

UNIVERSITE MOHAMMED VI POLYTECHNIQUE

Année universitaire: 2024 / 2025



Filière : Génie des Procédés Industriels et Digitalisation

Rapport du projet tutoré :

« BRTE: BOUCLE DE RECYCLAGE THERMIQUE D'EAU »

Réalisé par :

BAKRI ILYAS

BELFAIDA BARAE

KHALED SAAD

TAYIBI JAD

Encadré par : Mme. LAALAM

A. Ingénierie du système3
I PFMS – OBJECTIFS – BESOINS
II. Cycle de vie7
III. Les diagrammes de contextes11
IV. CAS D'UTILISATION DU SYSTÈME16
V. SCENARIOS
VI. Les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles19
B. Conception du système22
I. Schéma22
II. Choix du matériel24
C. Simulations29
Conclusion44

INTRODUCTION

L'optimisation de la gestion thermique de l'eau représente un enjeu majeur dans la quête d'une utilisation plus efficace des ressources énergétiques. Dans cette optique, notre projet porte sur la conception d'une boucle de recyclage thermique permettant de récupérer et de réutiliser la chaleur contenue dans les eaux usées, afin de limiter les pertes énergétiques et d'améliorer la performance du système.

Cette étude repose sur une approche analytique qui prend en compte les échanges thermiques, les paramètres hydrauliques et les principes de conservation de l'énergie. Nous avons ainsi mené une modélisation approfondie du processus, évalué les performances théoriques du système et analysé les gains énergétiques potentiels.

Toutefois, en raison de l'absence de budget alloué à la réalisation expérimentale, nous avons été contraints de nous limiter à une approche théorique. Ce travail s'est donc focalisé sur la conception, la simulation et l'évaluation des performances du système en nous basant sur des modèles existants et des données disponibles.

Grâce à cette méthodologie, notre projet explore les solutions possibles pour améliorer l'efficacité thermique du cycle de l'eau et ouvre des perspectives intéressantes pour une meilleure gestion énergétique.

A. INGÉNIERIE DU SYSTÈME:

L'eau chaude est un élément essentiel dans de nombreux usages domestiques et industriels, nécessitant des solutions techniques fiables et performantes pour son réchauffement. Ce projet propose la conception et le développement d'un système innovant capable de fournir de l'eau chaude de manière optimale, en intégrant des technologies modernes et durables.

I. PFMS - OBJECTIFS - BESOINS:

4 Problème

Les systèmes de chauffage solaire classiques présentent souvent une inefficacité énergétique liée à la perte d'eau froide résiduelle dans les tuyaux. Lorsqu'une vanne d'eau chaude est ouverte, l'eau froide contenue dans les tuyaux est généralement gaspillée avant que l'eau chaude n'arrive, entraînant un gaspillage des ressources en eau et en énergie.

Comment concevoir un système intelligent capable de recycler cette eau froide, de la réchauffer et de la réutiliser efficacement sans perte ?

- 1. **Perte d'eau froide :** Dans les systèmes traditionnels, une grande quantité d'eau est gaspillée en attendant qu'elle chauffe.
- 2. **Irrégularité de la température :** Difficulté à maintenir une température constante de l'eau lors de l'écoulement.
- 3. **Temps de réponse :** Les systèmes actuels peuvent être lents à chauffer l'eau, ce qui affecte l'expérience utilisateur.

∔ Finalité (F)

Optimiser l'utilisation de l'eau et de l'énergie dans les systèmes de chauffage solaire en recyclant l'eau froide résiduelle dans les tuyaux pour la réchauffer et la rendre immédiatement disponible en tant qu'eau chaude.

♣ Mission (M)

- ❖ Développer un système automatisé de réchauffement d'eau :
- * Réduire les pertes d'eau et d'énergie.
- ❖ Assurer un fonctionnement automatique et intelligent pour améliorer le confort de l'utilisateur.
- ❖ Contribuer à une gestion durable des ressources en eau et en énergie.

♣ Système (S)

> BTRE: BOUCLE DE RECYCLAGE THERMIQUE D'EAU

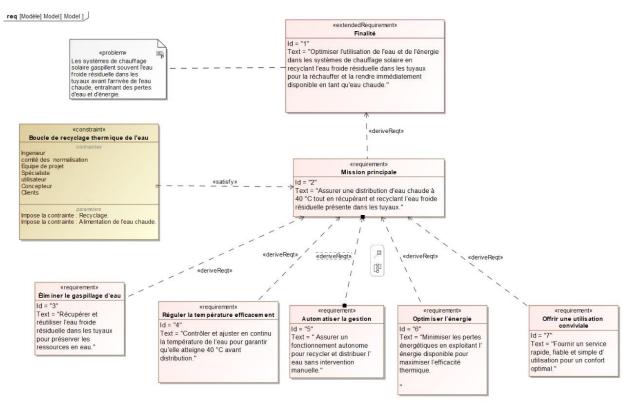
Use of the Proof of the Proof

- > Éviter tout gaspillage d'eau
- Lorsqu'une demande d'eau chaude est effectuée, l'eau résiduelle froide ou tiède dans les tuyaux doit être intégralement récupérée et réutilisée pour préserver les ressources en eau.
 - > Réguler efficacement la température de l'eau :
- ❖ Le système doit mesurer en continu la température de l'eau et gérer son trajet pour qu'elle atteigne une température optimale avant de parvenir à l'utilisateur.
 - > Optimiser la gestion énergétique :
- ❖ Le système doit fonctionner de manière économe, en exploitant l'énergie disponible pour minimiser les pertes et maximiser l'efficacité thermique, sans surconsommation inutile.
 - > Automatiser le processus de gestion d'eau :
- ❖ Le fonctionnement du système doit être entièrement autonome, sans nécessiter une intervention manuelle. Cela inclut la prise de décision sur le recyclage ou la distribution de l'eau.

- > Garantir une utilisation conviviale :
- ❖ Le système doit offrir un service transparent et confortable à l'utilisateur, avec un temps de réponse rapide et un résultat fiable, sans complexité d'utilisation.

♣ Diagramme PFMS :

Le projet vise à concevoir un système intelligent de réchauffement d'eau pour les chauffages solaires (BTRE : BOUCLE DE RECYCLAGE THERMIQUE D'EAU), afin de résoudre les problèmes de gaspillage d'eau froide, d'irrégularité de température et de lenteur du chauffage. L'objectif est de recycler l'eau froide résiduelle présente dans les tuyaux, de la réchauffer et de la rendre immédiatement disponible, optimisant ainsi l'utilisation des ressources en eau et en énergie. Le système doit réguler efficacement la température, fonctionner de manière autonome et économe en énergie, et garantir une expérience utilisateur optimale, tout en contribuant à une gestion durable des ressources





4 Tableau de besoins :

C'est un outil utilisé pour identifier et organiser les besoins, exigences ou attentes spécifiques d'un projet, d'un produit ou d'un système. Il présente de manière structurée les différentes ressources, compétences, matériaux, technologies et autres éléments nécessaires pour réaliser un projet avec succès.

