



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

UNIVERSITE SAAD DAHLEB –BLIDA1-
INSTITUT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
Département d'architecture

**Rapport de soutenance de master professionnel en efficacité énergétique dans le
bâtiment.**

La conversion des bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels.

Réalisé par :

ZITOUNI Bochra

Encadré par : Pr. HAMID

Dr. OUKACI

Membre de jury :

Mme KHELIFI

Prof. Université de Blida 1

Présidente

Mr ATIK

Prof. Université de Blida 1

Examineur

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

« Certes, il y'a des travaux pénibles ; mais la joie de la réussite n'a-t-elle pas à compenser nos douleurs ? »

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes et organisations qui ont contribué à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Tout d'abord, je remercie sincèrement mes encadrateurs, Pr. HAMID Abdelkader, Dr. OUKACI Soumia, à Dr. LAFRI, pour leur guidance précieuse, leurs conseils avisés et leur soutien continu tout au long de ce projet. Leur expertise et leur disponibilité ont été des éléments essentiels à la réussite de ce travail.

Je souhaite également remercier les membres du jury, Mme. KHELIFI et Mr. ATIK pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail. Leurs commentaires et critiques constructives ont été d'une grande aide pour améliorer la qualité de ce projet.

Un remerciement tout particulier à la GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) pour leur appui et leur accompagnement tout au long de ce parcours. Leur engagement pour le développement durable et la formation de qualité a été une source d'inspiration constante.

Je n'oublie pas de remercier également RENAC (Renewables Academy AG) pour les formations enrichissantes et les ressources mises à disposition. Ces formations ont grandement contribué à l'acquisition des compétences nécessaires pour mener à bien ce projet.

Enfin, je souhaite exprimer ma gratitude à ma famille et à mes amis pour leur soutien moral et leur encouragement tout au long de cette aventure. Leur présence à mes côtés a été inestimable.

Merci à tous pour votre aide et votre soutien.

Dédicace

Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries.

Marcel Proust

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, et leurs prières tout au long de mes études.

A mon très cher père « Mohammed »

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles. Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour.

J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.

A ma très chère mère « Merzoug fatma Zohra »

Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement.

Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

A ma 2em mère « Zolikha ». Je vous dédie ce travail pour vos attentions particulières, vos prières et votre amour inconditionnel. Merci pour tout et que Dieu vous donne bonne santé et longue vie parmi nous.

A la mémoire de mon oncle l'homme qui m'inspire, Puisse Dieu vous avoir en sa sainte miséricorde et que ce travail soit une prière pour votre âme.

A mes chères sœurs AMEL, WAHIBA, AYA, FERIAL, BAHIA et NADIA, et mes frères Ishak et Abdelkader.

Je vous souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.

A ma copine Sonia my soulmate

A mes chères sœurs de cœurs AMIRA, AMINA, Jouhaina, Ihssen, Faiza, Mariem.

A mes collègues de la formation. En souvenir des moments heureux passés ensemble, avec mes vœux sincères de réussite, bonheur, santé et de prospérité.

Préambule

Le taux de chômage en Algérie ne cesse d'augmenter depuis des décennies dû principalement à un manque de compétences transversales (Soft Skills) des jeunes diplômés mais également à une formation répondant de moins au moins aux besoins du marché de l'emploi, un marché qui s'oriente désormais vers une transitions énergétique et environnementale visant d'alléger la pression sur l'environnement et la protection de ses ressources.

C'est dans ce contexte que la formation du master professionnalisant « *efficacité énergétique dans le bâtiment* » s'inscrit et plus particulièrement dans le cadre de la mise en œuvre du projet AEDA « amélioration de l'employabilité des diplômés des formations professionnels et universitaires en Algérie » qui est financé par le ministère fédéral de la coopération économique et du développement allemand (BMZ- Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung).

L'objectif principal de la formation est **d'améliorer l'employabilité des jeunes diplômés dans les domaines professionnels ayant un lien avec l'efficacité énergétique du bâtiment et la gestion de l'énergie**. La formation est axée principalement sur la pratique et le renforcement des compétences transversales (Soft-skills).

La formation a été mise en place en vue de mettre à la disposition du marché local, régional et national des spécialistes pouvant intervenir dans le domaine de la réduction de la consommation énergétique des bâtiments. Plus particulièrement, l'apprenant au terme de cette formation est en mesure de participer à l'élaboration de diagnostics énergétiques en rapport à la « performance énergétique et environnementale du bâtiment » et participer pleinement à l'élaboration des projets au sein des équipes pluridisciplinaires. L'apprenant a été également formé pour pouvoir mener des travaux de recherche et de développement en entreprise en adoptant des actions à entreprendre avec plus de professionnalisme et efficacité dans la gestion des problèmes environnementaux.

La formation élaborée est orientée pour préparer un cadre possédant les compétences requises pour prendre en charge une multitude de missions et des tâches diverses telle que:

- Une conception environnementale : en incluant, notamment, les obligations réglementaires liées aux multiples certifications nationales (DTR et autres) ou internationales (HQE, BBC,

Passivhauss...) ainsi que l'incorporation des énergies renouvelables.

- Une optimisation énergétique du bâti : en incorporant des solutions pragmatiques basées sur des approches unifiées de la faisabilité du projet (la construction) et de son efficacité énergétique ainsi que du choix avisé des matériaux.
- Un management efficient des projets : en associant les dispositifs de gestion technique de projets à des notions portant sur les transactions et droit de l'édifice, le montage financier et la conduite opérationnelle des projets.
- Une administration intelligente des équipements techniques : en insérant des solutions adéquates, fondées sur les nouveaux procédés de communication, de régulation et de contrôle pour améliorer le fonctionnement de ces équipements ainsi que leurs interdépendances avec l'occupant.
- Application transversale des connaissances interdisciplinaires acquises lors de la formation.
- Appui à la gestion de projets : prise en compte des impératifs techniques et de l'environnement industriel avec une vision globale du projet.
- Soutien au Chef de Projet : mécanismes de management, la délégation des tâches, la formulation des messages.
- Travail en équipe : entrevue, échange, organisation et complémentarité au sein de l'équipe.
- Aptitudes : rectitude, autogestion, efficience, jugement, esprit de synthèse.
- Capacité à travailler avec des groupes multidisciplinaires pour créer des solutions

Au cours de ces deux années universitaires 2022/2023 et 2023/2024, les apprenants ont reçu une formation aussi diverse qu'enrichissante par des experts nationaux et internationaux notamment allemands tout en effectuant des stages dans des centres de recherche et des bureaux spécialisés, ce qui leur a permis de développer différentes thématiques pour leur projets de soutenances traitant la réhabilitation énergétique, la diversité climatique et son impact sur l'efficacité énergétique, les matériaux et systèmes modulaires innovants, les systèmes CVC, les systèmes passifs de refroidissement, le mur solaire, la façade vitrée, l'optimisation de la consommation énergétique des bâtiments et la conversion des bâtiments abandonnés en bâtiments plus durables et écologiques.

Le défi à relever était difficile mais capital pour préserver notre environnement, réduire les impacts générés par nos bâtiments, optimiser leurs comportements thermique et énergétique pour une préservation optimale de nos ressources environnementales et surtout pour contribuer à la transition énergétique et environnementale qui est au cœur de la politique nationale.

Les objectifs ont été finalement atteints et le défi a été relevé avec succès!

Dr. KAOULA Dalel

Responsable du master professionnalisant
« Efficacité énergétique dans le bâtiment »

ملخص

في مواجهة التحديات البيئية المتزايدة، تظهر إعادة تحويل البنايات الصناعية المهجورة إلى منشأة صناعية مستدامة كحل واعد لتعزيز التنمية المستدامة. تستند المنشأة الصناعية المستدامة إلى مبدأ التآزر الصناعي، حيث تتعاون الشركات لتحسين استخدام الموارد وتقليل النفايات.

الهدف من مشروعنا البحثي هو تحويل منطقة صناعية مهجورة في الحراش بالجزائر العاصمة إلى منشأة صناعية مستدامة. يتضمن المشروع الرئيسي إعادة تأهيل مقصف سومابي المهجور. تشمل الأعمال تحسينات بيئية تهدف إلى زيادة كفاءة الطاقة والراحة الحرارية، مثل تركيب زجاج عالي الأداء، ودمج العزل الحراري وتركيب أنظمة تهوية طبيعية وميكانيكية. وبالإضافة إلى ذلك، سيتم تركيب نظام استرداد الحرارة لاستخدام الحرارة المهدرة من مسبك أليف لتدفئة المقصف. يوضح هذا المشروع كيف يمكن للممارسات المبتكرة والمستدامة أن تنعش المساحات الصناعية المتقادمة وتخلق بيئات صديقة للبيئة.

تُظهر نتائج الدراسة أن التعديل التحديثي للطاقة أدى إلى تحسين درجة الحرارة بمقدار 5 درجات مئوية، ولكنه لم يحقق المستوى المطلوب من الراحة. و لتلبية احتياجات التدفئة، كانت هناك حاجة إلى نظام نشط. تم تركيب مبادل حراري صفيحي بمساحة تبادل تبلغ 6 أمتار مربعة يغطي جميع احتياجات التدفئة في المقصف.

الكلمات الرئيسية: منشأة صناعية مستدامة ، والتآزر الصناعي، وتجديد المباني بالتكنولوجيا البيئية ، واستعادة الحرارة، والمبادل الحراري، وكفاءة الطاقة والتنمية المستدامة.

Résumé

Face aux défis environnementaux croissants, la reconversion des friches industrielles en éco-parcs industriels apparaît comme une solution prometteuse pour promouvoir le développement durable. Les éco-parcs industriels reposent sur le principe de synergie industrielle, où les entreprises coopèrent pour optimiser l'utilisation des ressources et minimiser les déchets.

