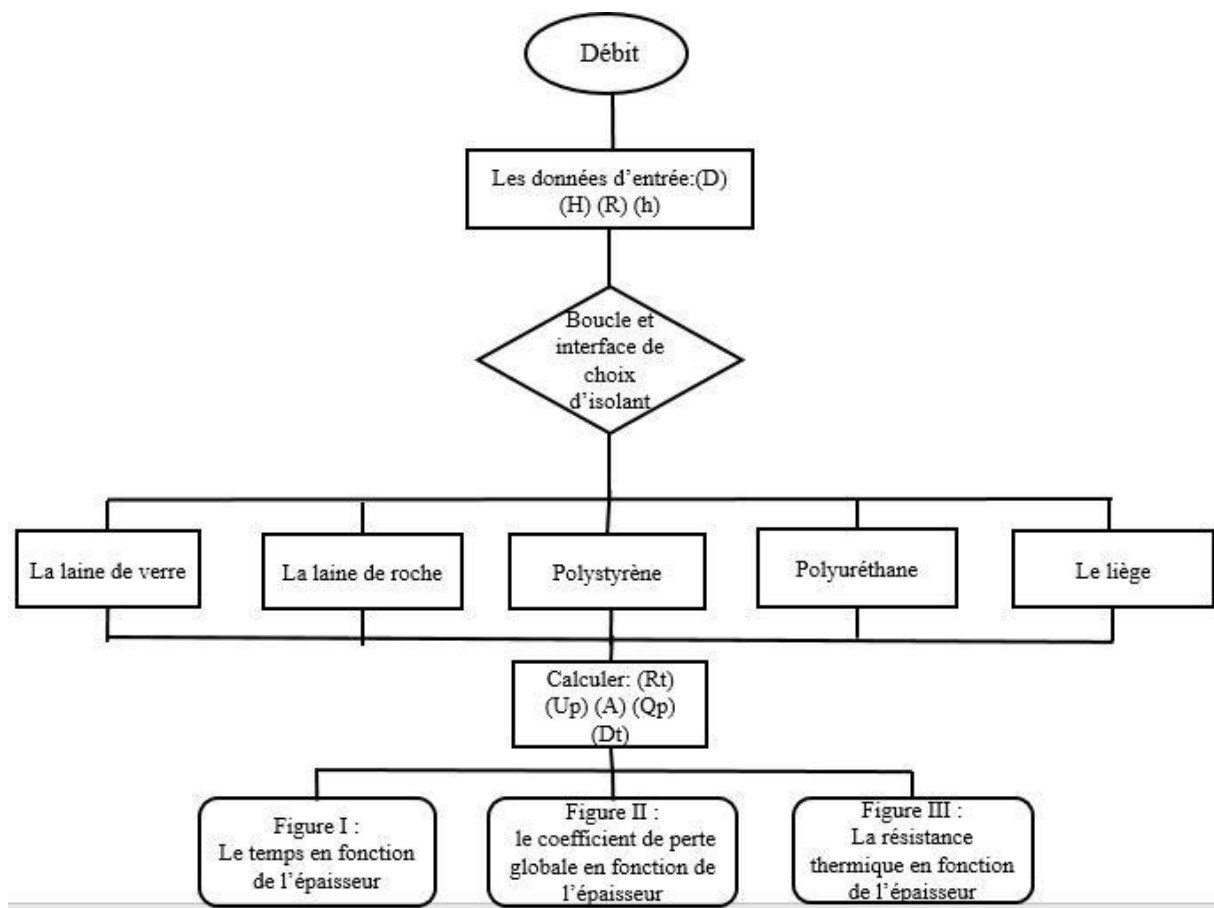


Figure 2 2 Organigramme de la simulation MATLAB

2.6 Conclusion :

Le chapitre 2 de ce mémoire a présenté la méthodologie de simulation numérique d'une cuve de stockage thermique et l'évaluation des performances thermiques des différents isolants. Nous avons étudié les formules utilisées pour calculer la résistance thermique, le coefficient de perte globale et le temps de refroidissement de la cuve.

En utilisant le logiciel MATLAB, nous avons effectué des simulations en tenant compte des dimensions de la cuve, des propriétés thermiques des isolants et des conditions de température. Nous avons particulièrement examiné l'effet de l'épaisseur de l'isolant sur la résistance thermique.

Enfin il est important de noter que ces résultats sont basés sur certaines hypothèses simplificatrices, telles que l'absence de convection interne dans la cuve et l'absence de flux d'eau chaude entrant ou sortantes de cette dernières.

En conclusion, ce chapitre a fourni une méthodologie pour la simulation numérique d'une cuve de stockage thermique et l'évaluation des performances thermiques des isolants. Les résultats obtenus serviront de base à la discussion et à l'analyse des performances des isolants dans le chapitre suivant.

Chapitre 3 : résultat et discussion

3.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur l'analyse approfondie des résultats obtenus à partir de notre étude des isolants dans les cuves de stockage thermique. Nous avons utilisé le logiciel MATLAB pour mener des simulations afin d'évaluer les performances des différents isolants et de déterminer celui qui est le plus efficace sur le plan technico-économique.

L'objectif principal de cette étude est de comparer les performances des isolants. Nous cherchons également à évaluer l'efficacité énergétique des cuves de stockage thermique en fonction des différents isolants utilisés.

Une autre partie importante de cette étude consiste à réaliser une analyse comparative des coûts des isolants.

Enfin, nous nous efforçons de recommander l'isolant le plus efficace technico-économiquement pour les cuves de stockage thermique. Cette recommandation sera basée sur une évaluation globale des performances techniques, des coûts et de l'efficacité énergétique de chaque isolant.

Plongeons maintenant dans l'analyse détaillée des résultats obtenus et des discussions qui en découlent, afin de déterminer quel isolant se démarque comme le choix le plus efficace technico-économiquement pour les cuves de stockage thermique.

3.2 Résultat Polyester :

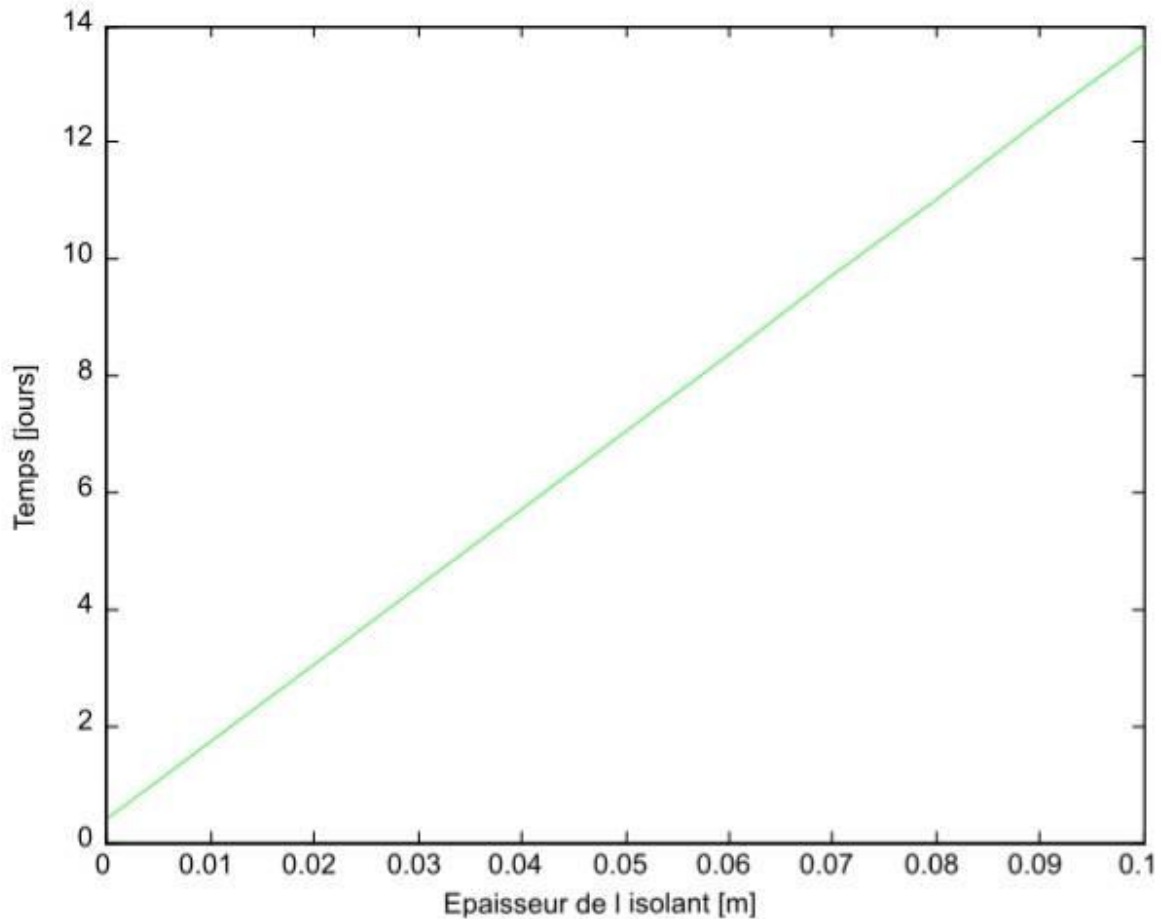


Figure 3 1 Epaisseur en fonction du temps du polyester

L'analyse de (figure 3 1) pour l'isolant du polyester met en évidence une évolution significative de l'épaisseur de l'isolant en fonction du temps. On observe une augmentation progressive de l'épaisseur de 0 m à 0.1 m au fur et à mesure de l'augmentation du temps de 0.409 à 13.69. Cette tendance suggère une relation directe entre l'épaisseur de l'isolant en polyester et le temps requis pour atteindre un certain niveau de refroidissement dans la cuve de stockage thermique.