		Need			
ID	Need Description	Stakeholder(s)	Author	Priority	Category
N_001	Récupération de l'eau froide	Utilisateur	Equipe de projet	trés haute	fonctionnelle
N_002	Réchauffement rapide	Utilisateur	Equipe de projet	haute	fonctionnelle
N_003	Optimisation énergétique	Client	Equipe de projet	trés haute	fonctionnelle
N_004	Automatisation du processus	Client	Equipe de projet	trés haute	fonctionnelle
N_005	Temps de réponse rapide	Spécialiste	Equipe de projet	haute	fonctionnelle
N_006	Gestion durable des ressources	Utilisateur	Equipe de projet	haute	environemental
N_007	Convivialité	Utilisateur	Equipe de projet	trés haute	fonctionnelle
N_008	Durabilité du système	Ingénieur	Equipe de projet	haute	fonctionnelle
N_009	Sécurité	Utilisateur	Equipe de projet	trés haute	sécurité
N_010	Evaluation périodique du systéme	Téchnicien	Equipe de projet	moyenne	fonctionnelle
N_011	Garantire la rantabilité	Client	Equipe de projet	moyenne	économique
N_012	Docummenter de manière facile	Concepteur	Equipe de projet	trés haute	decomentation
N_013	Evaluer les risques liée au brulures	Ingénieur	Equipe de projet	trés haute	securité
N_014	Respect aux normes environementals	Spécialiste	Equipe de projet	haute	legale

II. CÝCLE DE VIE

Selon les **normes ISO** relatives à la gestion du cycle de vie des systèmes, notamment l'**ISO/IEC/IEEE 15288**, le cycle de vie d'un système d'ingénierie est structuré en plusieurs étapes et processus pour gérer efficacement les systèmes complexes. Ces étapes couvrent la durée de vie complète, de l'identification des besoins à la fin de vie

1) ANALYSE DU CYCLE DE VIE DU SYSTÈME:

L'analyse du cycle de vie (ACV) d'un système est une méthode structurée utilisée pour évaluer les impacts d'un système tout au long de son existence, depuis la phase de conception jusqu'à sa fin de vie. Elle est largement utilisée pour optimiser la performance, minimiser les impacts environnementaux et prendre des décisions éclairées.

Les Etude et Développement :

Analyse des exigences :

Déterminer et comprendre les besoins fonctionnels (ce que le système doit accomplir) et non fonctionnels (contraintes de performance, sécurité, ergonomie, etc.) liés au système.

Recherche:

Explorer les technologies disponibles, étudier les meilleures pratiques du secteur, et analyser des solutions comparables déjà mises en œuvre sur le marché.

Conception:

Développement approfondi de l'architecture du système, incluant une description précise des composants, des connexions, et des interfaces nécessaires pour répondre aux besoins identifiés.

Sélection des composants :

Choix judicieux des équipements matériels et des solutions logicielles les plus adaptés pour assurer l'efficacité, la durabilité et la compatibilité du système.

Modélisation:

Utilisation d'outils de simulation et de modélisation pour visualiser le fonctionnement global et les interactions internes du système avant sa mise en œuvre

4 Assemblage

Fabrication:

Production des composants matériels essentiels à la construction du système, conformément aux spécifications techniques et aux exigences de qualité.

Assemblage des composants matériels :

Construction physique du système en assemblant les divers composants matériels fabriqués, en veillant à leur interconnexion et à leur bon fonctionnement.



Déploiement :

Installation du système dans l'environnement de production prévu, en veillant à ce qu'il soit configuré correctement pour fonctionner selon les attentes et les spécifications.

Maintenance:

Gestion continue des mises à jour, correctifs et améliorations nécessaires pour assurer la pérennité du système, en ajustant ses composants selon les évolutions et les besoins.

Surveillance:

Suivi régulier des performances du système pour détecter et résoudre rapidement les incidents ou dysfonctionnements, afin d'assurer son bon fonctionnement à long terme

4 Fin de vie :

Déclassement des composants obsolètes ou non fonctionnels :

Identification et retrait des éléments du système qui sont obsolètes, endommagés ou ne répondent plus aux exigences de performance.

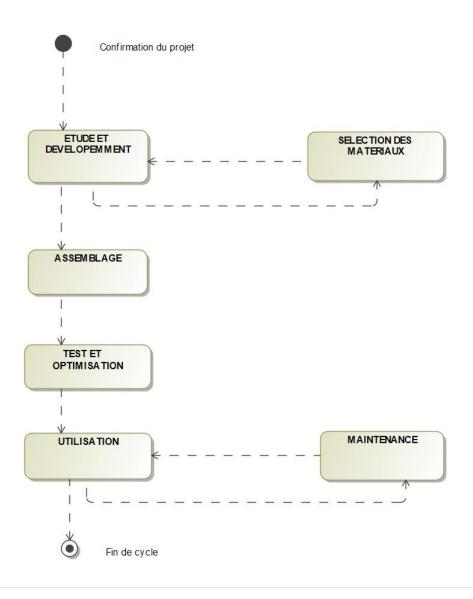
Démontage des composants :

Démontage des composants du système en suivant les procédures de sécurité pour minimiser les risques et garantir un traitement adéquat des matériaux.

Élimination et recyclage des composants :

Élimination des composants de manière responsable, en respectant les normes environnementales en vigueur pour assurer leur recyclage ou leur élimination appropriée.

2) DIAGRAMME DU CYCLE DE VIE



III. LES DIAGRAMES DE CONTEXTES:

Tableau de croisement entre contextes et parties prenantes

Dans le cadre du projet de BOUCLE DE RECYCLAGE THERMIQUE D'EAU les parties prenantes jouent un rôle clé à chaque étape du cycle de vie. Chacune apporte des compétences, des ressources ou des perspectives spécifiques, favorisant une collaboration essentielle pour atteindre les objectifs économiques, environnementaux et sociaux du projet.

Une gestion efficace de ces relations garantit l'alignement des intérêts et la réussite du système tout en répondant aux enjeux durables.