Dans ce contexte s'inscrit notre thématique de recherche et qui a pour but de convertir une zone industrielle abandonnée à El Harrach, Alger, en éco-parc industriel. L'intervention principale concerne la réhabilitation de la cantine abandonnée de l'entreprise SOMABE. Les travaux incluent des améliorations passives visant à augmenter l'efficacité énergétique et le confort thermique, tel que : l'installation de vitrages performants, l'intégration de l'isolation thermique et la mise en place des systèmes de ventilation naturelle et mécanique. De plus, un système de récupération de chaleur sera mis en place pour utiliser la chaleur résiduelle de la fonderie ALFEL afin de chauffer la cantine. Ce projet illustre comment des pratiques innovantes et durables peuvent revitaliser des espaces industriels obsolètes et créer des environnements respectueux de l'environnement.

Les résultats de cette étude révèlent que la réhabilitation énergétique a permis d'améliorer la température de 5°C, mais sans atteindre le niveau de confort souhaité. Pour répondre aux besoins en chauffage, un système actif a été nécessaire. Un échangeur de chaleur à plaques, avec une surface d'échange de 6 m², a été mis en place, couvrant ainsi tous les besoins en chauffage de la cantine.

Les mots clés: **éco-parc industriel, synergie industrielle, réhabilitations des bâtiments techniques passives, récupération de chaleur, échangeur de chaleur, efficacité énergétique, et développement durable.**

Abstract

Faced with growing environmental challenges, the reconversion of industrial wastelands into eco-industrial parks appears as a promising solution to promote sustainable development. Eco-industrial parks are based on the principle of industrial synergy, where companies cooperate to optimize resource use and minimize waste.

Our research theme fits within this context, aiming to convert an abandoned industrial zone in El Harrach, Algiers, into an eco-industrial park. The main intervention involves the rehabilitation of the abandoned canteen of the SOMABE Company. The work includes passive improvements to increase energy efficiency and thermal comfort, such as the installation of high-performance glazing, the integration of thermal insulation, and the implementation of natural and mechanical ventilation systems. Additionally, a heat recovery system will be implemented to use residual heat from the ALFEL foundry to heat the canteen. This project illustrates how innovative and sustainable practices can revitalize obsolete industrial spaces and create environmentally friendly environments.

The results of this study reveal that the energy rehabilitation improved the temperature by 5°C but did not reach the desired comfort level. To meet the heating needs, an active system was necessary. A plate heat exchanger with an exchange surface of 06 m² was installed, covering all the heating needs of the canteen.

Keywords: eco-industrial Park, industrial symbiosis, passive building rehabilitation, heat recovery, heat exchanger, energy efficiency, sustainable development.

Table des matières

Chapitre introductif	1
1. Introduction :	1
2. Contexte de la thématique :	2
3. Problématiques et hypothèses	3
3.1. Problématique générale :	3
3.2. Hypothèses générale :	3
3.3. Problématiques spécifiques :	4
3.4. Hypothèses spécifiques :	4
4. L'objectif du travail :	4
5. La méthodologie du travail:	5
Chapitre I.....	8
1. L'état de l'art	8
Chapitre II	13
1. Présentation du cas d'étude :	13
a. Situation de la zone d'intervention :	13
b. Présentation des fonctions dans la zone industrielle d'El Harrach	14
c. Justification du choix d'air d'intervention :	16
2. Présentation de l'interventions :	17
Chapitre III	21
1. Les améliorations passive à l'échelle du bâtiment abandonné :	21
1.1. Présentation du bâtiment avant l'amélioration :	21
1.2. Les scenarios d'amélioration passive :	24
1.3. Présentation des logiciels utilisés :	31
2. Etude paramétrique et analyses des résultats :	34
2.1. Introduction :	34
2.2. Paramètre 01 (le vitrage):	35
a. Analyse de résultat :	35
b. recommandation :	38
2.3. Paramètre 02 (isolation):	38
a. Analyse des résultats:	38
b. Recommandation :	41

2.4. Paramètre 03 (la ventilation):	43
a. L'interprétation	44
2.5. Conclusion générale	44
Chapitre IV	46
1. L'intervention à l'échelle du parc industriel :	46
1.1. Détail d'intervention :	47
1.2. Description du système de récupération :	49
1.3. Méthode de calcul :	50
2. Dimensionnement de l'échangeur :	50
2.1. Les conditions initiales :	50
2.1. Calcule de la surface de captation :	51
Conclusion générale :	59
1. Recommandations :	60
2. Les perspectives :	60
Références	63
Les annexes :	66

Listes des figures

Figure 1: Composants clés des parcs éco-industriels	8
Figure 2: Situation d'el Harrach à l'échelle communal.	13
Figure 3: Situation d'el Harrach à l'échelle de la Wilaya.	13
Figure 4: situation d'el Harrach à l'echelle nationale.....	13
Figure 5: situation d'el Harrach	13
Figure 6:bétonnière	14
Figure 7: cabines préfabriquées.....	14
Figure 8: vue sur la zone de production saidal.	14
Figure 9:vue sur le four et la zone de stockage de la fonderie.	15
Figure 10: Situation des entreprises.	16
Figure 11:proposition d'une synergie entre deux entreprises (fonderie, et Somabe).....	17
Figure 12: les POS de la commune El Harrah	17
Figure 13: polarisation de la ville d'alger	17
Figure 14: la partie abandonnée a amélioré passivement (La cantine de SOMABE).....	18
Figure 15: l'échange en terme d'énergie entre les deux entreprises	19
Figure 16: vue extérieur sur l'entreprise somabe.	21
Figure 17: vues sur la salle de consommation de la cantine	22
Figure 18: schéma illustre le plan de la cantine par rapport la société de matériel de béton ...	24
Figure 19:schema illustre les différentes configuration de vitrage	25
Figure 20: double vitrage.	25
Figure 21: schéma du double vitrage intégré dans la cantine.	26
Figure 22: triple vitrage.....	26
Figure 23: schéma du triple vitrage intégré dans la cantine.	27
Figure 24: illustration de la laine de roche	27
Figure 25:illustration du liège expansé	28
Figure 26: Scénario ventilation naturelle	30
Figure 27:Scénario ventilation mécanique	31
Figure 28: Température minimale et maximale moyenne à Alger.....	32
Figure 29: L'ensoleillement à Alger	33
Figure 30: Le rayonnement solaire à Alger.....	33
Figure 31:Précipitation à Alger	34
Figure 32: Graphique représente les températures opératives du scenario vitrage.	35
Figure 33: Graphique représente les indices PMV du scenario vitrage.	37
Figure 34:Graphique représente les indices PPD du scenario vitrage.	37
Figure 35: Graphique représente les températures opératives du scenario isolation.	39
Figure 36: Graphique représente les indices PMV du scenario isolation.	40
Figure 37: Graphique représente les indices PPD du scenario isolation.....	41
Figure 38: Graphique représente l'impact de la ventilation sur les températures opératives de la cantine.....	43
Figure 39: Graphique représente les températures opératives du bâtiment avant et après l'amélioration.	44
Figure 40: Figure : illustration de la synergie industrielle entre la fonderie et SOMABE.	46

Figure 41: le potentiel de chaleur perdu de la fonderie. Source : auteur.....	47
Figure 42: la chambre de compresseur dans la fonderie ALFEL. Source : auteur.....	47
Figure 43: échangeur à plaque.	48
Figure 44:différentes configurations d'échangeurs.....	48
Figure 45: schéma de fonctionnement du système.....	49
Figure 46: schéma de fonctionnement du système.....	49
Figure 47: la direction de Ecoulement des deux fluides croisés	50
Figure 48: illustration lors de la mesure de la vitesse de l'air chaud.	52
Figure 49: Echangeur à courants croisés - 2 fluides brassés	54

Listes des tableaux

Tableau 1: analyse des articles utiliser	8
Tableau 2: Caractéristiques dimensionnelles des espaces de la cantine à améliorer	22
Tableau 3: Caractéristiques thermo-physiques de différents composants de la cantine avant l'amélioration.	24
Tableau 4: caractéristiques du double vitrage.	25
Tableau 5: caractéristiques du double vitrage.	26
Tableau 6: Caractéristiques thermo-physiques de différents composants de la cantine après l'amélioration avec la laine de roche.....	28
Tableau 7: Caractéristiques thermo-physiques de différents composants de la cantine après l'amélioration avec le liège expansé.	29
Tableau 8: interprétation du scenario isolation	39
Tableau 9: les données nécessaires pour les calculs.	51

Liste des équations

Équation 1 débit d'air	$m = \rho \cdot V \cdot S$	[1].....	51
Équation 2 débit de l'eau:	$P = q_v \times 1.16 \times \Delta t$	[2].....	52
Équation 3 la puissance de l'échangeur	$Q = U \cdot S \cdot \Delta T_m \cdot F$	[3]	53
Équation 4 La puissance de l'échangeur	$Q = U \cdot S \cdot \Delta T_m \cdot F = m c c_p (T_{fe} - T_{fs})$	[4].....	53
Équation 5: ΔT_{LM} l'écart logarithmique moyen	$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$	[5]	53
Équation 6 facteur de correction	$R = \frac{T_i - T_{t0}}{T_i - T_{t0} - t_i}$	[6].....	53
Équation 7 coefficient de transmission thermique U	$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_f} + \frac{1}{Re} + \frac{1}{Re_f}$	[7].....	54
Équation 8 coefficient de transmission thermique U	$U = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_f} - 1}$	[8].....	54
Équation 9 nombre de Reynolds	$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$	[9].....	54
Équation 10 diamètre hydraulique	$D = \frac{4 \cdot A_P}{P}$	[10].....	55
Équation 11: nombre de Prandtl	$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda}$	[11].....	55
Équation 12 nombre de Nusselt	$Nu = \frac{h_c \cdot D}{\lambda}$	[12].....	55
Équation 13 nombre de Nusselt	$Nu = C Re^m Pr^{1/3}$	[13].....	55
Équation 14 nombre de Reynolds	$Re = \frac{4 m c \pi \times D \times \mu}{\mu}$	[14]	56
Équation 15: nombre de Nusselt	$Nu = 0.23 \times Re^{4/5} \times Pr^{1/3}$	[15]..	56