En analysant le graphe de l'évolution temporelle en fonction de l'épaisseur de l'isolant polyester, il est possible de conclure que l'épaisseur de l'isolant a un impact significatif sur le temps de refroidissement dans la cuve de stockage thermique. Une augmentation de

l'épaisseur de l'isolant en polyester entraîne une augmentation du temps nécessaire pour atteindre le refroidissement souhaité. Par conséquent, il est essentiel de choisir avec soin l'épaisseur de l'isolant en polyester afin d'optimiser les performances thermiques et de garantir une efficacité énergétique maximale de la cuve de stockage thermique.

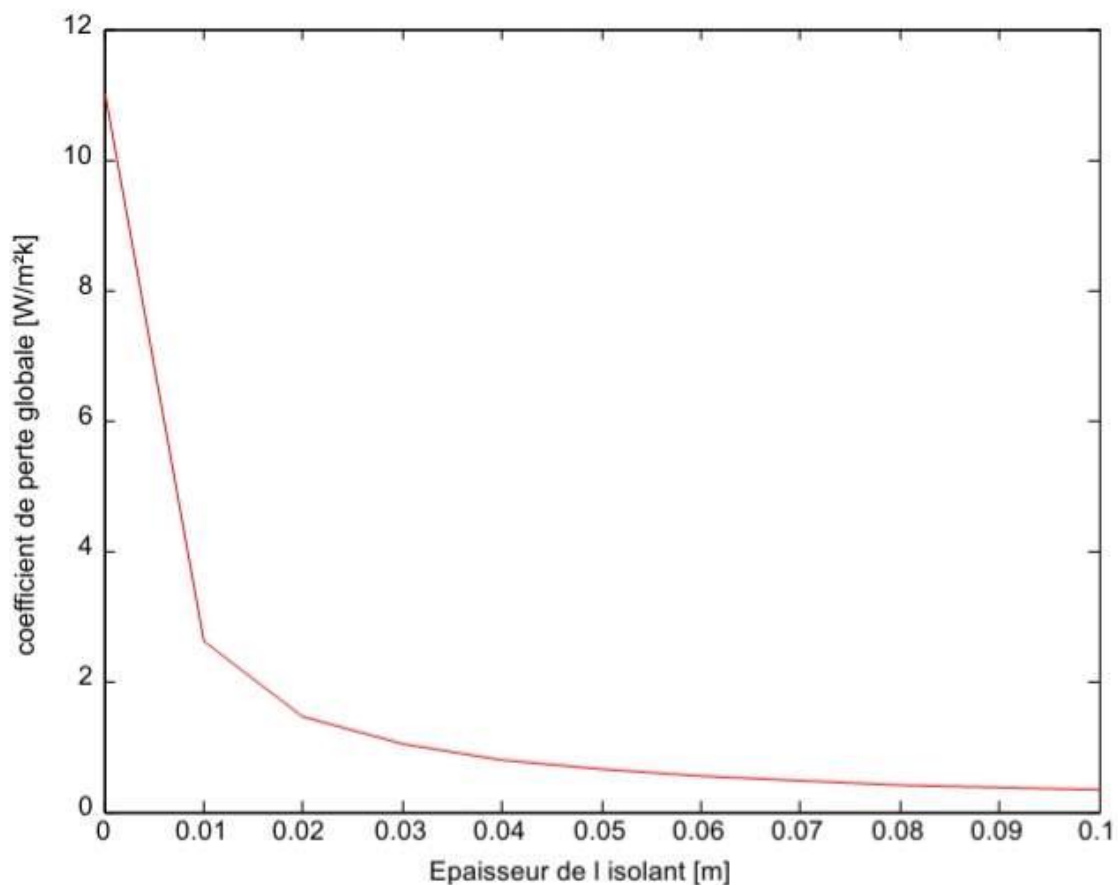


Figure 3 2 Coefficient de perte globale en fonction de l'épaisseur du polyester

(La figure 3 2) représente le coefficient de perte global en fonction de l'épaisseur de l'isolant. On observe une diminution non linéaire du coefficient de perte global à mesure que l'épaisseur de l'isolant augmente. Initialement, le coefficient de perte global diminue de 11 à 2.2 lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0 à 0.01 m. Ensuite, il diminue de 2.29 à 0.64

lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0.01 à 0.05 m. Après cette valeur, le coefficient de perte global continue de diminuer, mais à un rythme plus lent. Cela suggère que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant contribue à réduire les pertes d'énergie, mais au-delà d'une certaine épaisseur, les gains supplémentaires deviennent moins significatifs.

En analysant le graphe du coefficient de perte global en fonction de l'épaisseur, nous pouvons conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant aide à réduire les pertes d'énergie. Cependant, il est important de noter que les bénéfices découlant de cette augmentation deviennent moins importants au-delà d'une certaine épaisseur. Par conséquent, il est nécessaire de trouver un équilibre entre l'épaisseur de l'isolant et les performances thermiques souhaitées afin d'optimiser l'efficacité énergétique de la cuve de stockage thermique

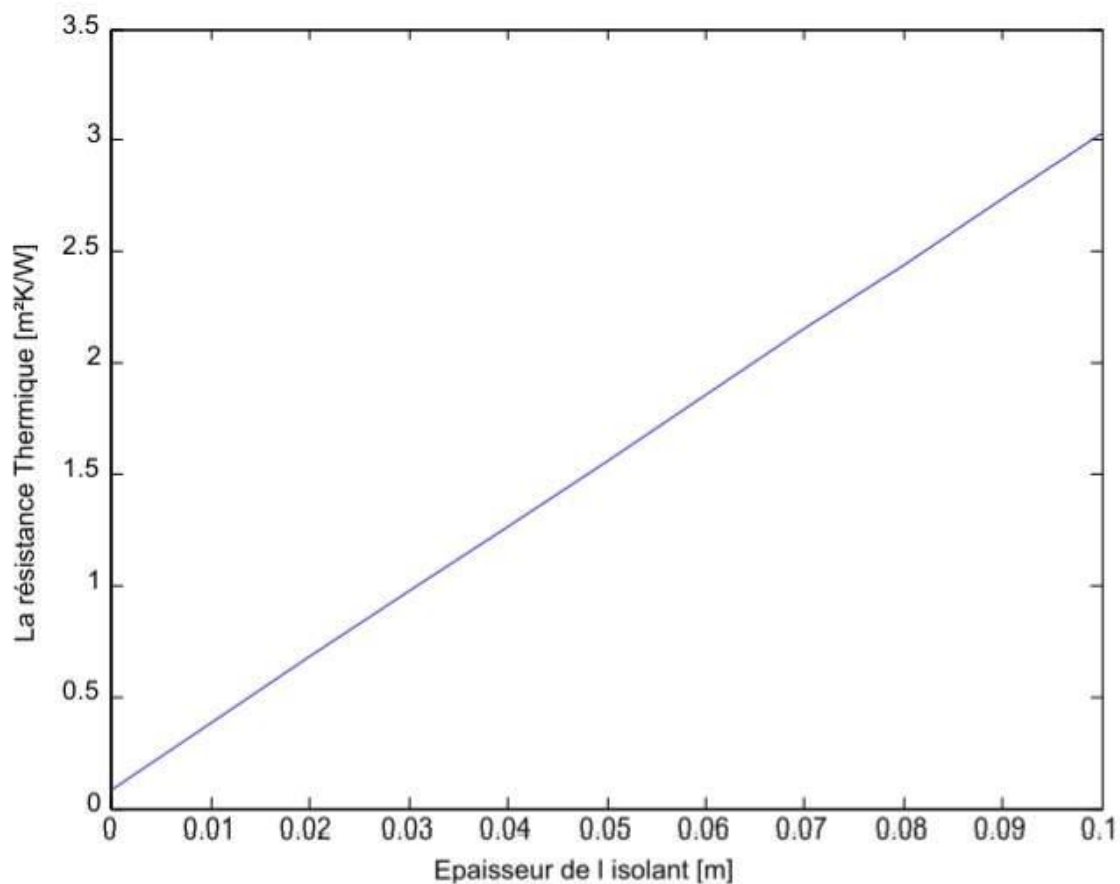


Figure 3 3 La résistance thermique en fonction de l'épaisseur du polyester

(La figure 3 3) représente les variations de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant. On observe une tendance croissante lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0 m à 0.1 m, ce qui entraîne une augmentation de la résistance thermique de 0.09 à 3.03. Cela suggère qu'une augmentation de l'épaisseur de l'isolant conduit à une augmentation significative de la résistance thermique.

En analysant (Figure 3 3) , nous pouvons conclure que l'épaisseur de l'isolant a une influence importante sur la résistance thermique. Plus l'isolant est épais, plus la résistance thermique est élevée, ce qui signifie une meilleure capacité de l'isolant à limiter le transfert de chaleur à travers la paroi de la cuve. Cette observation souligne l'importance de choisir une épaisseur d'isolant appropriée pour atteindre une performance thermique optimale dans la cuve de stockage.