Tableau des parties prenantes du projet de réchauffement d'eau sans gaspillage

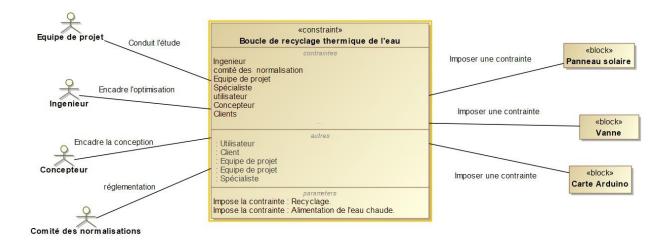
	Etude & developpement	Assemblage	Test et optimisation	Utilisation
Ingenieur	X		Χ	
Concepteur	X			
Spécialiste				Χ
Equipe de projet	Χ	Χ	Χ	
Utilisateur				Χ
Client				Χ
Comité des normalisations	X			
Panneau solaire	X	X	Χ	Χ
Vanne	Χ	Χ	X	Χ
Carte Arduino	X	X	Χ	Χ

♣ Diagramme de contexte

1. Phase d'étude et développement

Le diagramme de contexte des phases de recherche et de conception constitue une base essentielle qui encadre notre quête de solutions innovantes dans le domaine du réchauffement d'eau sans gaspillage énergétique. Il illustre un écosystème d'idées, de plans et d'interactions où les éléments clés de l'environnement de recherche sont identifiés, tels que les principaux acteurs impliqués, les ressources disponibles, et les variables influençant la démarche.

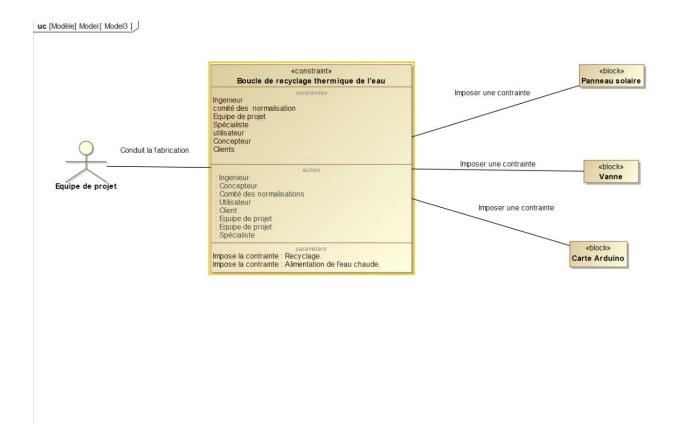
Au cœur de ce schéma, les concepteurs et ingénieurs collaborent en s'appuyant sur des outils de conception avancés, des logiciels de modélisation thermique et énergétique, ainsi que des ressources documentaires pour définir les spécifications techniques détaillées du système.



2.Phase d'assemblage

Dans la phase d'assemblage, le diagramme de contexte met en lumière la coordination complexe entre les équipes d'assemblage, les composants matériels et les outils spécialisés interagissent directement avec les pièces physiques du système de réchauffement d'eau sans gaspillage énergétique, en utilisant des équipements et des techniques de pointe.

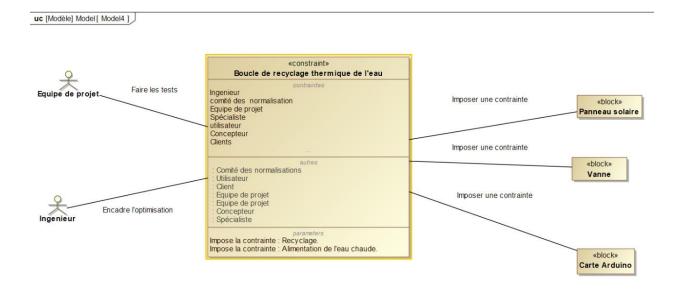
Ce schéma souligne l'importance d'une communication précise entre les membres d'équipe de projet, tout en mettant l'accent sur la logistique et la synchronisation, éléments essentiels pour garantir le succès de cette étape cruciale du projet.



3. Phase de test et optimisation

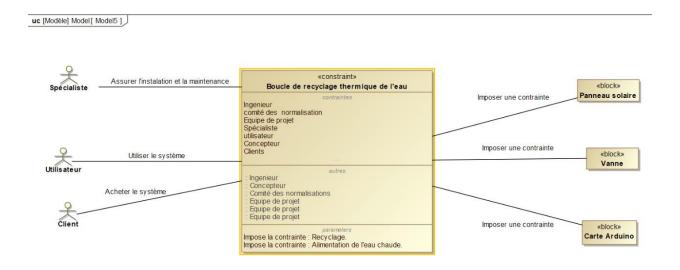
Le diagramme de contexte de la phase de test et de validation illustre le réseau complexe de processus visant à garantir la qualité et la performance du système. Les ingénieurs de test utilisent des bancs d'essai avancés, des simulateurs, et des instruments de mesure de haute précision pour analyser le fonctionnement du système dans diverses conditions.

Ce schéma met en lumière les flux d'informations critiques entre les différentes parties prenantes, tout en soulignant l'importance de tests rigoureux pour garantir la fiabilité, la sécurité et l'efficacité du système.



4. Phase d'utilisation

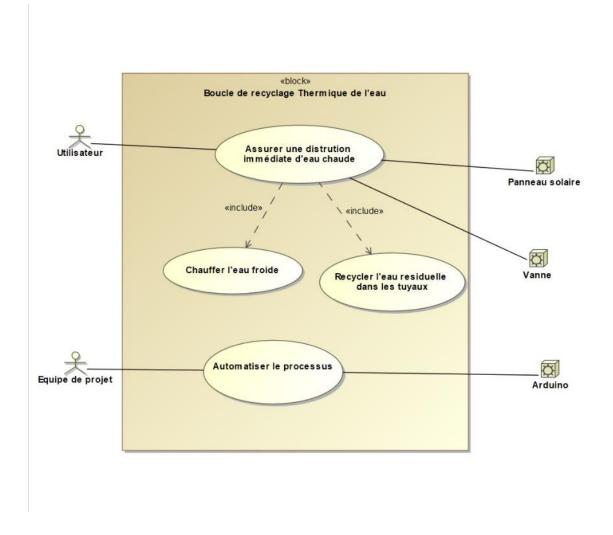
Pendant la phase d'utilisation du projet de réchauffement d'eau sans gaspillage énergétique, le diagramme de contexte met en lumière les interconnexions entre le système et son environnement opérationnel. Les principaux éléments de ce diagramme incluent le système de réchauffement d'eau, les sources d'énergie utilisées (comme l'énergie solaire ou une autre source renouvelable), les dispositifs de stockage et de distribution d'eau chauffée, ainsi que les acteurs externes tels que les utilisateurs finaux et les infrastructures énergétiques existantes.