Nomenclature

	Unité	Nomenclature
e	m	épaisseur
λ	(kJ/h,m,K)	conductivité thermique
ρ	(kg/m ³)	Densité
U	(W/m ² K)	Coefficient de Le coefficient de transfert thermique
S	(m ²)	surface
P	(m)	Périmètre
m	(Kg/s)	débit massique
q_v	(m ³ /h)	le débit volumique
ρ	(kg / m ³)	masse volumique
V	(m/s)	Vitesse
(ΔT)	(°C)	L'écart de température
F	/	le facteur de correction
Cp	(J/kg K)	La chaleur spécifique
h_c	W/m ² .°C	coefficient de transfert thermique du fluide chaud
h_F	W/m ² .°C	Coefficient de transfert thermique du fluide froid
R_{ec}	/	la résistance d'encrassement
ϑ	(m ² /s)	la viscosité cinématique
μ	(kg/ m.s)	la viscosité dynamique
D	/	le diamètre hydraulique

Chapitre introductif

Chapitre introductif

1. Introduction :

Face aux défis environnementaux croissants, la recherche de solutions durables et innovantes devient une nécessité impérieuse. La transition énergétique et la lutte contre le changement climatique constituent des enjeux majeurs pour l'avenir de notre planète. Dans ce contexte, la valorisation des ressources existantes et la transformation des espaces inexploités en lieux de développement durable s'avèrent essentielles. William McDonough, un pionnier dans le domaine de la durabilité déclare que : « La véritable transformation durable consiste à concevoir des bâtiments et des communautés qui valorisent les ressources existantes et transforment les espaces inexploités en environnements productifs et régénératifs. »¹

C'est dans cette perspective que la conversion des bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels prend tout son sens. Ces friches industrielles, souvent situées en zones urbaines ou périurbaines, représentent un potentiel foncier considérable et une opportunité unique de créer des espaces économiques respectueux de l'environnement. L'émergence des éco-parcs industriels incarne une approche prometteuse pour la revitalisation des friches industrielles. Ces espaces regroupent des activités économiques diverses, tout en intégrant des principes de développement durable. Ils visent à minimiser leur impact environnemental en optimisant l'utilisation des ressources, en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en favorisant la symbiose industrielle.

Les bâtiments industriels abandonnés représentent des charges coûteuses pour les municipalités. Non seulement ils occupent de vastes surfaces de terrain qui pourraient être réutilisées de manière plus productive, mais ils sont également des sources potentielles de pollution et de danger pour les communautés environnantes.

La réhabilitation de ces espaces délaissés offre une solution innovante et multifonctionnelles. Plutôt que de voir ces structures comme des passifs, il est possible de les reconvertir en actifs économiques et environnementaux, contribuant ainsi à la revitalisation des territoires et à la transition écologique.

¹ McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.

Le concept d'éco-parc industriel vise à maximiser l'utilisation des ressources disponibles tout en minimisant les impacts environnementaux². Cela implique l'application des techniques d'amélioration passives pour réduire les besoins énergétiques et l'intégration de systèmes innovants pour optimiser l'efficacité énergétique.

Par le biais de cette étude nous allons démontrer comment les solutions durables peuvent être mises en œuvre pour revitaliser les bâtiments abandonnés. En réhabilitant ces espaces industriels avec des techniques durables, nous visons à créer un modèle reproductible qui pourrait inspirer d'autres initiatives similaires, renforçant ainsi notre engagement envers une transition écologique et énergétique.

2. Contexte de la thématique :

Avec l'industrialisation rapide du siècle dernier, de nombreuses villes et régions ont vu la construction massive de bâtiments industriels pour soutenir la production manufacturière. La production industrielle du secteur Public National enregistre un accroissement sensible de + 5,6% au premier trimestre 2023 par rapport à la même période de l'année précédente.³

Cependant, les changements économiques, la délocalisation des industries et l'évolution des technologies ont conduit à l'abandon d'un grand nombre de ces bâtiments. Aujourd'hui, ces structures vides et souvent délabrées parsèment les paysages urbains et ruraux, constituant un défi environnemental et économique majeur.

En Algérie, pratiquement toutes les villes situées dans la partie Nord du pays abritent des friches industrielles au sein de leurs périmètres urbains. Historiquement, ces friches résultent principalement des industries de transformation et de production agroalimentaire, telles que les minoteries, les manufactures de tabac, et les unités de production de vin et de boissons alcoolisées, créées à la fin du XIX^{ème} siècle et au début du XX^{ème} par le colonisateur français. A cela s'ajoutent les entreprises publiques économiques établies par l'état Algérien après l'indépendance, notamment durant les années 1970, dans le cadre d'une politique visant à construire une économie basée sur l'industrie lourde [BOUDJENAH 2002]⁴.

² Manuel de mise en œuvre des parcs éco-industriels, 2017 by the UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION.

³ INDICE DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE - au 1er trimestre 2023* N°997, office national des statistiques 10 mars 1999. [<https://www.ons.dz/IMG/pdf/I.ipi1T2023.pdf>]

⁴ BOUDJENAH Y. (2002) - Algérie, Décomposition d'une industrie, La restructuration des entreprises publiques (1980-2000): L'Etat en question, L'Harmattan, France, 318 pages.

Cependant, la crise économique des années 1980 a conduit à la fermeture de nombreuses unités industrielles arrivant à 100 000 à 200 000 bâtiments industriels abandonnés⁵.

Aujourd'hui, en raison de l'urbanisation extensive promue par les politiques urbaines, ces usines se trouvent intégrées au cœur des systèmes urbains, formant de vastes enclaves avec tous les dangers potentiels qu'elles représentent pour la population avoisinante [MERZAGHI, WYSS 2009]⁶.

Face à ces défis, la conversion de ces bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels offre une solution prometteuse et durable. En valorisant les ressources existantes et en transformant ces espaces inutilisés en zones de développement durable, cette approche permet non seulement de réduire les impacts environnementaux mais aussi de revitaliser les économies locales. Les éco-parcs industriels permettent de créer des synergies entre les entreprises, d'optimiser l'utilisation des ressources, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. En adoptant des techniques d'amélioration passive et en intégrant des systèmes de récupération d'énergie, ces projets peuvent transformer les friches industrielles en espaces productifs et écologiquement responsables.

3. Problématiques et hypothèses

3.1. Problématique générale :

La revitalisation des anciennes zones industrielles est un défi crucial dans le contexte actuel de développement durable. Ces espaces abandonnés, marqués par des problèmes de pollution et de dégradation, nécessitent des solutions innovantes pour les transformer en zones dynamiques et durables. La question centrale de cette problématique est donc :

Comment revitaliser de manière efficace et durable les anciennes zones industrielles en déclin ?

3.2. Hypothèses générale :

En guise de réponse préalable à la problématique énoncée, nous supposons que :

 **La conversion de ces sites en éco parcs industriel peut réduire les impacts environnementaux.**

⁵ **Rapport du Ministère de l'Industrie et des Mines**, publié en 2015. <https://www.industrie.gov.dz/fr/>

⁶ MERZAGHI F., WYSS M. (2009) - Comment une friche ferroviaire se transforme en quartier durable : Le quartier Écoparc à Neuchâtel en Suisse, in "Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]", Volume 9 Numéro 2, <https://journals.openedition.org/vertigo/8757> .

3.3.Problématiques spécifiques :

- ✚ **Problématique liée à l'efficacité énergétique** : comment la conversion de bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels peut- elle contribuer de manière significative à la l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la réduction de l'empreinte carbone ?
- ✚ **Problématique liée à la durabilité à long terme** : comment garantir la durabilité à long terme des éco-parcs industriels ?

3.4. Hypothèses spécifiques :

- ✚ **Hypothèses liée à l'efficacité énergétique** : on suppose que par la réhabilitation énergétique et la synergie industrielle peut contribuer de manière significative à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la réduction de l'empreinte carbone
- ✚ **Hypothèses liée à la durabilité à long terme** : on suppose que par l'utilisation d'énergies renouvelables au sein des éco-parcs industriels, on peut garantir la durabilité à long terme.