3.3 Résultat Polyuréthane :

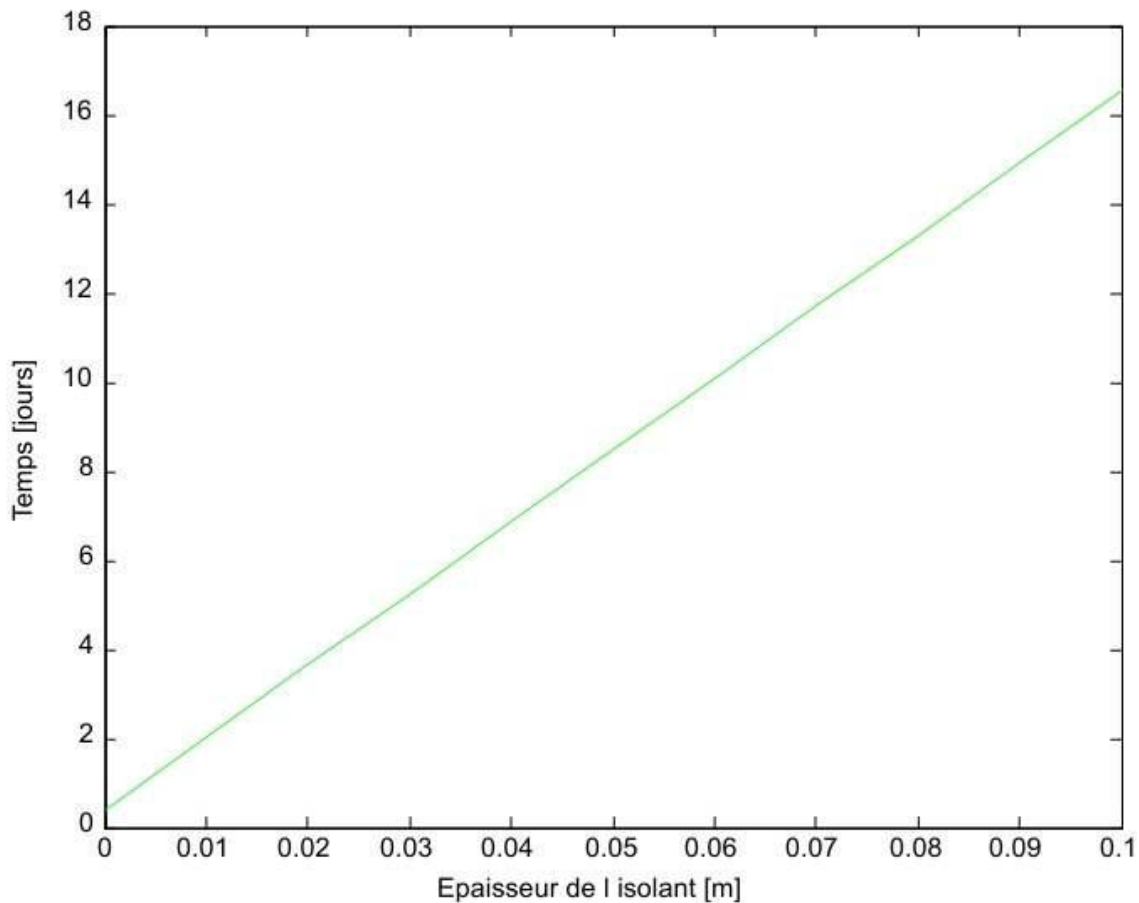


Figure 3 4 Epaisseur en fonction du temps du polyuréthane

(La figure 3 4) représente les variations de l'évolution temporelle en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas du polyuréthane. On observe une augmentation progressive de l'évolution temporelle lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0 m à 0.1 m, avec une augmentation du temps de 0.409 à 16.54. Cela indique que le temps d'évolution est directement proportionnel à l'épaisseur de l'isolant.

À partir de l'analyse de cette figure, nous pouvons conclure que l'évolution temporelle est étroitement liée à l'épaisseur de l'isolant pour le cas du polyuréthane. L'augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une augmentation proportionnelle du temps d'évolution. Cette relation entre l'épaisseur de l'isolant et le temps d'évolution peut être utilisée pour optimiser la

conception de la cuve de stockage thermique en choisissant une épaisseur d'isolant appropriée pour atteindre les performances souhaitées.

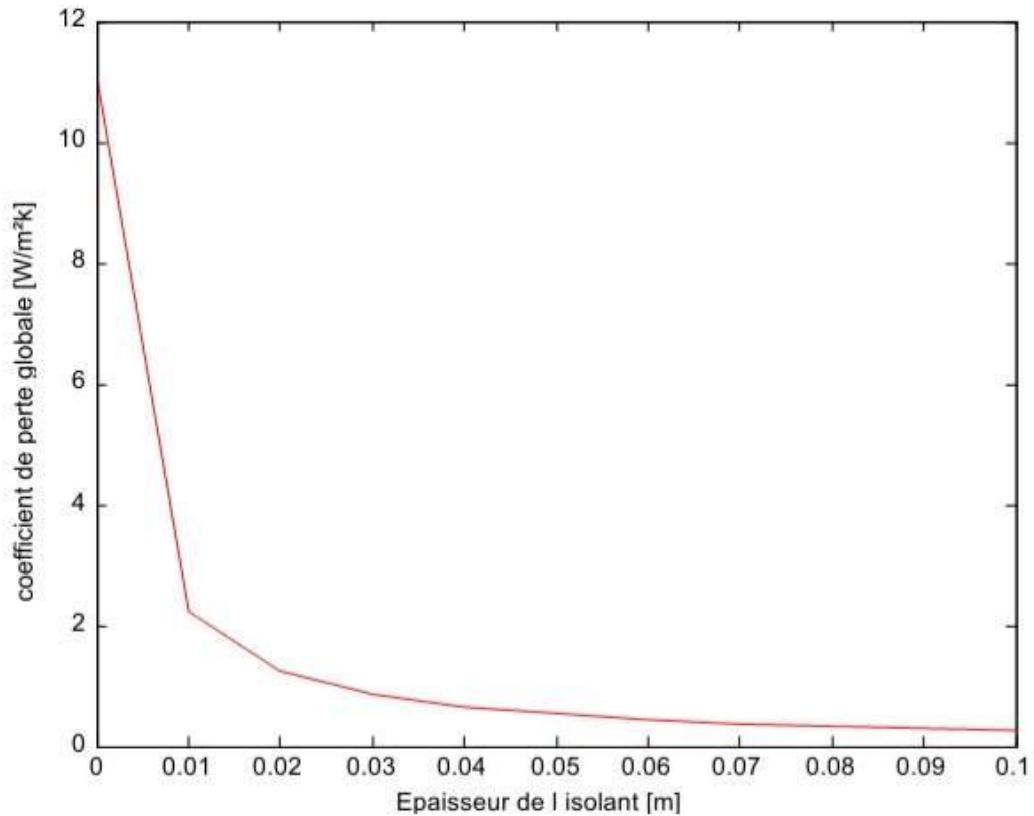


Figure 3 5 Coefficient de perte globale en fonction de l'épaisseur du polyuréthane

(La figure 3 5) représente le coefficient de pertes globales (CPG) en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas du polyuréthane. On observe une diminution non continue du CPG avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant. Le CPG diminue de 11 à 2.23 lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0 à 0.01 m. Ensuite, le CPG diminue de 2.23 à 0.53. Cependant, lorsque l'épaisseur de l'isolant dépasse 0.05 m, le CPG continue à diminuer, mais à un rythme plus lent. Cette observation suggère que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant contribue à réduire les pertes d'énergie, mais cette réduction devient moins significative à mesure que l'épaisseur augmente.

A partir de cette figure, nous pouvons conclure que l'épaisseur de l'isolant a un impact sur le coefficient de pertes globales (CPG). L'augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une diminution du CPG, ce qui indique une réduction des pertes d'énergie. Cependant, cette diminution devient moins prononcée à mesure que l'épaisseur de l'isolant augmente. Ainsi, l'ajout d'une certaine épaisseur d'isolant peut être bénéfique pour réduire les pertes d'énergie, mais il est important de trouver un équilibre entre l'épaisseur de l'isolant et l'efficacité énergétique globale du système étudié.

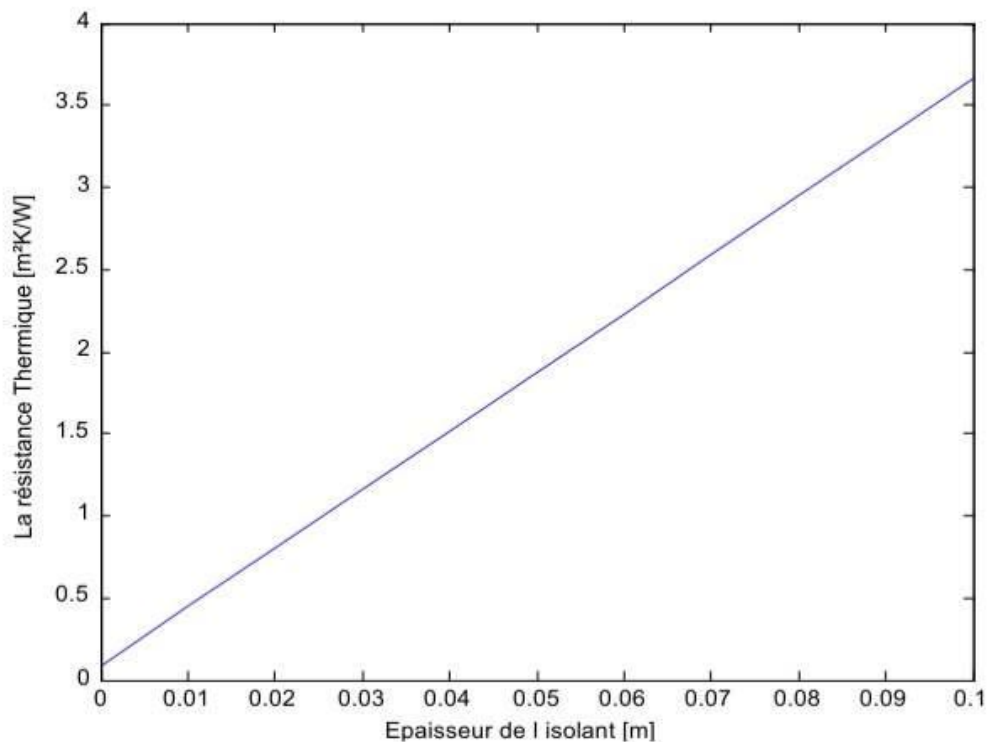


Figure 3 6 La résistance thermique en fonction de l'épaisseur du polyuréthane

(La figure 3 6) représente les variations de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas du polyuréthane. On observe une augmentation de la

résistance thermique avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant. Lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0 m à 0.1 m, la résistance thermique augmente de 0.09 à 3.66. Cette observation suggère qu'une augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une augmentation significative de la résistance thermique.

À partir de cette figure, nous pouvons conclure que l'épaisseur de l'isolant a une influence directe sur la résistance thermique. Une augmentation de l'épaisseur de l'isolant conduit à une augmentation substantielle de la résistance thermique. Cela signifie que l'ajout d'une épaisseur plus importante d'isolant contribue à accroître la résistance thermique du système étudié. Il est donc important de prendre en compte l'épaisseur de l'isolant lors de la conception et de l'optimisation de systèmes thermiques afin d'améliorer l'efficacité énergétique et de réduire les pertes de chaleur.