IV. CAS D'UTILISATION DU SYSTÈME:

Le diagramme de cas d'utilisation pour le projet de BOUCLE DE RECYCLAGE THERMIQUE D'EAU décrit les interactions entre les différents utilisateurs et le système. Les acteurs principaux, tels que les utilisateurs finaux, les techniciens de maintenance et les administrateurs, sont définis, chacun ayant un rôle précis dans l'utilisation et la gestion du système.

Les cas d'utilisation détaillent les actions et fonctionnalités disponibles, de l'activation du chauffage de l'eau à la surveillance en temps réel de la température et de l'optimisation de la consommation d'énergie. Ce diagramme souligne la simplicité du système, permettant une compréhension claire des interactions entre les utilisateurs et le fonctionnement du dispositif.



SCENARIOS

Les scénarios d'utilisation décrivent des situations spécifiques dans lesquelles notre système de boucle thermique d'eau alimenté par des panneaux solaires peut être mis en œuvre de manière efficace.

Cas d'utilisation 1 :

Nom	Assurer une distribution Immediate de l'eau chaude
Auteur	Saad - Ilyas
Acteurs	- Panneau solaire - Vanne
Utilisateurs	Utilisateur
Precondition	 La température de l'eau est inférieure à 40 °C. La vanne est ouverte pour permettre la circulation de l'eau.
Les principeaux scenarios	Détecter la température de l'eau : Utiliser un capteur pour mesurer la température actuelle de l'eau. Comparer la température mesurée à la température souhaitée : Vérifier si la température de l'eau correspond à la valeur désirée. Démarrer la pompe : Activer la pompe pour recycler l'eau résiduelle qui stagne dans les tuyaux. Réchauffer l'eau à l'aide des panneaux solaires : Transférer la chaleur captée par les panneaux solaires à l'eau jusqu'à ce que la température souhaitée soit atteinte. Permettre à l'eau de passer par une vanne intérieure : Ouvrir la vanne pour laisser passer l'eau chauffée vers l'utilisateur ou le réservoir.
Autres scenarios	La température de l'eau est jugée conforme à la valeur souhaitée, autoriser son passage en ouvrant la vanne et en permettant à l'eau de circuler vers son point d'utilisation.
Post-condition	L'utilisateur reçoit directement de l'eau chauffée à la température souhaitée.

Cas d'utilisation 2:

Nom	Automatiser le Processus
Auteur	Barae – Jad
Acteurs	- Carte Arduino
Utilisateurs	Utilisateur
Precondition	 Les capteurs sont correctement calibrés pour assurer une mesure précise. Une connectivité fiable est établie entre les capteurs et l'unité de traitement des données. Les données collectées par les capteurs sont brutes et non traitées.
Les principeaux scenarios	Détection de la température de l'eau : - Les capteurs mesurent en temps réel la température de l'eau dans les tuyaux. - Les données mesurées sont envoyées à l'unité de traitement. Comparaison avec la température souhaitée : - L'unité de traitement analyse les données reçues. - Si la température est inférieure à la valeur définie (par exemple, 40 °C). Transmettre un signal à la pompe pour activer son fonctionnement
Autres scenarios	
Post-condition	Données traitées: Les informations collectées par les capteurs sont analysées Ordre envoyé: Un signal est transmis aux composants du pour exécuter les actions nécessaires Système automatisé: Toutes les opérations, depuis la détection des données jusqu'à l'exécution des actions, sont gérées de manière autonome

V.LES EXIGENCES FONCTIONNELLES ET NON FONCTIONNELLES

1. Diagramme des exigences :

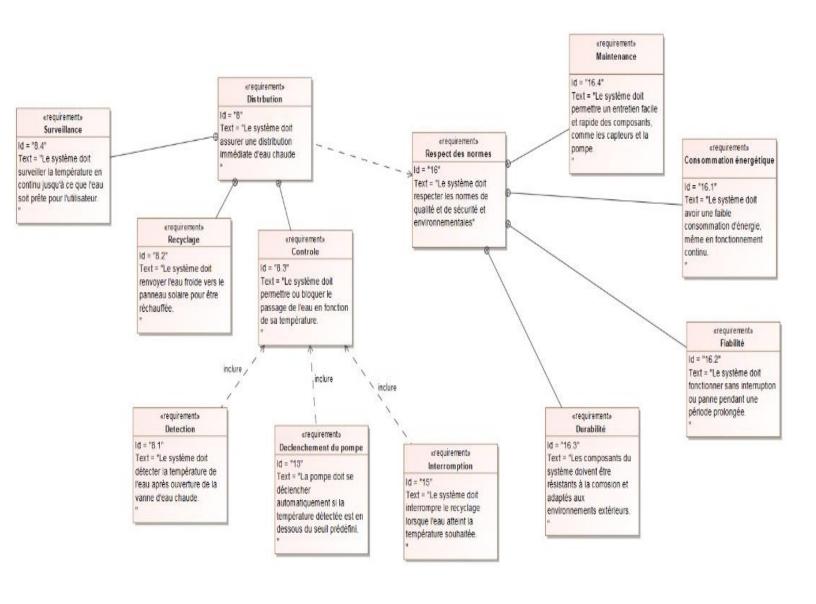


Tableau des exigences fonctionnelles :

REFID	Nom	Description	Maturité	Type de vérification	Complexité
1	Détection de température	Le système doit détecter la température de l'eau après ouverture de la vanne d'eau chaude.	En cours d'investigation	Test	Moyenne
2	Recyclage de l'eau froide	Le système doit renvoyer l'eau froide vers le panneau solaire pour être réchauffée.	En cours de développement	Test	Moyenne
3	Contrôle de circulation	Le système doit permettre ou bloquer le passage de l'eau en fonction de sa température.	En cours d'investigation	Simulation	Haute
4	Déclenchement de la pompe	La pompe doit se déclencher automatiquement si la température détectée est en dessous du seuil prédéfini.	En cours de développement	Test	Moyenne
5	Surveillance en continu	Le système doit surveiller la température en continu jusqu'à ce que l'eau soit prête pour l'utilisateur.	En cours d'investigation	Simulation	Haute
6	Interruption automatique	Le système doit interrompre le recyclage lorsque l'eau atteint la température souhaitée.	En cours d'investigation	Test	Moyenne