4. L'objectif du travail :

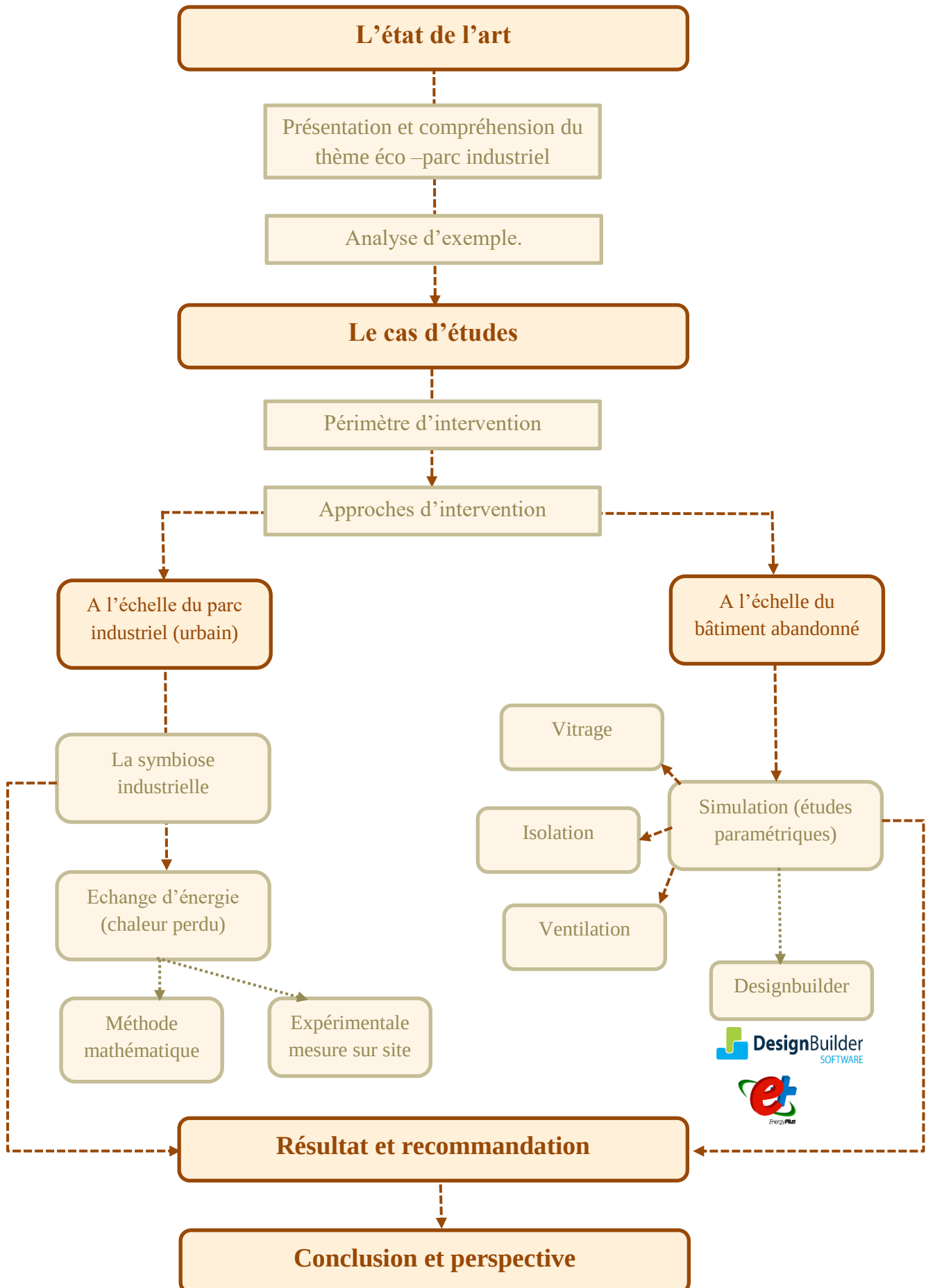
L'objectif principal de la conversion des bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels est de contribuer à la transition énergétique et à la lutte contre le changement climatique en réduisant l'impact environnemental des activités industrielles.

Cet objectif se décline en plusieurs axes :

- Réduire la consommation d'énergie des bâtiments en améliorant leur performance énergétique
- Diminuer les émissions de gaz à effet de serre en adoptant des processus industriels plus respectueux de l'environnement.
- Mettre en œuvre et évaluer des améliorations passives des infrastructures.
- Intégration des systèmes de récupération d'énergie et des solution d'énergie renouvelable pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments réhabilités.
- Analyser les performances énergétiques et environnementales des bâtiments après intervention.

- Proposer des modèles de coopération entre les entreprises pour maximiser les synergies économiques et environnementales au sein des éco-parcs industriels.

5. La méthodologie du travail:



Chapitre I

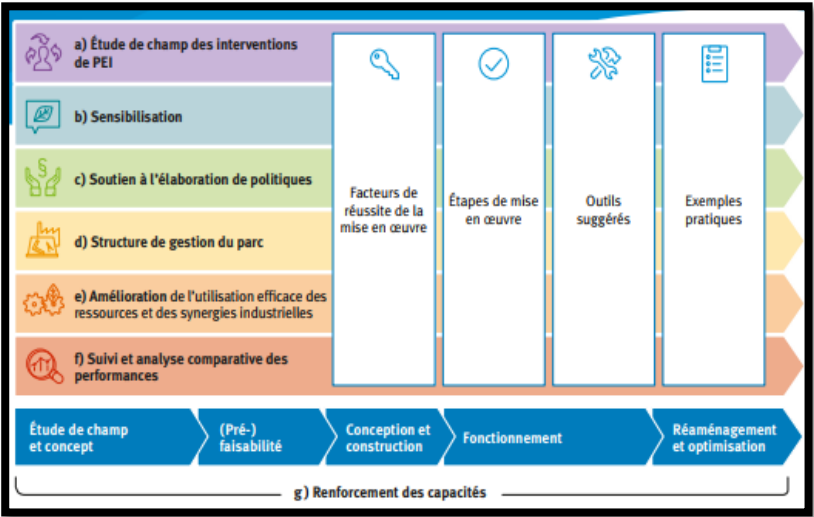
(État de l'art)

Chapitre I

1. L'état de l'art

Pour comprendre le concept et l'importance des éco-parcs industriels, il est essentiel d'examiner les recherches scientifiques récentes qui illustrent comment ces parcs intègrent des pratiques durables pour transformer les friches industrielles. Des études de cas mondiales, comme celle de Kalundborg au Danemark (voir annexe01), montre les bénéfices de la symbiose industrielle et les impacts positifs sur l'environnement et l'économie.

Tableau 1: analyse des articles utiliser .
Source : auteur

L'article	Résumé	L'objectif
01- Manuel de mise en œuvre des parcs éco-industries, 2017 by the UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION.	En promouvant et soutenant le développement de parcs éco-industriels, l'ONUDI a pour but de généraliser et d'améliorer l'application de la production propre et économe en ressources (RECP) par les entreprises et les gouvernements, et de contribuer à une consommation et une production durables.	L'objectif global de ce manuel est d'aider les parties prenantes des secteurs privé et public à mettre en œuvre de manière pratique les concepts de PEI dans des parcs industriels existants (<i>brownfield</i>) et nouveaux (<i>greenfield</i>)
	 Figure 1: Composants clés des parcs éco-industriels Source : manuel de mise en œuvre des parcs éco-industries, 2017 by the united nations industrial development organization page 15.	
02- Henrique Lisboa da Cruz ,05 Jun 2023, Transition from Parks to Eco-industrial Parks: insights into this	Le but de cet article est de donner un aperçu de la transformation nécessaire et complexe des parcs traditionnels en parcs éco-industriels. L'article vise à explorer les défis et les opportunités associés à cette	Dans l'ensemble, l'article cherche à promouvoir la compréhension et l'adoption des parcs éco-industriels en tant qu'approche du développement industriel plus durable et plus respectueuse de l'environnement.

necessary and complex transformation	transition et à mettre en lumière des exemples réussis de parcs éco-industriels.	
	Où j'ai eu la comparaison entre le parc industriel et l'éco-parc industriel. ➤ En terme de définition : Les parcs industriels, zones regroupant plusieurs industries avec des infrastructures partagées, et les parcs éco-industriels, axés sur la durabilité environnementale avec des pratiques visant à optimiser les ressources, réduire les déchets et préserver l'environnement. ➤ En terme de gestion des ressources : Parcs industriels peuvent se concentrer peu sur la gestion des ressources et la réduction des déchets. En revanche, les parcs éco-industriels mettent l'accent sur l'échange de ressources, d'énergie et de sous-produits entre les industries afin de maximiser l'efficacité et de minimiser la production de déchets. ➤ En terme d'objectif Les parcs industriels visent principalement à fournir un emplacement permettant aux industries de fonctionner de manière efficace et rentable. Les parcs éco-industriels accordent en outre la priorité à la durabilité environnementale et à la promotion des principes de l'économie circulaire. ➤ En terme d'impact environnemental : Les parcs industriels peuvent avoir un impact environnemental plus élevé en raison de la consommation de ressources et de la production de déchets. Les parcs éco-industriels visent à minimiser l'impact environnemental grâce à des pratiques durables, telles que la conservation de l'énergie, la gestion des déchets et l'utilisation de sources d'énergie renouvelables.	
03- Bugnar Nicoleta Georgeta, Mester Liana Eugenia, 01 Jule 2013, Eco-industrial park - a tool for sustainable development, Annals of Faculty of Economics (University of Oradea)-Vol. 22, Iss: 1, pp 82-88.	Dans cet article, les auteurs abordent la manière dont se constitue un parc éco-industriel : créer et mettre en œuvre un parc éco-industriel selon les principes de l'économie circulaire ou transformer un parc industriel déjà existant en parc éco-industriel.	Le but de cet article est de discuter du concept de parcs éco-industriels et de leur rôle dans la promotion du développement durable. L'article met en évidence les avantages des parcs éco-industriels, tels qu'une efficacité économique accrue, Dans l'ensemble, l'article vise à promouvoir l'idée de parcs éco-industriels en tant qu'outil de développement durable.

L'article	L'objectif	Les éléments à prendre		
03- An international framework for Eco-Industrial Parks, decembre 2017. Cette publication est le fruit d'une collaboration entre l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI), le Groupe de la Banque mondiale et la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Coopération allemande au développement) (GIZ) GmbH.. 	L'objectif de cette publication est de fournir un cadre international avec des orientations sur la performance exigentes sur la manière dont un parc industriel peut évoluer pour devenir un parc éco-industriel (EIP).	Thème	Sous- thème	Description / exigence
		Gestion et suivi	Systèmes de gestion environnemental e/énergétique (EMS et EnMS, respectivement)	Les entreprises disposent de systèmes EMS/EnMS fonctionnels et adaptés à leurs besoins. Les informations récapitulatives de ces systèmes de gestion sont fournies à la direction du parc, qui regroupera et rendra compte des données au niveau du parc
		énergie	Consommation d'énergie	Le parc industriel dispose de systèmes de mesure et de surveillance adéquats pour mesurer la consommation d'énergie au niveau du parc et de l'entreprise.
			Énergie renouvelable	Le parc industriel exploite les sources de production renouvelables disponibles, avec des plans pour augmenter la contribution aux services partagés (par exemple, lampadaires solaires, biomasse, hydroélectricité, gaz naturel, etc.).
			Efficacité énergétique	Les opportunités d'efficacité énergétique doivent être activement identifiées au niveau des parcs et des entreprises afin de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre associées.
		L'eau	Consommation d'eau	Un mécanisme est en place pour surveiller de manière appropriée la consommation d'eau dans tout le parc et garantir que des pratiques de gestion de la demande sont en place en cas de stress hydrique. L'extraction des sources d'eau (telles que les rivières et les sources d'eau souterraine) se produit à des niveaux durables.