3.4 Résultat de la laine de verre :

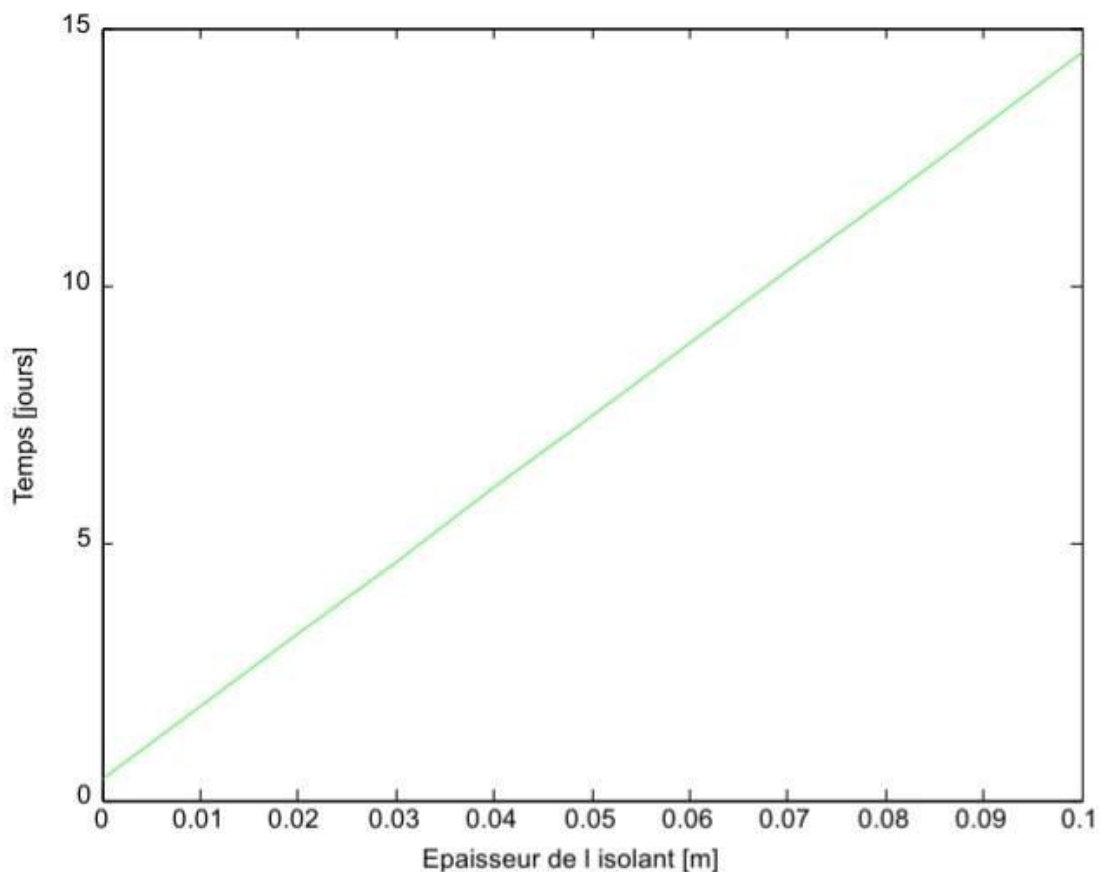


Figure 3 7 Epaisseur en fonction du temps de la laine de verre

(La figure 3 7) représente les variations de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas de la laine de verre. On observe une augmentation progressive de la résistance thermique avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant. Lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0 m à 0.1 m, la résistance thermique augmente de 0.409 à 14.52. Cette observation indique que l'épaisseur de l'isolant a une influence significative sur la résistance thermique.

A partir de cette figure, nous pouvons conclure que l'épaisseur de l'isolant de laine de verre a un impact direct sur la résistance thermique. Une augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une augmentation considérable de la résistance thermique du système. Ainsi, l'ajout d'une épaisseur plus importante de laine de verre permet d'obtenir une meilleure isolation thermique et de réduire les pertes de chaleur. Il est donc essentiel de choisir judicieusement l'épaisseur de l'isolant en fonction des exigences thermiques et énergétiques du système étudié.

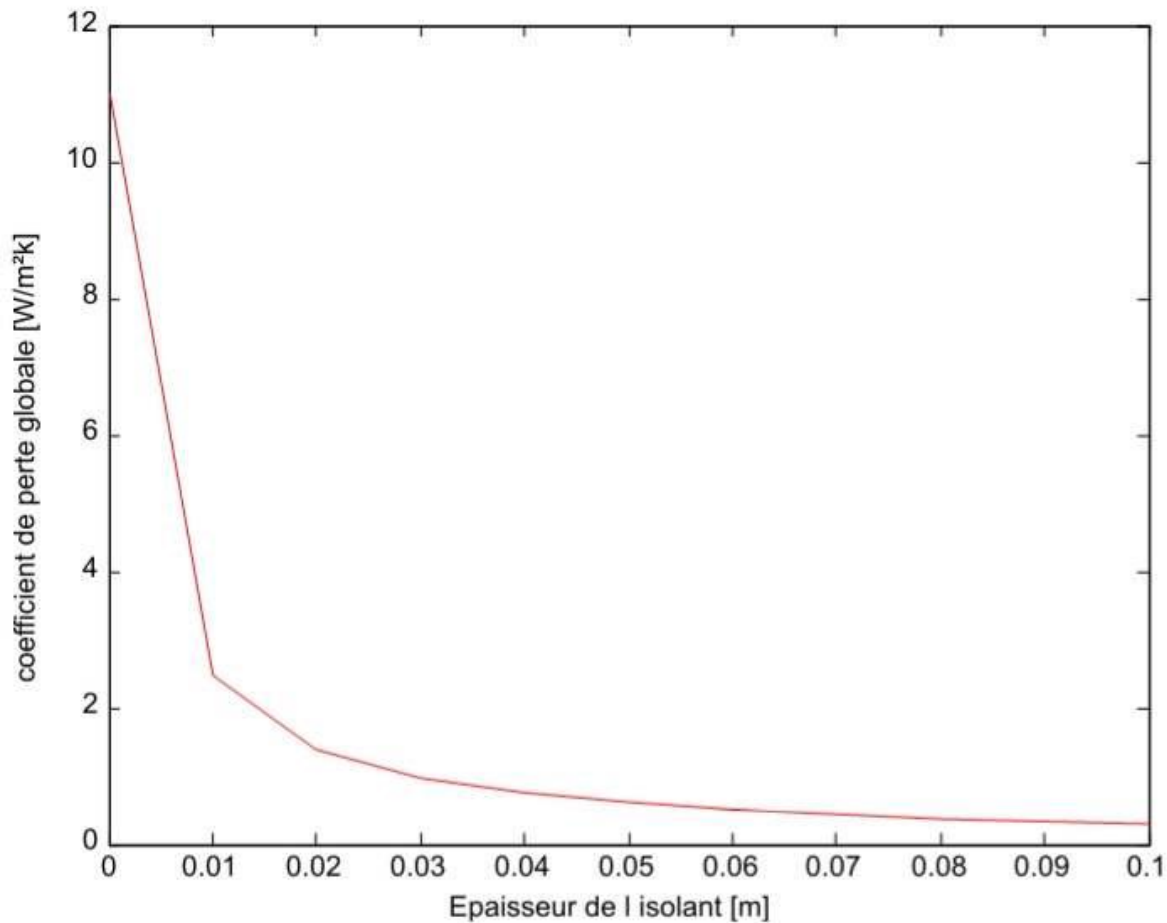


Figure 3 8 Coefficient de perte globale en fonction de l'épaisseur de la laine de verre

(La figure 3 8) représente les variations du coefficient de pertes globales en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas de la laine de verre. On observe que le coefficient de pertes globales diminue de manière non continue avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant. Lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0 à 0.01 m, le coefficient de pertes globales diminue de 11 à 2.5. Ensuite, il diminue encore de 2.5 à 0.60 lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0.01 à 0.05 m. Cependant, au-delà de cette valeur, le coefficient de pertes globales continue à diminuer avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant, mais à un rythme plus lent.

À partir de cette figure, nous pouvons conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant de laine de verre contribue à réduire les pertes d'énergie. En effet, le coefficient de pertes globales diminue lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente, ce qui indique une meilleure

isolation thermique. Cependant, il est important de noter que cette diminution devient plus lente au-delà d'une certaine épaisseur d'isolant. Par conséquent, il est nécessaire de trouver un équilibre entre l'épaisseur de l'isolant et les performances thermiques souhaitées, afin d'optimiser l'efficacité énergétique du système.