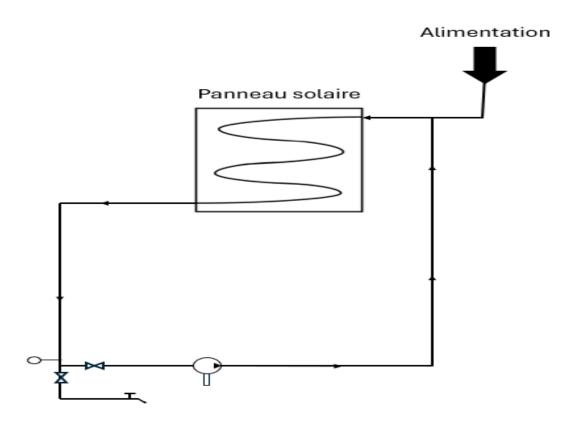
Tableau des exigences non fonctionnelles :

REF ID	Nom	Description	Maturité	Type de vérification	Complexité
7	Respect des normes	Le système doit respecter les normes de qualité et de sécurité en vigueur pour le recyclage de l'eau.	En cours d'investigation	Inspection	Haute
8	Consommation énergétique	Le système doit avoir une faible consommation d'énergie, même en fonctionnement continu.	En cours de développement	Simulation	Moyenne
9	Fiabilité	Le système doit fonctionner sans interruption ou panne pendant une période prolongée.	En cours d'investigation	Test	Haute
10	Durabilité	Les composants du système doivent être résistants à la corrosion et adaptés aux environnements extérieurs.	En cours de développement	Inspection	Moyenne
11	Temps de réponse	Le système doit réagir rapidement aux changements de température et ajuster les flux en moins de 5 secondes.	En cours d'investigation	Test	Moyenne
12	Maintenance	Le système doit permettre un entretien facile et rapide des composants, comme les capteurs et la pompe.	En cours d'investigation	Inspection	Faible

B.CONCEPTION DU SYSTÈME:

I. SCHÉMA:

Le schéma présenté illustre un système de chauffage de l'eau par énergie solaire, conçu pour récupérer et valoriser la chaleur du soleil afin d'optimiser la consommation énergétique. Ce circuit intègre un panneau solaire thermique, une pompe électrique, ainsi que des capteurs et vannes de régulation permettant de contrôler le débit et la température de l'eau. L'objectif de ce système est d'assurer une circulation efficace de l'eau chauffée, tout en maintenant une gestion automatisée et optimisée du processus. Ce dispositif constitue une solution durable et écoénergétique, adaptée aussi bien aux usages domestiques qu'industriels.



9	Pompe éléctrique
M	Vanne éléctrique
<u> </u>	Captaur de temperature
エ	Vanne avec button poussoir

II. CHOIX DU MATÉRIEL:

1) Panneau solaire avec un serpentin de chauffage

• L'eau traverse un échangeur thermique à l'intérieur du panneau solaire, où elle est chauffée par le rayonnement solaire.

Spécifications : $T(sortie) = 50 \, ^{\circ}C$, $P = 1 \, bar$, $D(sortie) = 2.5 \, cm$.



2) Pompe électrique

• La pompe électrique (Pompe centrifuge à roue ouverte) est placée après le panneau solaire pour assurer la circulation de l'eau froide résiduelle dans les tuyaux.

Spécifications : $\Delta P = 3 \text{ bar }$, U = 220 v.



3) Vanne électrique

• Une vanne électrique est située sur la branche de retour, permettant de contrôler automatiquement l'écoulement du fluide selon certaines conditions, contrôlée par une carte Arduino. Si la T < 40 °C la vanne associée à la sortie est fermée et la vanne associée à la pompe est ouverte pour recycler l'eau froide et vice versa.

Spécifications : 2 vannes, D = 2.5 cm.



4) Capteur de température

• Placé près de la vanne, le capteur de température surveille la température de l'eau afin d'assurer un fonctionnement optimal du système et d'éviter les pertes de l'eau froide en le recyclant vers le panneau solaire.

Spécifications : Capteur Immergé dans l'eau, marge d'utilisation -40°C à $+110^{\circ}\mathrm{C}$



5) Vanne avec bouton poussoir

• Une vanne manuelle avec bouton poussoir est positionnée en fin de circuit, permettant de libérer ou stopper l'écoulement de l'eau et activer le système.

Spécifications : D = 25 mm, bouton poussoir lié.



6) Carte Arduino Uno

• La carte Arduino Uno joue un rôle central dans le contrôle et l'automatisation du système. Grâce à son microcontrôleur ATmega328P, elle permet de gérer les différents composants du circuit en traitant les signaux des capteurs et en commandant les actionneurs.



7) Tuyaux PVC

• Les tuyaux en PVC assurent le transport du fluide à travers le système en reliant les différents composants, notamment l'alimentation en eau, le panneau solaire thermique, la pompe électrique et les vannes de régulation.

Spécifications : D = 25 mm, L = 20 m



Programme de la carte ARDUINO:

```
code
```

```
const int buttonPin = 2;
const int tempSensorPin = A0;
const int vannelPin = 3;
const int vanne2Pin = 4;
const int pompePin = 5;
void setup() {
   pinMode (buttonPin, INPUT PULLUP); // Bouton poussoir avec rappel
   pinMode (vannelPin, OUTPUT);
   pinMode (vanne2Pin, OUTPUT);
   pinMode (pompePin, OUTPUT);
    Serial.begin (9600);
void loop() {
    int buttonState = digitalRead(buttonPin);
    int tempValue = analogRead(tempSensorPin);
    float temperature = (tempValue / 1023.0) * 500.0; // Conversion simplifiée pour un capteur analogique type LM35
    Serial.print("Température: ");
    Serial.print(temperature);
    Serial.println(" °C");
    if (buttonState == LOW) { // Bouton enfoncé (système activé)
        if (temperature >= 40.0) {
            digitalWrite (vannelPin, HIGH);
            digitalWrite (vanne2Pin, LOW);
            digitalWrite(pompePin, LOW);
        } else {
            digitalWrite(vannelPin, LOW);
            digitalWrite(vanne2Pin, HIGH);
            digitalWrite(pompePin, HIGH);
        }
    } else { // Bouton relâché (système arrêté)
        digitalWrite (vannelPin, LOW);
        digitalWrite(vanne2Pin, LOW);
        digitalWrite (pompePin, LOW);
```

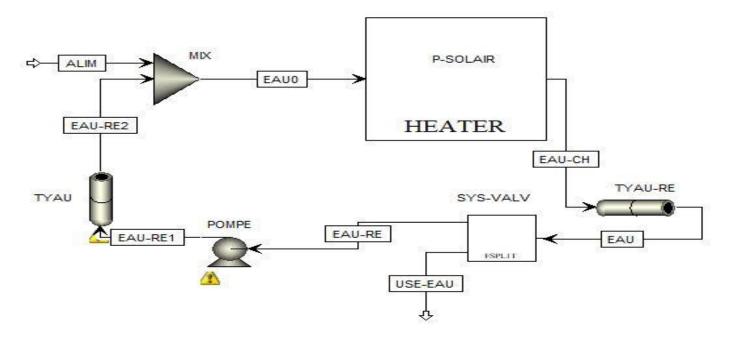
C. SIMULATIONS:

En raison de l'absence de budget alloué à la réalisation expérimentale, nous avons été contraints de nous limiter à une approche théorique pour le projet de recyclage de l'eau.