		Utilisation des déchets et des matériaux	Traitement d'eau	Le parc industriel a mis en place des dispositions pour traiter, recycler et réutiliser de manière appropriée les eaux usées traitées. Aucun effluent n'a d'impact significatif sur les ressources en eau potable et sur la santé des communautés locales ou des écosystèmes voisins.
			Réutilisation et recyclage des déchets/sous-produits	Un programme/mécanisme est en place pour promouvoir et encourager la réutilisation et le recyclage des matériaux par les entreprises du parc (par exemple, les matières premières pour les applications liées ou non au traitement).
			Matières dangereuses et toxiques	Programme/mécanisme en place avec des objectifs clairs pour réduire et éviter l'utilisation de matières dangereuses et dangereuses par les entreprises du parc.
			Traitement des déchets	Un système fonctionnel de collecte, de traitement et d'élimination des déchets est en place pour garantir que les déchets non utilisés sont traités et éliminés dans des décharges appropriées.
		Le changement climatique et l'environnement naturel	Faune et flore	La flore et la faune indigènes sont importantes pour maintenir la proportion d'espaces naturels. Ils sont intégrés dans la mesure du possible au parc industriel et à l'écosystème naturel.
			Air, émissions de GES et prévention de la pollution	Un mécanisme est en place pour éviter, minimiser et/ou atténuer les sources ponctuelles de pollution et les émissions de GES importantes.

Chapitre II

(Cas d'étude)

Chapitre II

1. Présentation du cas d'étude :

Dans le cadre de la transition vers des pratiques industrielles durables, la conversion des bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels représente une opportunité majeure. En réutilisant les structures existantes et en intégrant des technologies de pointe pour améliorer l'efficacité énergétique et la gestion des ressources, ces projets peuvent réduire les impacts environnementaux tout en stimulant l'économie locale.

La sélection du site pour cette étude est cruciale pour illustrer le potentiel de telles transformations. Après une évaluation minutieuse de plusieurs sites, le choix s'est porté sur la zone industrielle d'El Harrach, située à Alger.

a. Situation de la zone d'intervention :

La commune d'el Harrach est située dans une zone stratégique au sein de la ville d'Alger, limitée par El Mohamadia au nord, Baraki et Eucalyptus au sud, Bachdjerah et Bourouba à l'ouest et Oued Smar à l'est. (La figure 03)

Placé entre la baie d'Alger et les plaines de Mitidja, caractérisée par ses potentialités environnementales (Oued el Harrach et le parc de régénération d'Oued Smar), la commune d'El Harrach s'est construite comme un axe de rencontre et d'échange entre l'est et l'ouest de la capitale grâce à sa position centrale et ses infrastructures routières qui la bordent et traversent.

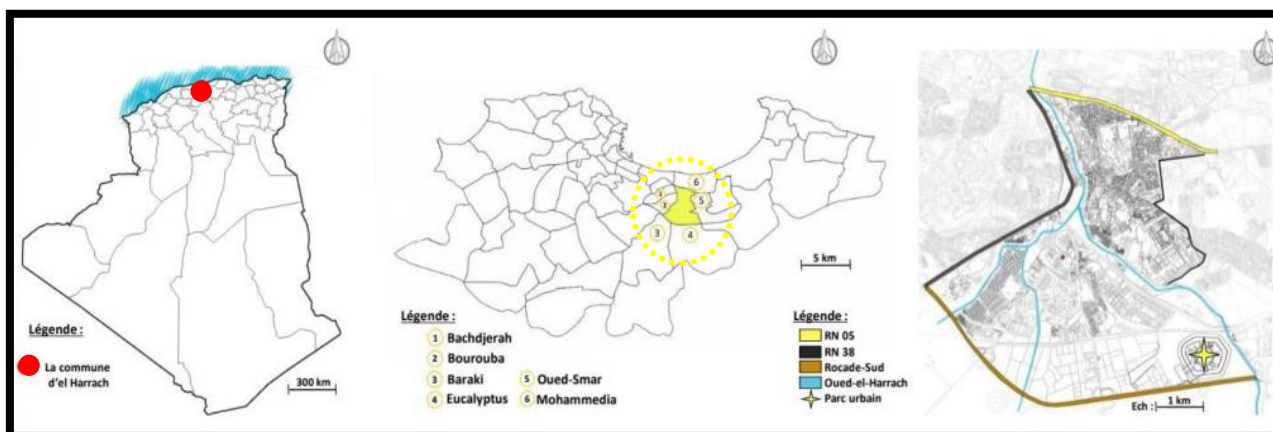


Figure 4: situation d'el Harrach à l'échelle nationale.
Source : Google maps traiter par l'auteur

Figure 3: Situation d'el Harrach à l'échelle de la Wilaya.
Source : Google maps traiter par l'auteur

Figure 2: Situation d'el Harrach à l'échelle communale.
Source : Google maps traiter par l'auteur

b. Présentation des fonctions dans la zone industrielle d'El Harrach

La zone industrielle d'El Harrach abrite une diversité d'entreprises aux fonctions complémentaires, offrant ainsi un cadre idéal pour la création d'un éco-parc industriel.

- **Société matériels de béton SOMABE :** Elle couvre une superficie de près de 76 620 M² dont 37 176 M² sont couverts. Se spécialise dans la production de produits pour transport et préparation de béton, produit pour la fabrication des matériaux de construction et les cabines préfabriquées.



Figure 6: bétonnière

Source : <https://www.enmtp.com/wp-content/uploads/2015/12/fiche-technique-SOMABE.C.pdf>



Figure 7: cabines préfabriquées

Source : l'auteur.

- **Le groupe industriel pharmaceutique SAIDAL :** Fondé en 1982 pour répondre au besoin d'asseoir une industrie pharmaceutique locale à même de garantir la disponibilité des médicaments et améliorer l'accès des citoyens aux traitements.



Figure 8: vue sur la zone de production saidal.

Source : <https://saidalgroup.dz/>



- **La fonderie ALFEL** : est une unité industrielle dont l'activité principale repose sur la production & commercialisation des produits de voirie et d'assainissement. Créé en 1950, sous l'appellation de « L'Union Industrielle Africaine UIA », puis nationalisée en 1974 sous la dénomination « Unité Fonderie d'El Harrach ».



Figure 9:vue sur le four et la zone de stockage de la fonderie.

Source : l'auteur.



- **La station pétrolière NAFTAL** : Est impliquée dans la distribution de produits pétroliers, assurant l'approvisionnement énergétique de la région.

La proximité et les interactions entre ces entreprises permettent de créer des synergies industrielles, où les sous-produits et les flux de déchets d'une entreprise peuvent devenir des ressources pour une autre, maximisant ainsi l'efficacité des ressources et réduisant les impacts environnementaux. Cette diversité fonctionnelle constitue une base solide pour la transformation de la zone en un éco-parc industriel dynamique et durable.

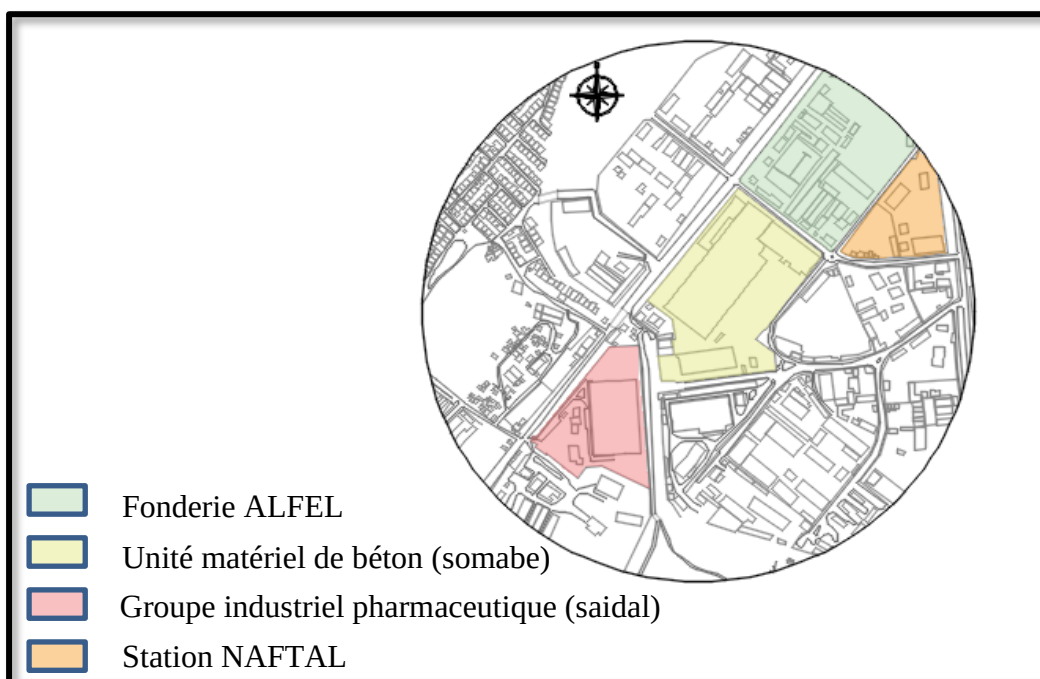


Figure 10: Situation des entreprises.

Source : auteur.

c. Justification du choix d'air d'intervention :

Le choix de la zone industrielle d'El Harrach comme site pour la conversion en éco-parc industriel est justifié par plusieurs facteurs stratégiques et fonctionnels.