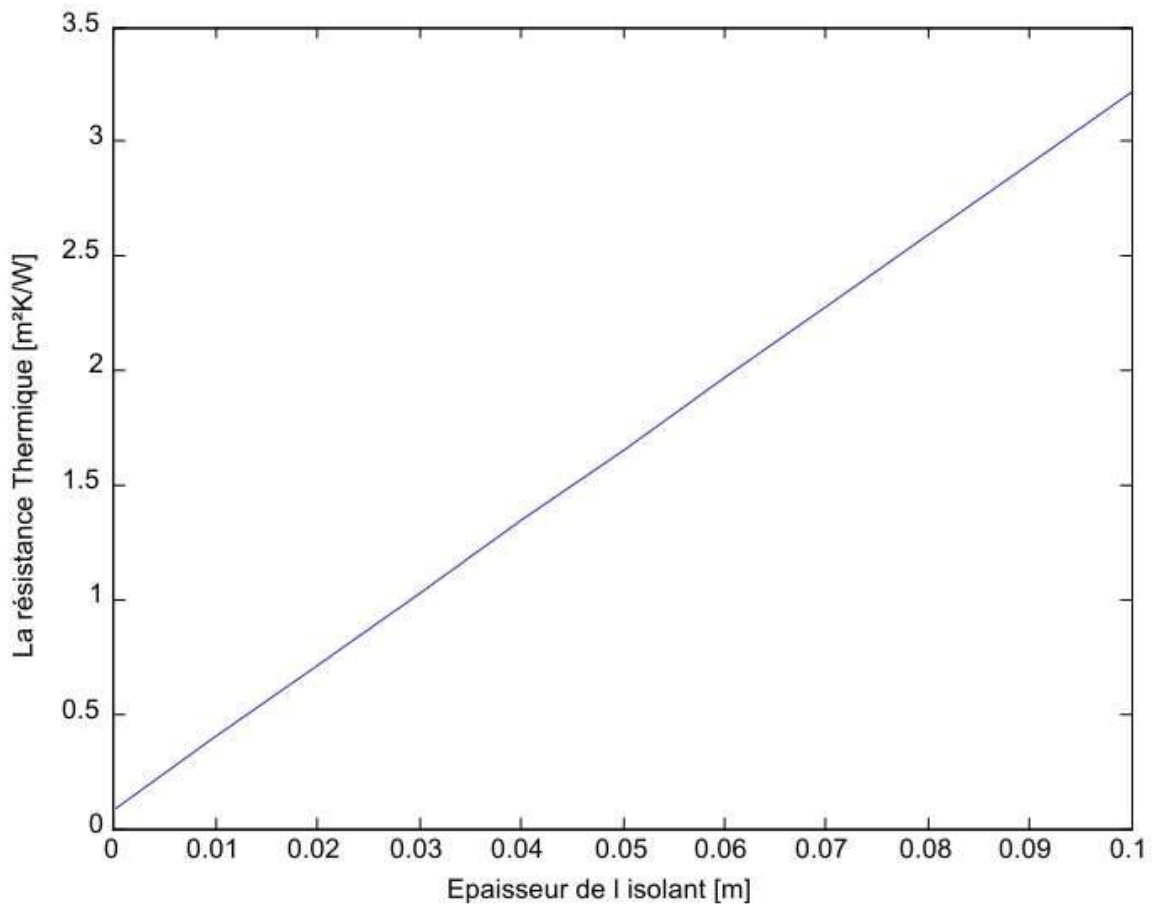


Figure 3 9 La résistance thermique en fonction de l'épaisseur de la laine de verre

(La figure 3 9) représente les variations de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas de la laine de verre. On observe que le graphe présente une tendance croissante lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0 m à 0.1 m. Cette augmentation de l'épaisseur de l'isolant conduit à une augmentation de la résistance thermique, passant de 0.09 à 3.21.

A partir de cette figure, nous pouvons conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant de laine de verre entraîne une augmentation significative de la résistance thermique. Cela signifie que l'isolant plus épais offre une meilleure résistance au transfert de chaleur, ce qui peut contribuer à améliorer l'efficacité énergétique et réduire les pertes de chaleur. Il est donc recommandé d'utiliser une épaisseur d'isolant adéquate pour atteindre les performances thermiques souhaitées dans les applications de la laine de verre.

3.5 Résultat laine de roche :

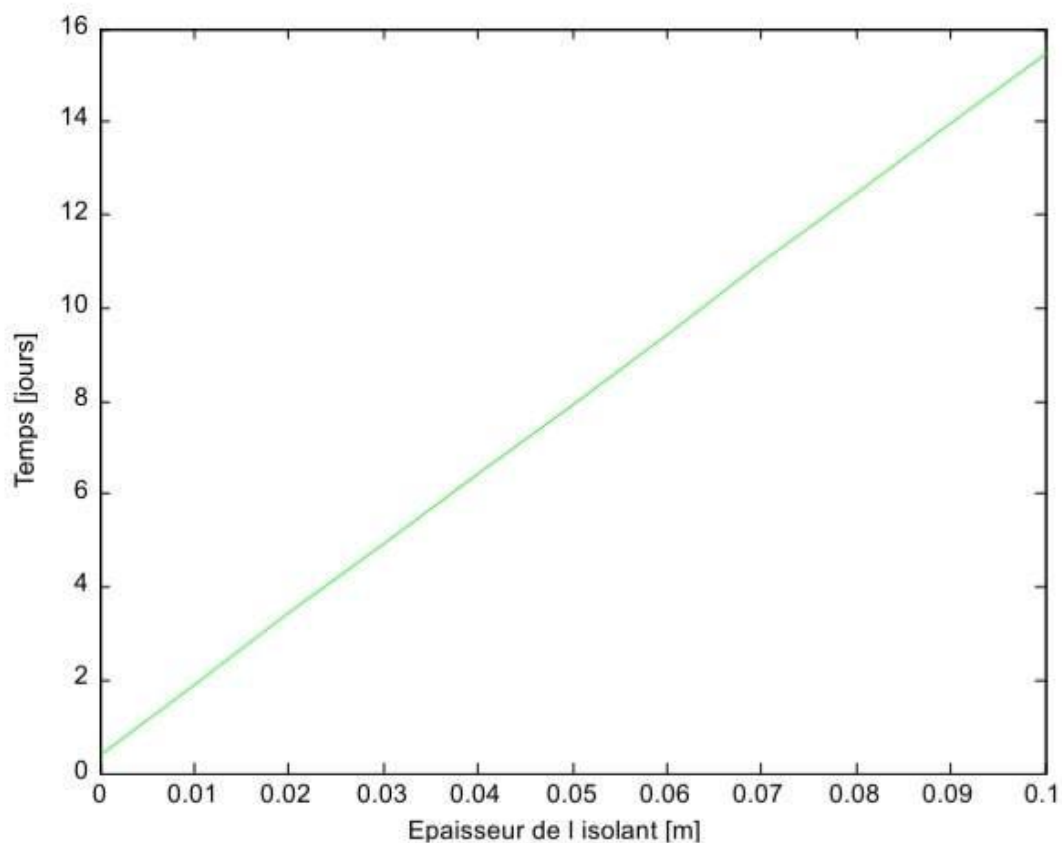


Figure 3 10 Epaisseur en fonction du temps de la laine de roche

(La figure 3 10) représente les variations de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas de la laine de roche. On observe que le graphe présente une tendance croissante lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0 m à 0.1 m. Cette

augmentation de l'épaisseur de l'isolant conduit à une augmentation de la résistance thermique, passant de 0.409 à 15.46.

Ce dernier graphe, nous pouvons conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant de laine de roche entraîne une augmentation significative de la résistance thermique. Cela indique que l'isolant plus épais offre une meilleure résistance au transfert de chaleur, ce qui peut contribuer à améliorer l'efficacité énergétique et réduire les pertes de chaleur. Il est donc recommandé d'utiliser une épaisseur d'isolant adéquate pour obtenir les performances thermiques souhaitées dans les applications de la laine de roche.

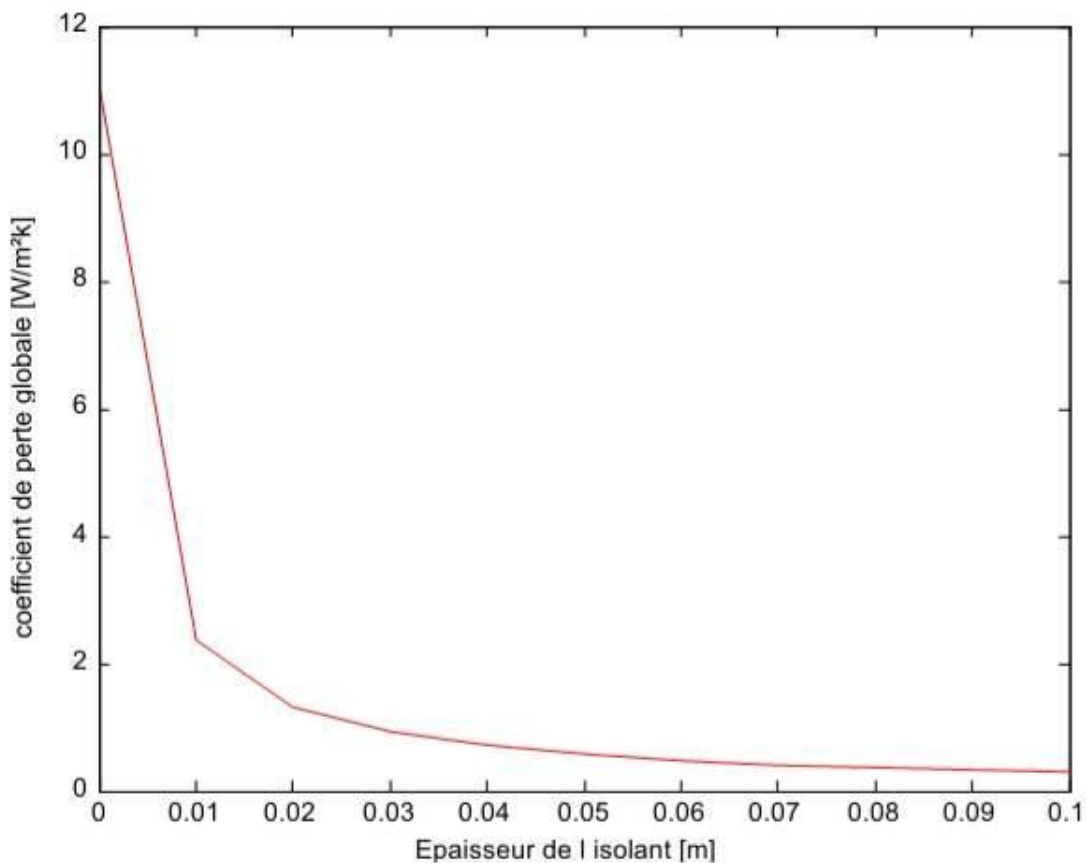


Figure 3 11 Coefficient de perte globale de chaleur en fonction de l'épaisseur de la laine de roche

(La figure 3 11) représente les variations du coefficient de pertes globales en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas de la laine de roche. On observe que le coefficient de pertes globales diminue de manière non continue avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant. Il diminue de 11 à 2.38 lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0 à 0.01 m. Ensuite, le coefficient de pertes globales diminue de 2.38 à 0.57, mais lorsque l'épaisseur passe de 0.01 à 0.05 m, il continue de diminuer avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant, mais à un rythme plus lent.