Cette contrainte nous a amenés à privilégier la simulation et l'évaluation des performances du système à l'aide du logiciel ASPEN. Nous avons ainsi pu modéliser et analyser le fonctionnement du système de traitement et de recyclage de l'eau en utilisant des modèles existants et des données disponibles dans la littérature.

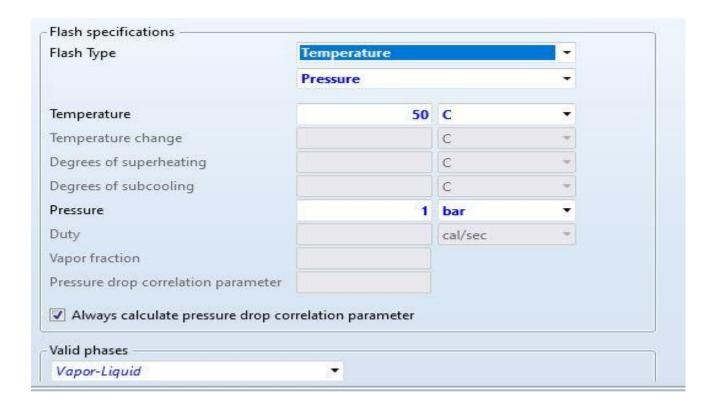
Bien que cette approche ne nous ait pas permis de valider expérimentalement les résultats, elle a néanmoins fourni des informations précieuses sur les performances du système dans différents scénarios.

MAIN FLOWSHEET:



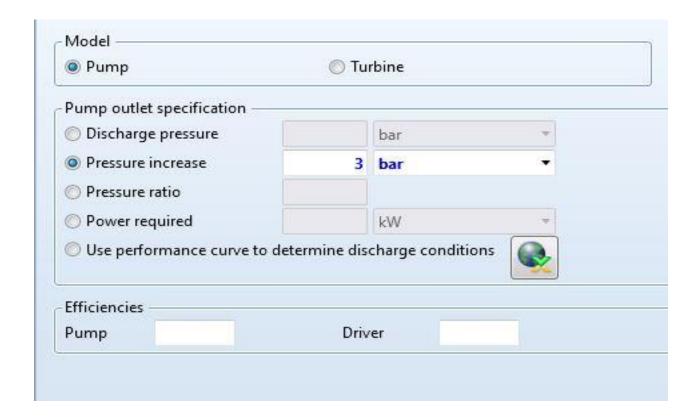
Le Flowsheet représente un système intelligent de réchauffement d'eau pour les chauffages solaires, conçu pour recycler l'eau froide résiduelle tout en tenant compte des pertes énergétiques dans les tuyaux, qui empêchent l'eau recyclée d'atteindre la température adéquate de 40 °C. Le système fonctionne en collectant l'eau froide qui reste dans les tuyaux après utilisation, une eau qui a perdu une partie de sa chaleur en raison des déperditions thermiques. Cette eau est ensuite réintroduite dans le circuit, où elle est mélangée avec de l'eau de la source d'alimentation et réchauffée pour compenser les pertes de température. Le processus de recyclage est modélisé pour évaluer son impact sur la température finale de l'eau, en analysant comment les pertes énergétiques influencent la capacité du système à maintenir une chaleur constante. L'eau réchauffée est ensuite distribuée aux points d'utilisation, avec des mécanismes de régulation pour s'assurer que la température se rapproche le plus possible de 40 °C, malgré les contraintes liées aux pertes thermiques. Ce système combine ainsi recyclage, réchauffement et distribution intelligente de l'eau, tout en intégrant une analyse des pertes énergétiques pour optimiser l'efficacité globale

♣ PANNEAU SOLAIRE:



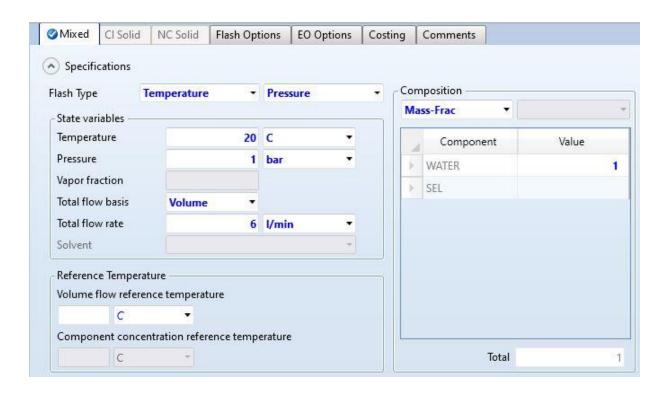
Le flash modélisé dans le Flowsheet représente un composant clé pour simuler les effets thermiques d'un panneau solaire (représenté par un heater) sur un fluide, en prenant en compte le changement de température, avec une température de sortie de 50 °C .

♣ POMPE:



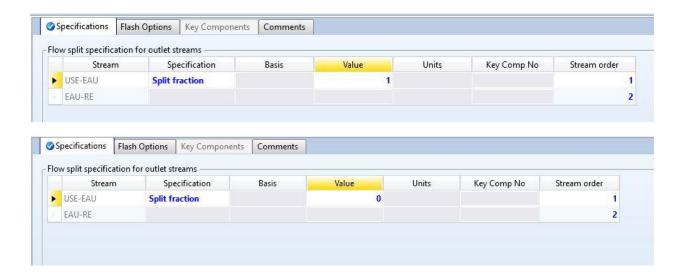
Augmente la pression de 1 bar à 3 bar.