➤ Référence au modèle de Kalundborg :

L'éco-parc industriel de Kalundborg au Danemark est largement reconnu comme l'un des projets les plus réussis dans le domaine de la symbiose industrielle. Kalundborg se distingue par sa capacité à créer des synergies entre les différentes entreprises, où les déchets d'une entreprise deviennent les ressources d'une autre, optimisant ainsi l'utilisation des ressources et réduisant les impacts environnementaux. La zone industrielle d'El Harrach, avec sa diversité d'entreprises, présente un potentiel similaire pour établir des échanges de ressources et de flux énergétiques entre les entreprises, par exemple, la chaleur résiduelle de la fonderie ALFEL peut être récupérée pour chauffer des locaux d'une autre entreprise, imitant l'utilisation de vapeur excédentaire à Kalundborg. Cette analogie avec Kalundborg soutient l'idée que la zone d'El Harrach peut devenir un modèle de symbiose industrielle en Algérie, favorisant l'innovation et la durabilité.

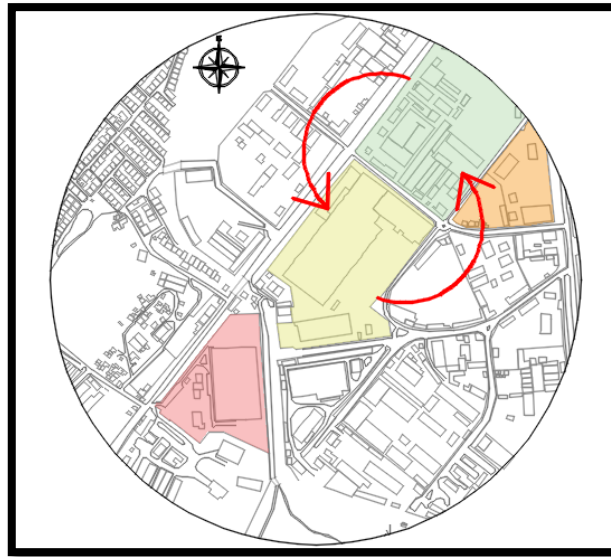


Figure 11: proposition d'une synergie entre deux entreprises (fonderie, et Somabe)
Source : auteur.

➤ Alignement avec la stratégie de polarisation métropolitaine :

Le choix de la zone industrielle d'El Harrach est également en phase avec la stratégie de polarisation de la métropole, en particulier dans le cadre du pôle de régénération El Harrach-Baraki. Ce projet désigné sous le nom d'Eco El Harrach, vise à transformer cette zone en un centre de développement durable, renforçant ainsi son rôle stratégique au sein de la région métropolitaine d'Alger. En intégrant des principes de durabilité et d'innovation industrielle, ce projet contribuera à la revitalisation économique et sociale de la région, tout en servant de catalyseur pour d'autres initiatives similaires dans la métropole.

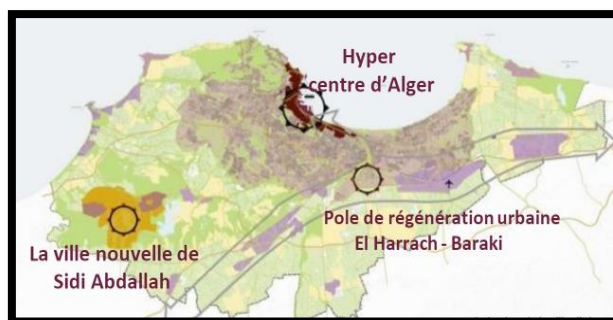


Figure 13: polarisation de la ville d'alger .
Source : PDAU 2015

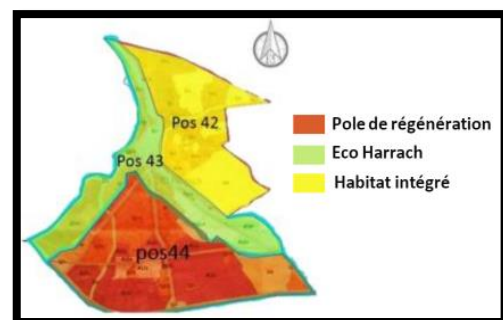


Figure 12: les POS de la commune El Harrah
Source : APC El Harrach 2021.

2. Présentation de l'interventions :

Dans le cadre de la conversion des bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels, mon projet se concentre sur la revitalisation durable de la zone industrielle d'El Harrach à Alger. Cette initiative vise non seulement à réhabiliter les infrastructures

existantes et surtout abandonnées mais aussi à intégrer des solutions énergétiques innovantes et écologiques.

Le projet comporte deux volets principaux :

- Des améliorations passives à l'échelle du bâtiment abandonné qui consiste à la cantine de la société de matériels de béton SOMABE. Donc l'objectif Visé d'augmenter l'efficacité énergétique et le confort intérieur sans recourir à des systèmes énergivores.

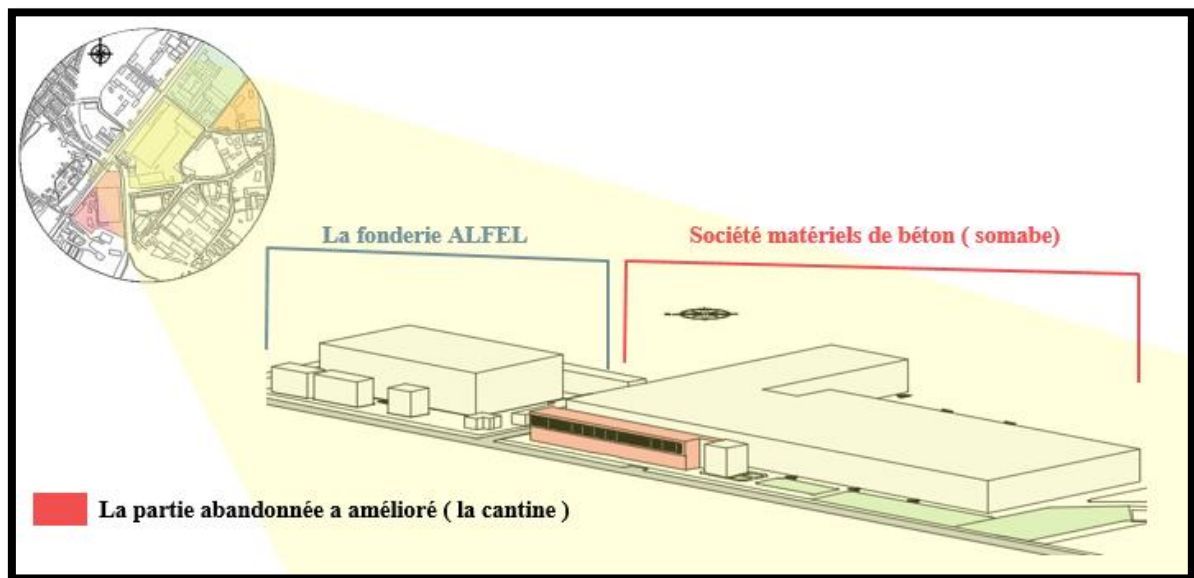


Figure 14: la partie abandonnée a amélioré passivement (La cantine de SOMABE)
Source : auteur

- Ensuite, pour couvrir les besoins en chauffage de la cantine, nous mettons en place un système de récupération de chaleur résiduelle provenant de la chambre des compresseurs de la fonderie ALFEL. Un échangeur de chaleur sera dimensionné et installé pour capter cette chaleur perdue et la redistribuer efficacement, réduisant ainsi la consommation énergétique pour le chauffage.

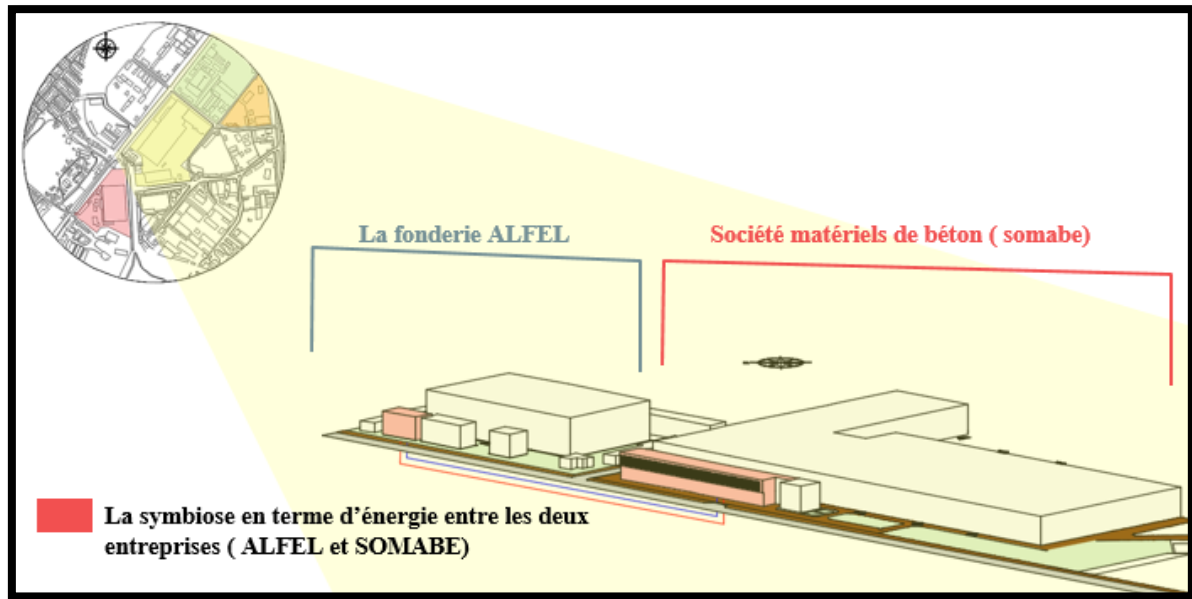


Figure 15: l'échange en terme d'énergie entre les deux entreprises
Source : auteur

Ce projet vise à démontrer comment la réhabilitation intelligente et durable des infrastructures peut contribuer à une transition énergétique réussie et à une réduction des impacts environnementaux.