A partir de cette figure, on peut conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant de laine de roche contribue à réduire les pertes d'énergie. Le coefficient de pertes globales diminue de manière significative avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant, ce qui indique que l'isolant plus épais offre une meilleure résistance au transfert de chaleur. Cela peut aider à améliorer l'efficacité énergétique en réduisant les pertes de chaleur. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser une épaisseur adéquate d'isolant de laine de roche pour minimiser les pertes d'énergie dans les applications correspondantes.

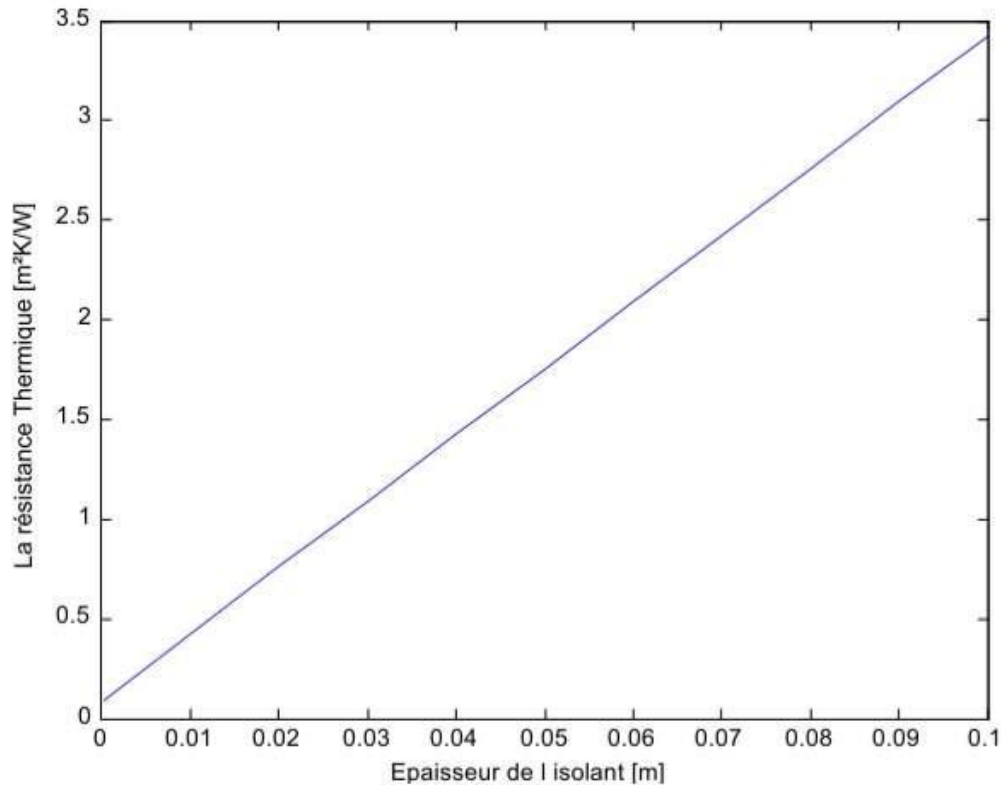


Figure 3 12 la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant de la laine de roche

(La figure 3 12) représente les variations de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas de la laine de roche. On observe que le graphe présente une tendance croissante lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0 m à 0.1 m. Cette augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une augmentation de la résistance thermique de 0.09 à 3.42.

A partir de cette figure, nous pouvons conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant de laine de roche entraîne une augmentation significative de la résistance thermique. Cela indique que l'épaisseur de l'isolant joue un rôle important dans la réduction de la conductivité thermique. Une plus grande épaisseur d'isolant de laine de roche offre une résistance accrue au transfert de chaleur, ce qui peut contribuer à améliorer l'efficacité énergétique en réduisant les pertes de chaleur. Par conséquent, il est recommandé d'utiliser

une épaisseur d'isolant de laine de roche adéquate pour obtenir une résistance thermique optimale dans les applications correspondantes.

3.6 Résultat pour le liège :

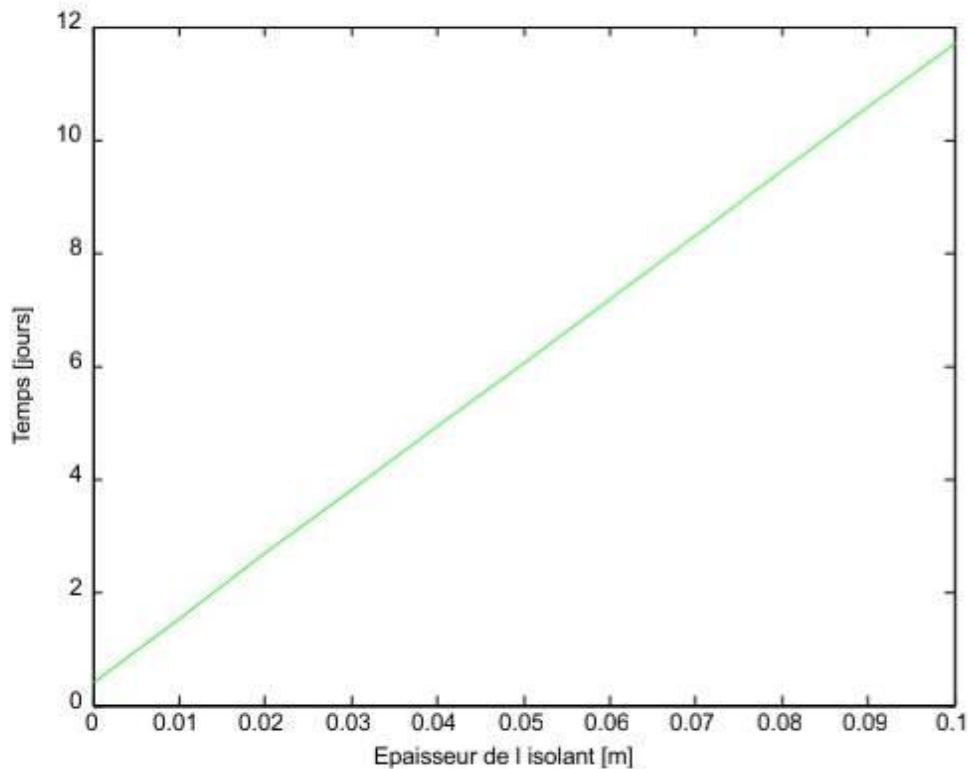


Figure 3 13 Variation du temps en fonction de l'épaisseur du liège

(La figure 3 13) représente les variations du temps en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas du liège. On observe une augmentation linéaire du temps lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0 m à 0.1 m. Cette augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne une augmentation du temps de 0.409 à 11.70 jours.

D'après cette figure, nous pouvons conclure que le temps nécessaire pour atteindre un équilibre thermique est directement proportionnel à l'épaisseur de l'isolant en liège. Une augmentation de l'épaisseur de l'isolant entraîne un temps plus long pour atteindre l'équilibre thermique. Cela indique que l'épaisseur de l'isolant en liège joue un rôle important dans la résistance au transfert de chaleur et dans la capacité de l'isolant à maintenir une température stable.

Il est donc essentiel de prendre en compte l'épaisseur appropriée de l'isolant en liège en fonction des exigences spécifiques de l'application. Une plus grande épaisseur d'isolant peut offrir une meilleure isolation thermique et contribuer à réduire les pertes de chaleur. Cependant, il est important de trouver un équilibre entre l'épaisseur de l'isolant et d'autres considérations telles que les contraintes d'espace et les performances thermiques souhaitées.

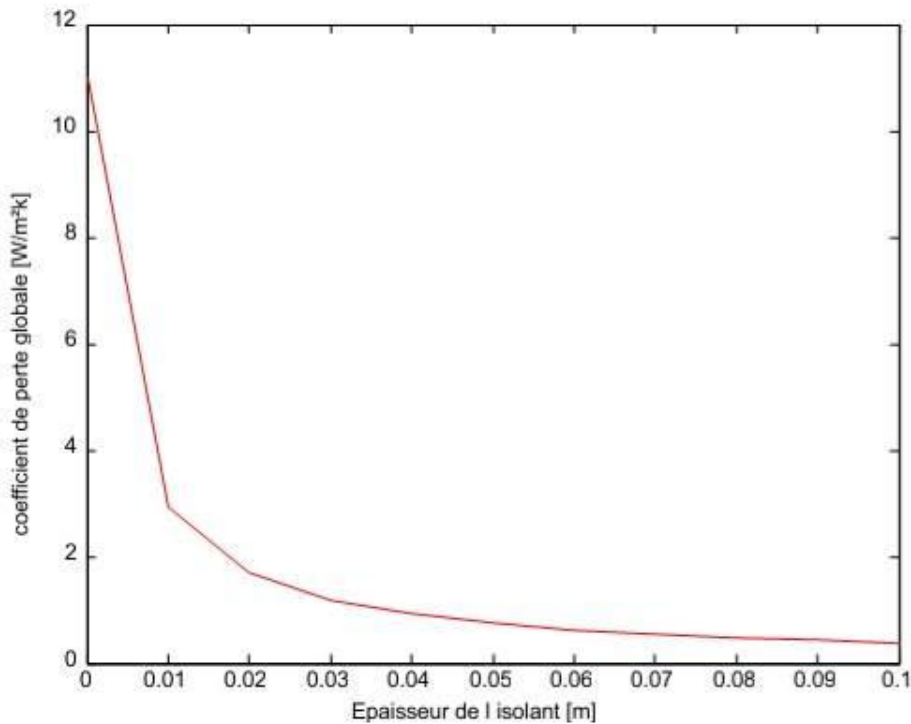


Figure 3 14 Le coefficient de pertes globales en fonction de l'épaisseur du liège

(La figure 3 14) représente les variations du coefficient de pertes globales (CPG) en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas du liège. On observe une diminution non linéaire du CPG avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant. Le CPG passe de 11 à 2.94 lorsque l'épaisseur de l'isolant augmente de 0 à 0.01 m. Ensuite, le CPG diminue de 2.94 à 0.74, mais à un rythme plus lent, lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0.01 à 0.05 m. Après cela, le CPG continue de diminuer avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant, mais à un rythme plus lent et constant.