♣ SOURCE D'ALIMENTATION EN EAU:



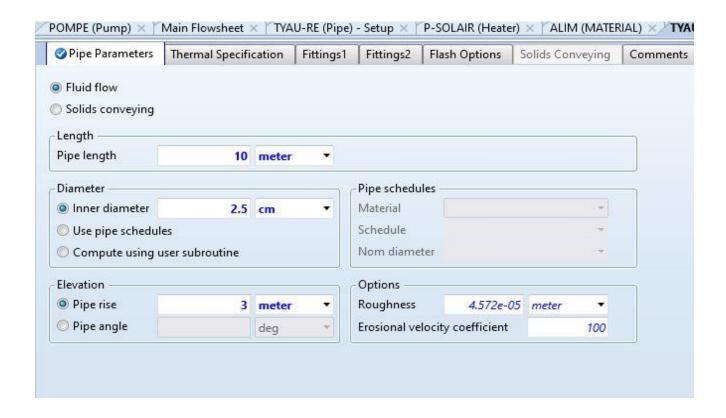
Dans le Flowsheet, la source d'alimentation en eau est modélisée par un flux d'eau à une température de 20 °C et une pression de 1 bar, avec un débit de 6 litres par minute. Cette eau, définie par sa composition et ses variables d'état, sert de base pour le système, où elle est traitée comme un fluide principal avec une fraction de vapeur nulle (liquide pur).

♣SÉPARATEUR:



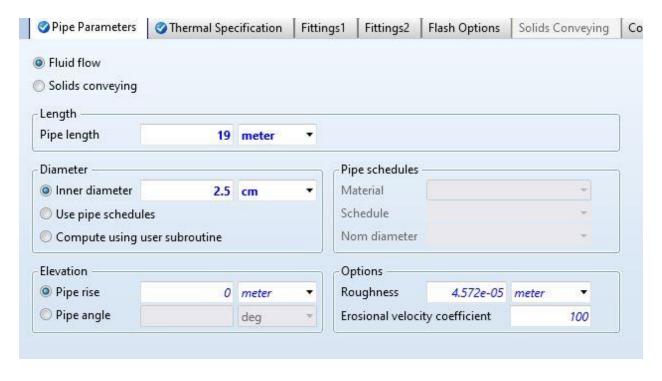
Dans le modèle Aspen, le système de vannes a été modélisé à l'aide d'un splitter (séparateur de flux), qui permet de contrôler la distribution de l'eau entre deux sorties : une pour l'utilisation immédiate (USE-EAU) et une pour le recyclage (EAU-RE). Lorsque la vanne associée à la sortie USE-EAU est ouverte, la fraction de l'eau dirigée vers l'utilisation est de 1(100 %), ce qui signifie que toute l'eau est envoyée vers le point d'utilisation (Le recyclage de l'eau est désactivé). Dans ce cas, la fraction de l'eau dirigée vers le recyclage (EAU-RE) est de 0 (0 %), indiquant que la vanne de recyclage est fermée. Inversement, lorsque la vanne de recyclage est ouverte et celle de l'utilisation fermée, la fraction de l'eau dirigée vers USE-EAU est de 0, et celle dirigée vers EAU-RE est de 1. Ce modèle permet de simuler efficacement le comportement du système de vannes en fonction des besoins, en alternant entre l'utilisation directe de l'eau et son recyclage dans le système.

TUYAU DE RETOUR D'EAU:



Dans le modèle, le tuyau de recyclage a été modélisé à l'aide d'une pipe (conduite) de longueur 10 mètres et d'une hauteur de 3 mètres, afin de prendre en compte les pertes de charge liées à ces caractéristiques géométriques. La pipe est configurée avec un diamètre intérieur de 2,5 cm, qui influencent directement les pertes de charge dues aux frottements et à la résistance du fluide en mouvement. La hauteur de 3 mètres (dénivelé) est également intégrée pour modéliser les pertes de charge supplémentaires causées par la gravité, notamment lors du transport de l'eau vers le point de recyclage. Ces paramètres permettent de simuler de manière réaliste les pertes de pression et d'énergie dans le système, ce qui est essentiel pour optimiser la conception et l'efficacité du réseau de recyclage.

↓TUYAUX EAUX RÉSIDUELLES:

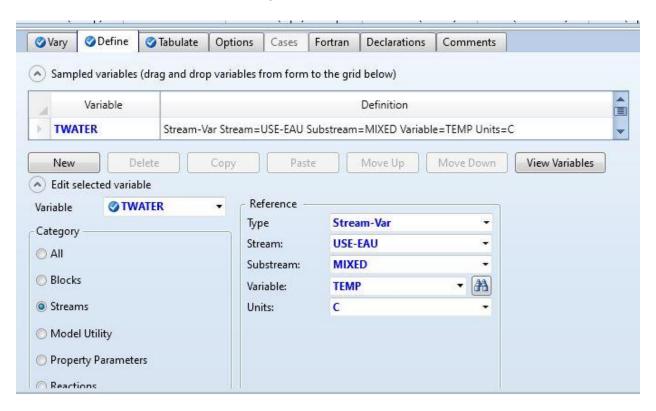


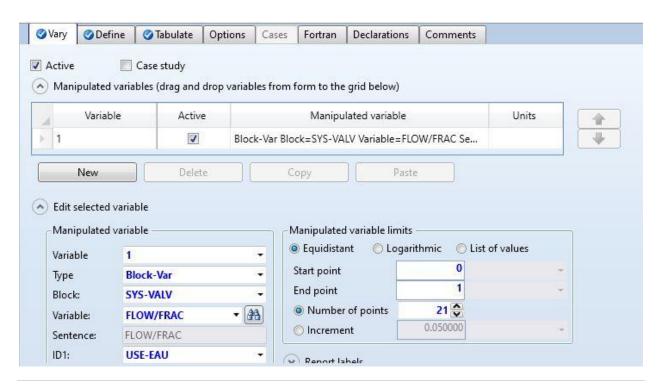
Pipe Parameters	Thern	nal Specification	Fittings1	Fittings2	Flash Options	Solids Conveying
Thermal specification	n type —					
Constant tempera	ture					
 Linear temperatur 	e profile	Outlet temper	ature	С	*	
Adiabatic (zero du	ity)					
Perform energy be	alance	✓ Include en	ergy balance p	parameters		
		Include he				
			753170			
Energy balance parar	meters —	31 - 1			u.	_
Inlet ambient temper	rature	15	C			
Outlet ambient temp	erature	15	C	•		
Heat transfer coeffici	ent	0.05	kJ/sec-sqm-	K •		
Heat flux		-0.3	kW/m			
		7,20,10				

Dans le modèle, le tuyau où l'eau résiduelle va se trouver a été modélisé par une pipe de 19 mètres de longueur, en tenant compte des pertes d'énergie calorifique dues au temps que l'eau passe dans les tuyaux. Pour modéliser ces pertes thermiques, des paramètres spécifiques ont été définis, notamment un profil de température linéaire et un bilan énergétique pour évaluer les échanges de chaleur avec l'environnement. La température ambiante est fixée à 15 °C à l'entrée et à la sortie, avec un coefficient de transfert thermique de 0,05 kJ/sec-m²-K, ce qui permet de quantifier les pertes de chaleur vers l'extérieur. De plus, un flux de chaleur de -0,3 kW/m est appliqué pour représenter les déperditions thermiques le long de la conduite. Ces paramètres permettent de simuler de manière réaliste les pertes d'énergie calorifique subies par l'eau résiduelle lorsqu'elle reste dans les tuyaux, ce qui est essentiel pour optimiser l'efficacité thermique du système de recyclage.