Chapitre III

(Améliorations à l'échelle du bâtiment)

Chapitre III

1. Les améliorations passive à l'échelle du bâtiment abandonné :

Le projet de conversion de la zone industrielle d'El Harrach en éco-parc industriel inclut une intervention spécifique au niveau du bâtiment abandonné de la société de matériel SOMABE. Cette intervention se concentrera sur la réhabilitation de la salle de consommation de la cantine de l'entreprise. Les travaux consisteront en des améliorations passives visant à accroître l'efficacité énergétique et le confort de cette salle. Ces améliorations incluront l'isolation thermique, l'installation de vitrages performants et un scénario de ventilation adéquat. Une fois ces améliorations effectuées, un système de récupération de chaleur sera mis en place pour chauffer la salle en utilisant la chaleur résiduelle de la fonderie ALFEL, située dans la même zone industrielle.



Figure 16: vue extérieur sur l'entreprise somabe.

Source : auteur.

1.1.Présentation du bâtiment avant l'amélioration :

Le bâtiment abandonnée (la cantine), faisant partie de l'entreprise SOMABE, est inoccupé depuis plus de 30 ans. Situé dans la zone industrielle d'El Harrach et orienté nord-ouest en l'étage, ce bâtiment, bien qu'ayant été laissé à l'abandon pendant plusieurs décennies, reste en bon état structurel. Cependant, il nécessite des interventions spécifiques pour être réhabilité et optimisé en terme d'efficacité énergétique et de confort.



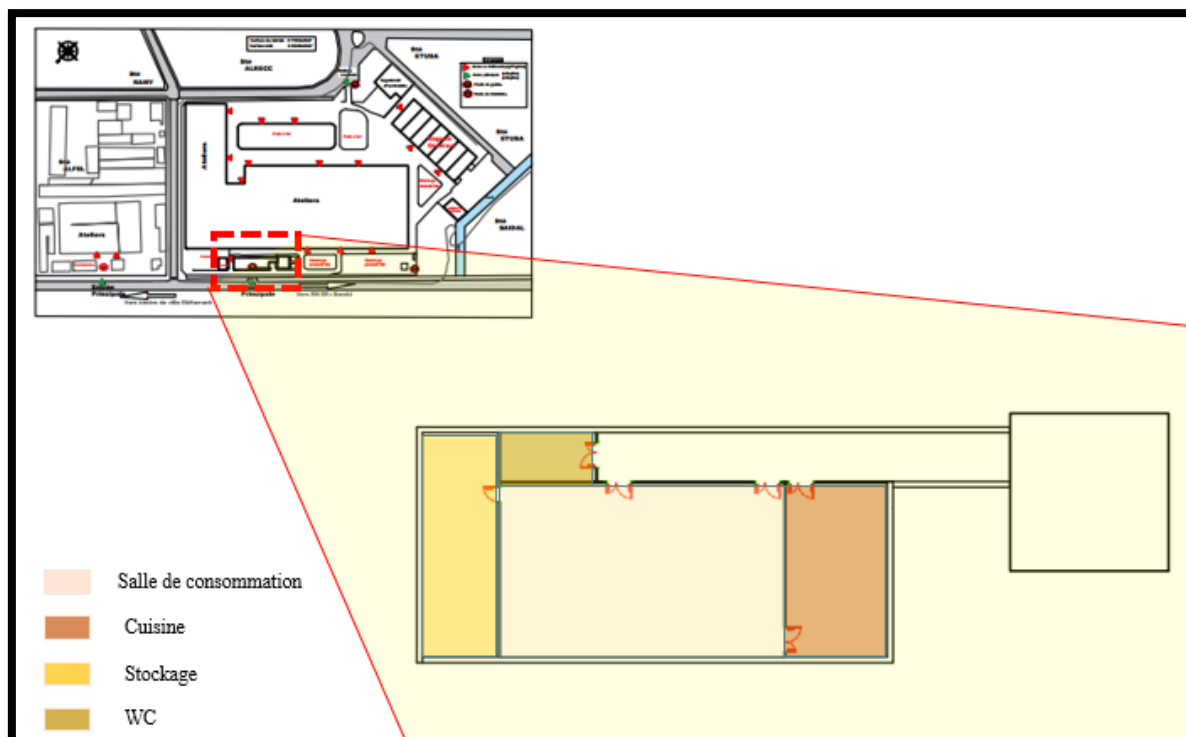
Figure 17: vues sur la salle de consommation de la cantine

Source : auteur.

Dans le cadre de la réhabilitation de la cantine abandonnée de SOMABE, il est crucial de prendre en compte les différents espaces fonctionnels qui composent cette infrastructure. Chacun de ces espaces, notamment la salle de consommation, la cuisine, la zone de stockage, WC et le hall de circulation, joue un rôle essentiel dans le fonctionnement global de la cantine. Toutefois, notre intervention se concentrera principalement sur la salle de consommation, qui nécessite des améliorations passives pour garantir un environnement confortable et éco énergétique.

Tableau 2: Caractéristiques dimensionnelles des espaces de la cantine à améliorer .
Source : auteur.

Zone	Hauteur sous plafond (m)	Longueur (m)	Largeur (m)	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Surface vitré (m ²)
Salle de consommation	3.5	14.9	9.13	136	476	26
Cuisine	3.5	9.13	5.33	48.67	170.34	8.32
Stockage	3.5	11.8	4	47.2	165.2	6.4
WC	3.5	5	2.57	12.85	44.97	/
Couloir	3.5	21.69	2.57	55.74	195.09	/



Elément	Composant	e (m)	λ (w /,m,K)	ρ (Kg/m3)	c (J/kg,K)	U (W/m²K)
Mur extérieur	Enduit ciment	0.02	0.72	1760	840	1.375
	Brique creuse	0.15	0.72	1920	840	
	Lame d'air	0.05	0.15	1800	1	
	Brique creuse	0.10	0.72	1920	840	
	Enduit plâtre	0.013	0.4	1000	1000	
Mur intérieur	Enduit plâtre	0.02	0.4	900	1000	1.789
	Brique creuse	0.10	0.72	1920	840	
	Enduit plâtre	0.02	0.4	900	1000	
Plancher haut	Etanchéité	0.002	0.7	1100	900	1.220
	Dalle	0.2	2.3	2300	1000	
	Faux plafond	0.13	0.25	2800	896	
Plancher Bas	Faux plafond	0.13	0.25	2800	896	1.104
	Dalle	0.2	2.3	2300	1000	
	Enduit ciment	0.02	0.72	1860	840	
	Revêtement de sol	0.025	1.8	2560	800	
Vitrage	Simple	U = 5.778 W /m²K				

Figure 18: schéma illustre le plan de la cantine par rapport la société de matériel de béton

Source : auteur

Pour assurer une réhabilitation efficace et durable de la cantine abandonnée de SOMABE, il est essentiel de déterminer et connaître les caractéristiques des matériaux constituant les différents composants du bâtiment. Une analyse approfondie des propriétés thermique des murs, du plancher bas et du plancher haut permettra de déterminer les interventions nécessaires pour améliorer l'isolation et l'efficacité énergétique.

Tableau 3: Caractéristiques thermo-physiques de différents composants de la cantine avant l'amélioration.

Source : Conçu par l'auteur sur la base des données de designbuilder

De l'extérieur vers l'intérieur

1.2. Les scénarios d'amélioration passive :

Une étude paramétrique d'amélioration passive envisagée, incluant l'isolation thermique, le vitrage performant et la ventilation naturelle, et leur impact potentiel sur la performance énergétique du bâtiment.

➤ Le vitrage :

Pour améliorer l'efficacité énergétique et le confort thermique de la cantine abandonnée de SOMABE, l'installation de vitrages performants constitue une intervention clé. Ce scénario se concentre sur le remplacement des fenêtres existantes par des vitrages à haute performance énergétique, adaptés à l'orientation Nord-Ouest du bâtiment. Pour ce faire, deux configurations ont été étudiées :



Figure 19: schema illustre les différentes configuration de vitrage

source : auteur.

- **Double vitrage (6mm/13mm Argon) :** il est composé de deux panneaux de verre de 6mm d'épaisseur, séparés par une couche de gaz argon de 13mm. Le gaz argon, placé entre les deux vitres, réduit la conductivité thermique et améliore l'efficacité énergétique de la fenêtre en limitant les pertes de chaleur en hiver et réduisant les gains de chaleur en été. Il permet également de diminuer les nuisances sonores provenant de l'extérieur.



Tableau 4: caractéristiques du double vitrage.

Source : base de donnée DESIGNBULDER.

Coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS)	0,704
Transmission solaire directe	0,604
Transmission de lumière	0,781
Valeur du U (ISO10292/ EN 673) (W/m².K)	2,626
Coefficient de transmission thermique U (W/m².K)	2,511

Figure 20: double vitrage.