D'après cette figure, nous pouvons conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant en liège contribue à réduire le coefficient de pertes globales (CPG). Plus l'épaisseur

de l'isolant est importante, plus le CPG est réduit, ce qui indique une meilleure performance d'isolation thermique. Cela signifie que l'épaisseur de l'isolant en liège joue un rôle crucial dans la réduction des pertes d'énergie.

Cependant, il est important de noter que la diminution du CPG devient plus lente à mesure que l'épaisseur de l'isolant augmente au-delà de 0.05 m. Cela suggère qu'il existe une limite où l'ajout supplémentaire d'épaisseur d'isolant en liège ne conduit pas à une réduction significative des pertes d'énergie.

Il est donc essentiel de trouver un équilibre entre l'épaisseur de l'isolant en liège et les performances thermiques souhaitées, en tenant compte des contraintes d'espace et des exigences spécifiques de l'application. Une épaisseur adéquate d'isolant en liège peut contribuer à réduire efficacement les pertes d'énergie et à améliorer l'efficacité énergétique du système.

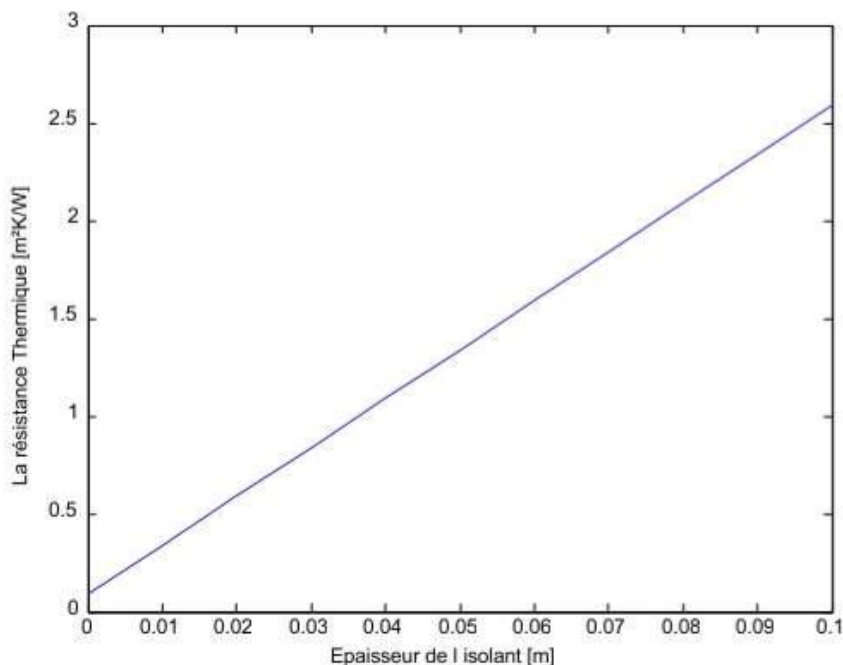


Figure 3 15 La résistance thermique en fonction de l'épaisseur du liège

(La figure 3 15) représente les variations de la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de l'isolant pour le cas du liège. On observe une augmentation croissante de la résistance thermique avec l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant. Lorsque l'épaisseur de l'isolant passe de 0 à 0.1 m, la résistance thermique augmente de 0.09 à 2.59.

D'après cette figure, nous pouvons conclure que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant en liège entraîne une augmentation significative de la résistance thermique. Plus l'épaisseur de l'isolant est grande, plus la résistance thermique est élevée, ce qui indique une meilleure capacité de l'isolant à résister à la transmission de chaleur.

Cela signifie que l'épaisseur de l'isolant en liège joue un rôle crucial dans l'amélioration des performances d'isolation thermique. Une épaisseur plus importante de l'isolant en liège permet de réduire les pertes de chaleur et d'améliorer l'efficacité énergétique du système.

Il est important de noter que l'augmentation de la résistance thermique devient moins significative à mesure que l'épaisseur de l'isolant en liège augmente au-delà de 0.1 m. Cela peut indiquer qu'il existe une limite où l'ajout supplémentaire d'épaisseur d'isolant ne conduit pas à une augmentation significative de la résistance thermique.

Ainsi, il est essentiel de trouver un équilibre entre l'épaisseur de l'isolant en liège et les performances thermiques souhaitées, en prenant en compte les contraintes d'espace et les exigences spécifiques de l'application. Une épaisseur adéquate d'isolant en liège permet d'améliorer l'isolation thermique et de réduire les pertes d'énergie.

3.7 Comparaison des résultats :

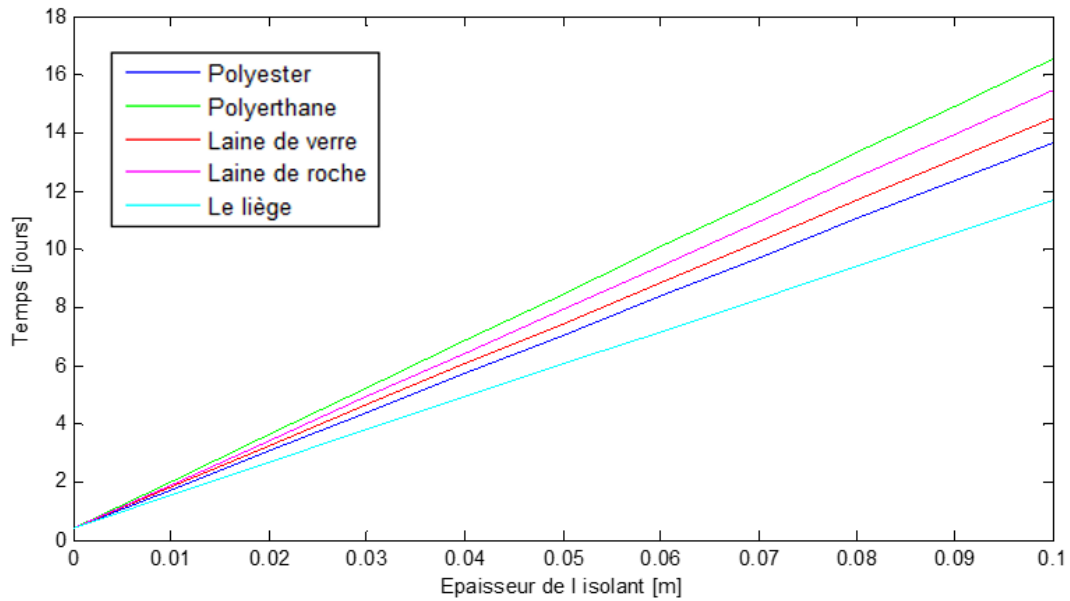


Figure 3 16 Comparaison des résultats des graphes du temps en fonction de l'épaisseur de tous les isolants étudié

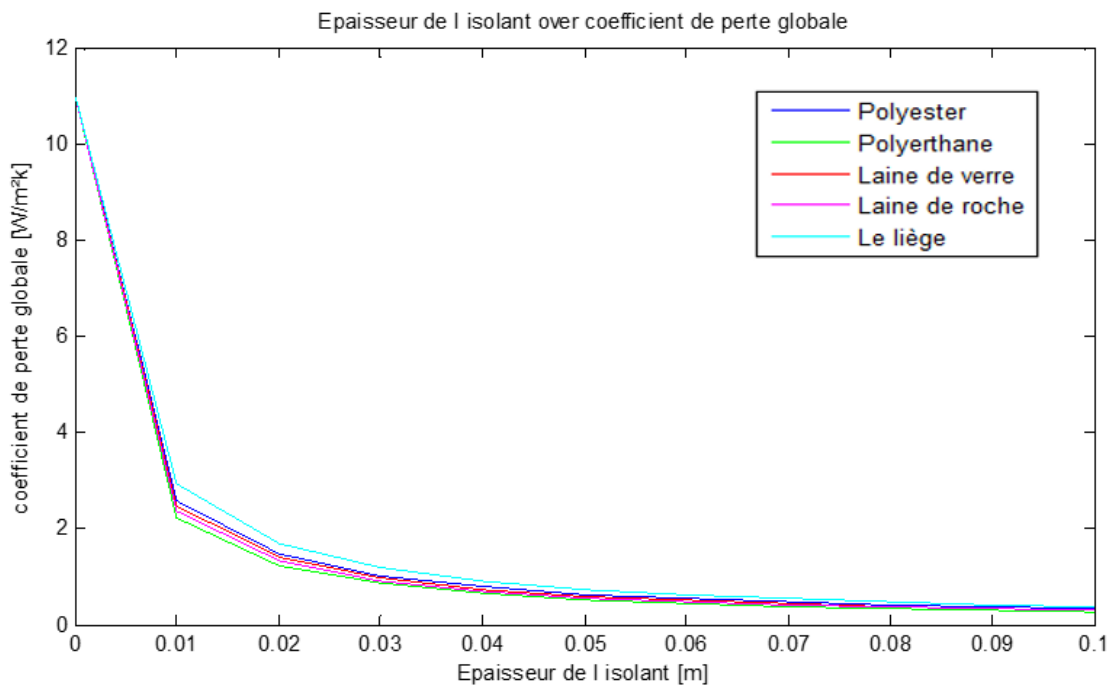


Figure 3 17 Comparaison des résultats de coefficient de perte globale l'épaisseur de tous les isolants étudiés