1. ETUDE DE SENSIBILITÉ:

♣ DÉFINITIONS DES VARIABLES :

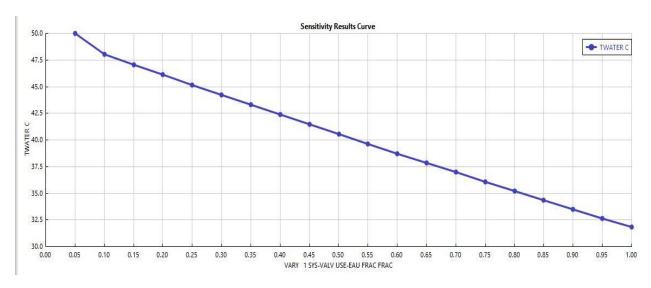


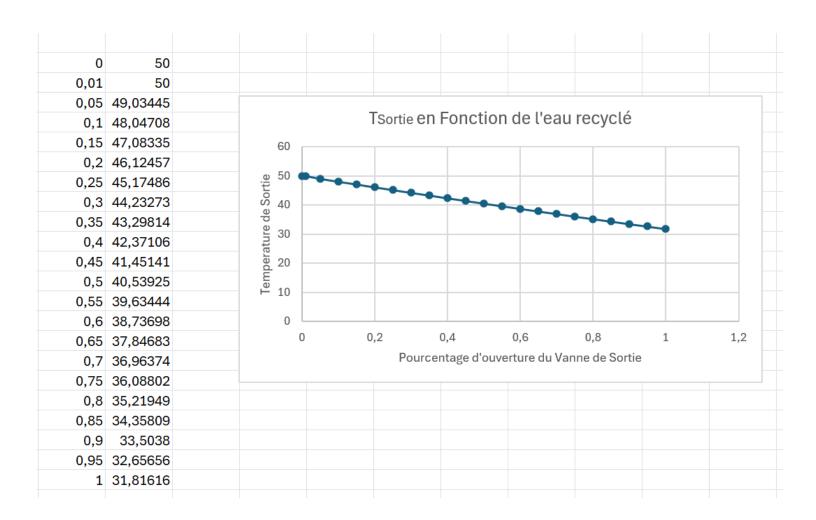


Dans le cadre de l'étude de sensibilité, on a analysé l'effet du recyclage de l'eau (représenté par la fraction de l'eau recyclée) sur la température de sortie du système. Pour cela, une variable manipulée a été définie, correspondant à la fraction de débit (FLOW/FRAC) dans la vanne SYS-VALV, qui contrôle la répartition de l'eau entre l'utilisation (USE-EAU) et le recyclage (EAU-RE). Cette fraction a été variée entre 0 et 1 avec un pas de 0,05, permettant d'explorer différents scénarios où l'eau est soit entièrement recyclée, soit entièrement dirigée vers l'utilisation.

Parallèlement, la température de l'eau en sortie (TWATER) a été surveillée en tant que variable dépendante. Cette température est mesurée dans le flux USE-EAU, où l'eau est prête à être utilisée. L'étude de sensibilité permet ainsi de quantifier comment la fraction de l'eau recyclée influence la température de sortie, en tenant compte des pertes thermiques et des échanges énergétiques dans le système. Cette analyse est essentielle pour optimiser le recyclage tout en maintenant une température de sortie adéquate, garantissant ainsi l'efficacité thermique et la performance globale du système.

RÉSULTATS:





Les résultats de l'étude montrent clairement que lorsque la fraction de l'eau dirigée vers la sortie augmente, la température de sortie diminue progressivement. Cela s'explique par le fait qu'une plus grande quantité d'eau est évacuée directement vers l'utilisation sans être recyclée, ce qui réduit l'efficacité thermique du système. Lorsque la fraction de l'eau dirigée vers la sortie atteint 1 (100 %), la température de sortie chute à 31,8 °C, ce qui est nettement inférieur à la température minimale requise de 40 °C.

Cette diminution de température est due à l'absence de recyclage, qui empêche la récupération et la réutilisation de la chaleur résiduelle. Ainsi, pour maintenir une température de sortie adéquate, il est essentiel de trouver un équilibre entre la fraction d'eau recyclée et celle dirigée vers la sortie, afin de maximiser l'efficacité thermique tout en répondant aux besoins en eau chaude. Cela confirme l'importance du recyclage dans le système pour éviter les pertes de chaleur excessives et garantir une performance optimale.

CONCLUSION

Le projet BTRE a permis de concevoir et de modéliser un système intelligent de réchauffement d'eau pour les chauffages solaires, visant à résoudre les problèmes de gaspillage d'eau froide, d'irrégularité de température et de lenteur du chauffage. Grâce à une approche basée sur le recyclage de l'eau froide résiduelle, le système optimise l'utilisation des ressources en eau et en énergie tout en améliorant l'expérience utilisateur.

Les résultats de la modélisation et des études de sensibilité ont démontré que le recyclage joue un rôle crucial dans le maintien de la température de sortie. En effet, lorsque la fraction de l'eau recyclée augmente, la température de sortie se stabilise autour de 40 °C, répondant ainsi aux exigences du système. À l'inverse, une réduction du recyclage entraîne une chute significative de la température, atteignant des valeurs inférieures à 40 °C, ce qui confirme l'importance du recyclage pour compenser les pertes thermiques.

Les pertes énergétiques dans les tuyaux, ainsi que les caractéristiques géométriques des conduites (longueur, hauteur, diamètre), ont été prises en compte pour affiner la modélisation et optimiser les performances du système. L'étude de sensibilité a également permis d'identifier les conditions optimales pour équilibrer le débit entre l'utilisation et le recyclage, garantissant ainsi une température constante et une efficacité énergétique maximale.

En conclusion, le projet BTRE propose une solution innovante et durable pour les systèmes de chauffage solaire, en combinant recyclage, réchauffement intelligent et régulation thermique. Cette approche permet non seulement de réduire le gaspillage d'eau et d'énergie, mais aussi d'offrir une expérience utilisateur améliorée avec une eau chaude disponible rapidement et à température constante. Les résultats obtenus ouvrent la voie à des applications pratiques dans les domaines résidentiels et industriels, contribuant ainsi à une utilisation plus responsable des ressources naturelles.