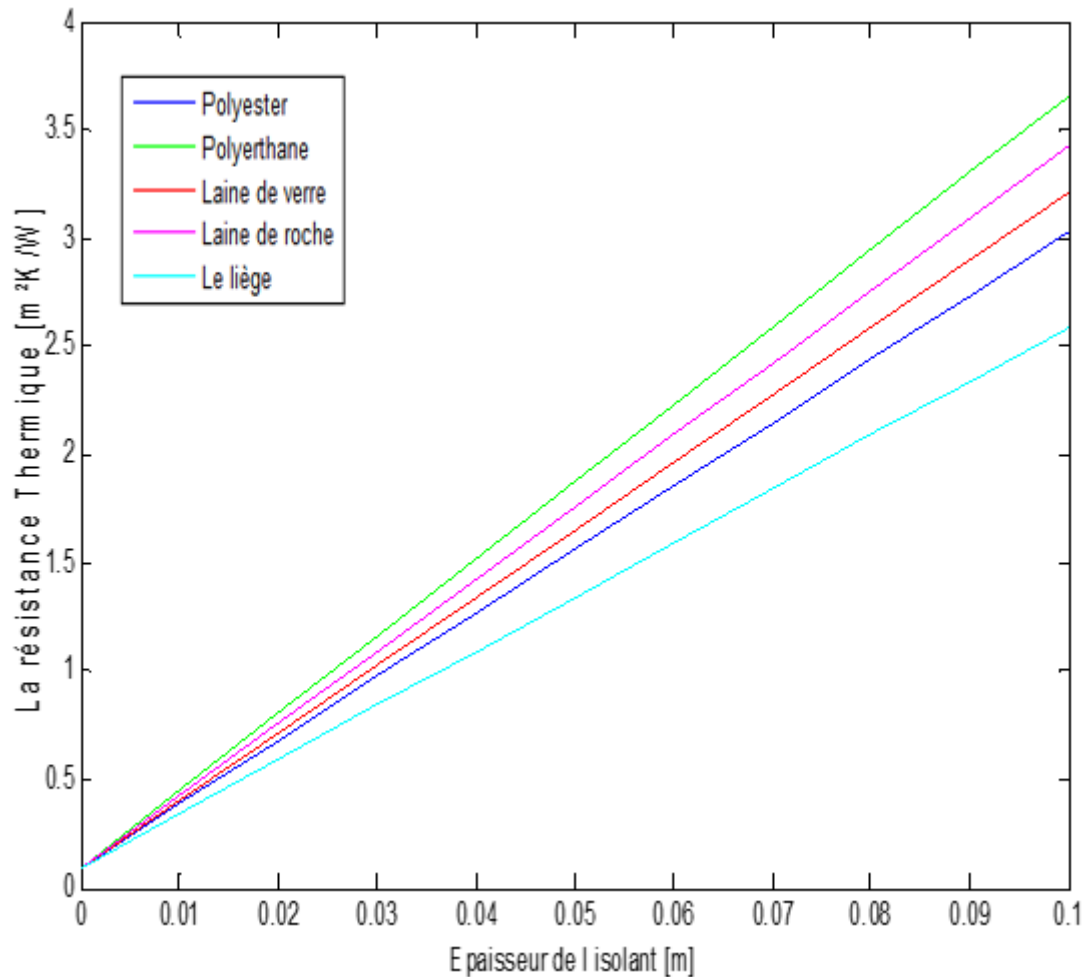


Figure 3 18 Comparaison de la résistance thermique en fonction des épaisseurs des isolants étudiés

En comparant les trois derniers graphiques (Figure 3 16, Figure 3 17 et Figure 3 18), on remarque que le liège est l'isolant le moins performant sur le plan technique car il a le plus court temps de refroidissement lors de la variation de l'épaisseur, le plus grand coefficient de perte globale de chaleur et la plus faible résistance thermique.

Ce pendant le polyuréthane se distingue comme l'isolant le plus performant sur le plan technique. En effet, il présente le plus long temps de refroidissement lors de la variation de l'épaisseur, le plus faible coefficient de perte globale et la plus grande résistance thermique parmi les isolants étudiés.

3.8 Analyse comparative des coûts des isolants :

Premièrement on vous met Le tableau (tableau 3. 1) qui représente le prix unitaire du m³ de chaque isolant étudié

Les isolants	Laine de verre	Laine de roche	Polyester	Polyuréthane	Le liège
Prix unitaire du m³ en DA	20000	19000	4500	32758	16875

Tableau 3. 1 Prix unitaire en m³ de chaque isolant

En regardant Ce tableau on remarque que le polyester est l'isolant le moins cher il coûte 4500Da le m³, ce pendant le polyuréthane est l'isolant le plus cher il coûte 32758 Da le m³.

Ensuite on vous met un tableau (tableau 3. 2) où on va comparer le coût des isolants en variant l'épaisseur.

Epaisseur en m	Volume de l'isolant en m ³	Laine de verre Prix en DA	Laine de roche Prix en DA	Le Polyester Prix en DA	Polyuréthane Prix en DA	Le Liégé Prix en DA
0.01	0.01607	321.4	305.33	72.31	526.43	271.18
0.02	0.03214	642.8	610.66	144.63	1052.86	542.36
0.03	0.04821	964.2	915.99	216.94	1379.13	813.54
0.04	0.06428	1285.6	1221.32	289.26	2105.72	1084.72
0.05	0.08035	1607	1526.65	361.57	2632.15	1355.9

Tableau 3. 2 Comparaison des coûts des isolants en variant l'épaisseur

En comparant les résultats obtenus dans (le tableau 3. 2) on remarque que le polyuréthane est l'isolant le plus cher, puis la laine de verre est en seconde position, ensuite en troisième position la laine de roche, en quatrième position on a le liège et en dernière position soit l'isolant qui coute le moins cher est le polyester.

3.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous nous sommes concentrés sur une analyse des résultats de notre étude des isolants dans les cuves de stockage thermique. À l'aide du logiciel MATLAB, nous avons mené des simulations pour évaluer les performances des différents isolants et déterminer celui qui est le plus efficace sur le plan technique et économique.

L'objectif principal de cette étude était de comparer les performances des isolants et d'évaluer l'efficacité énergétique des cuves de stockage thermique en fonction des isolants utilisés. Nous avons également réalisé une analyse comparative des coûts des isolants afin de prendre en compte les aspects économiques dans notre évaluation.

Dans la partie technique de notre étude, nous avons observé que le liège était l'isolant le moins performant. Il présente un temps de refroidissement plus court lors de la variation de l'épaisseur, un coefficient de perte globale de chaleur plus élevé et une résistance thermique plus faible. Suivi du polyester en quatrième position, en troisième position on retrouve la laine de verre en deuxième position on retrouve la laine de roche. En revanche en première position le polyuréthane se distingue comme l'isolant le plus performant, avec un temps de refroidissement plus long, un faible coefficient de perte globale et une grande résistance thermique parmi les isolants étudiés.

Dans le volet économique, en examinant nos résultats, nous avons constaté que le polyuréthane est l'isolant le plus coûteux, suivi de la laine de verre en deuxième position, de la laine de roche en troisième position, du liège en quatrième position, et enfin, le polyester est l'isolant le moins cher.

En conclusion, cette analyse des résultats obtenus nous permet de déterminer que le polyuréthane se distingue comme l'isolant le plus performant sur le plan technique, tandis que le polyester est l'isolant le plus abordable sur le plan économique.

Conclusion générale :

L'utilisation efficace des cuves de stockage d'eau revêt une importance capitale dans de nombreux domaines tels que l'approvisionnement en eau potable, l'industrie alimentaire, et bien d'autres. L'application d'isolants appropriés sur ces cuves peut jouer un rôle essentiel dans l'optimisation et la réduction des pertes d'énergie thermique.

Le présent mémoire se concentre sur une étude technico-économique des différents types d'isolants appliqués aux cuves de stockage d'eau. L'objectif de cette étude est d'évaluer les performances techniques et d'analyser les aspects économiques associés à l'utilisation de ces isolants.

L'analyse technique se focalisera sur les propriétés thermiques des isolants, telles que leur conductivité thermique, leur résistance à la chaleur, et leur épaisseur optimale. Différents types d'isolants, tels que les mousses de polyuréthane, les panneaux en polystyrène, et les isolants en laine minérale, seront étudiés et comparés afin de déterminer leur efficacité dans la réduction des pertes d'énergie thermique.

Parallèlement, l'analyse économique évaluera les coûts d'installation des différents isolants, les économies d'énergie potentielles, et les avantages financiers résultant de leur utilisation, les résultats de cette étude permettront de fournir des informations précieuses, ces informations aident à choisir l'isolant le plus approprié pour leurs cuves de stockage d'eau.

Dans la partie technique de notre étude, nous avons observé que le liège était l'isolant le moins performant et polyuréthane est le plus performant et dans la partie économique nous avons constaté que le polyuréthane est le plus cher et l'isolant le moins cher est le polyester.

En conclusion, cette étude technico-économique fournira des informations essentielles sur les performances techniques et les aspects économiques des isolants appliqués aux cuves de stockage d'eau. Ces connaissances permettront d'orienter les décisions des professionnels en matière de choix d'isolants, en favorisant l'efficacité énergétique et la réduction des pertes thermiques.

Bibliographie

- [1] G. N. Tiwari, S. K. Tyagi, & M. S. Sodha. "Solar Thermal Energy: A Review." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010.
- [2] S. A. Kalogirou. "Solar thermal collectors and applications." Progress in Energy and Combustion Science, 2004.
- [3] Y. Tripanagnostopoulos, G. N. Angelopoulos, & S. A. Kalogirou. "Solar energy for heating and cooling applications." Energy Conversion and Management, 2000.
- [4] D. Yogi Goswami. "Flat-plate solar collectors and their applications." Solar Energy, 2005.
- [5] G. N. Tiwari, H. Singh, & V. P. Sharma. "Vacuum tube solar collectors." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2006.
- [6] R. P. Saini, M. Sharma, & A. K. Singh. "Concentrating solar power: Technology, potential and policy." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011.
- [7] I. Dincer & M. A. Rosen. "Thermal energy storage systems and applications." Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 2011.
- [8] M. F. Ashby & S. C. Wong. "Thermal insulation materials for energy conservation in buildings and sustainable development." Energy and Buildings, 1998.
- [9] X. Li & R. Wang. "Energy Balance Analysis of Thermal Storage Systems." Applied Thermal Engineering, 2019.
- [10] K. Srinivasan & T. A. Reddy. "Energy Analysis of Thermal Energy Storage Systems: A Review." Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.
- [11] K. El Harrouni, H. Mellouli, A. El Ghzizal, & O. Zegaoui. "Thermal Energy Storage Systems: A Review of Energy Analysis Methods." Energy Reports, 2021.
- [12] S. Kalogirou. Solar energy engineering: Processes and systems. Academic Press, 2009.