Source : <https://www.france-fenêtres.fr/>

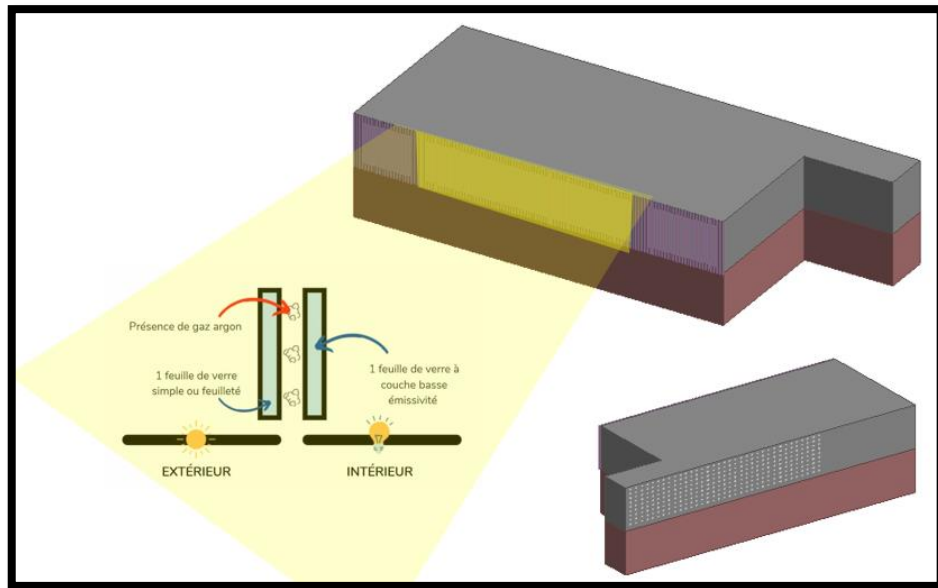


Figure 21: schéma du double vitrage intégré dans la cantine.
Source : auteur

- **Triple vitrage (3mm/13mm Argon) :** trois couche de verre de 3mm d'épaisseur, avec des couches de gaz Argon de 13mm entre chaque vitre. Cette configuration offre une isolation thermique supérieure par rapport au double vitrage, grâce à la réduction supplémentaire de la conductivité thermique.

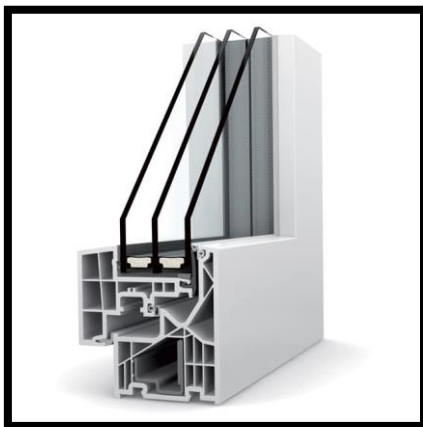


Figure 22: triple vitrage.
Source : <https://www.france-fenêtres.fr/>

Tableau 5: caractéristiques du double vitrage.
Source : base de donnée DESIGNBULDER.

Coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS)	0,685
Transmission solaire directe	0,595
Transmission de lumière	0,738
Valeur du U (ISO10292/ EN 673) (W/m².K)	1,734
Coefficient de transmission thermique U (W/m².K)	1,620

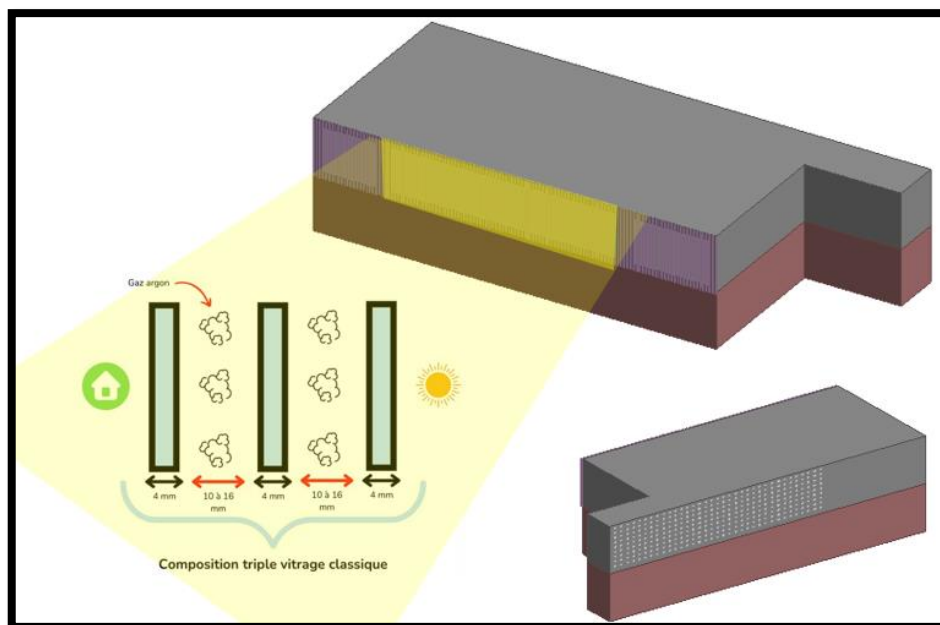


Figure 23: schéma du triple vitrage intégré dans la cantine.

Source : auteur

➤ L'isolation :

Dans le cadre de la reconversion des bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels, notre projet vise à améliorer le confort thermique de la salle de consommation de la cantine, orientée nord-ouest. Pour ce faire, nous avons opté pour des solutions d'isolation passive en utilisant des matériaux biosourcés, à savoir la laine de roche et le liège expansé. Ces matériaux ont été appliqués avec une épaisseur de 6 cm pour les murs et de 10 cm pour les planchers bas et haut.

• La laine de roche :

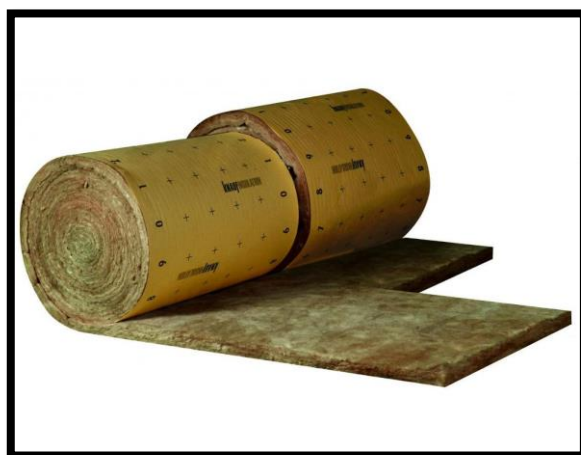


Figure 24: illustration de la laine de roche

Source : <https://www.knaufinsulation.fr/>

Chapitre III: Améliorations à l'échelle du bâtiment

Tableau 6: Caractéristiques thermo-physiques de différents composants de la cantine après l'amélioration avec la laine de roche

Source : Conçu par l'auteur sur la base des données de designbuilder

Source : Conception architecturale sur la base des données de designband						
Elément	Composant	e (m)	λ (w /,m,K)	ρ (Kg/m3)	c (J/kg,K)	U (W/m²K)
Mur extérieur	Enduit ciment	0.02	0.72	1760	840	0.449
	Laine de roche	0.06	0.04	30	840	
	Brique creuse	0.15	0.72	1920	840	
	Lame d'air	0.05	0.15	1800	1	
	Brique creuse	0.10	0.72	1920	840	
	Enduit plâtre	0.013	0.4	1000	1000	
Mur intérieur	Enduit plâtre	0.02	0.4	900	1000	1.789
	Brique creuse	0.10	0.72	1920	840	
	Enduit plâtre	0.02	0.4	900	1000	
Plancher haut	Etanchéité	0.002	0.7	1100	900	0.235
	Dalle	0.2	2.3	2300	1000	
	Laine de roche	0.1	0.04	30	840	
	Faux plafond	0.13	0.25	2800	896	
Plancher Bas	Faux plafond	0.13	0.25	2800	896	0.231
	Laine de roche	0.1	0.04	30	840	
	Dalle	0.2	2.3	2300	1000	
	Enduit ciment	0.02	0.72	1860	840	
	Revêtement de sol	0.025	1.8	2560	800	
Vitrage	Triple	U = 1.620 W /m²K				

- **Liège expansé**



Figure 25:illustration du liège expansé

Source : <https://www.liege24.fr/>

Chapitre III: Améliorations à l'échelle du bâtiment

Tableau 7: Caractéristiques thermo-physiques de différents composants de la cantine après l'amélioration avec le liège expansé.

Source : Conçu par l'auteur sur la base des données de designbuilder

Elément	Composant	e (m)	λ (w /,m,K)	ρ (Kg/m3)	c (J/kg,K)	U (W/m²K)
Mur extérieur	Enduit ciment	0.02	0.72	1760	840	0.434
	Liège expansé	0.06	0.038	120	484	
	Brique creuse	0.15	0.72	1920	840	
	Lame d'air	0.05	0.15	1800	1	
	Brique creuse	0.10	0.72	1920	840	
	Enduit plâtre	0.013	0.4	1000	1000	
Mur intérieur	Enduit plâtre	0.02	0.4	900	1000	1.789
	Brique creuse	0.10	0.72	1920	840	
	Enduit plâtre	0.02	0.4	900	1000	
Plancher haut	Etanchéité	0.002	0.7	1100	900	0.251
	Dalle	0.2	2.3	2300	1000	
	Liège expansé	0.1	0.038	120	484	
	Faux plafond	0.13	0.25	2800	896	
Plancher Bas	Faux plafond	0.13	0.25	2800	896	0.246
	Liège expansé	0.1	0.038	120	484	
	Dalle	0.2	2.3	2300	1000	
	Enduit ciment	0.02	0.72	1860	840	
	Revêtement de sol	0.025	1.8	2560	800	
Vitrage	Triple	U = 1.620 W /m²K				

- Justification du choix des isolants :** Le choix d'utiliser la laine de roche et le liège expansé comme isolants dans notre scénario repose sur plusieurs raisons malgré leurs conductivités thermiques similaires. Le liège expansé, un matériau biosourcé et renouvelable, a un faible impact environnemental et un bilan carbone négatif, absorbant plus de CO₂ qu'il n'en émet lors de sa production. Il est aussi naturellement résistant aux insectes, aux moisissures et offre d'excellentes propriétés acoustiques. La laine de roche, quant à elle, offre une performance thermique comparable, mais est également durable et résistante au feu. Bien que le coût initial du liège expansé puisse être plus élevé, sa durabilité et ses nombreux avantages peuvent rendre le coût total de possession plus avantageux à long terme. Enfin, l'utilisation de matériaux

Chapitre III: Améliorations à l'échelle du bâtiment

biosourcés peut donner droit à des subventions ou incitations fiscales dans certaines régions, réduisant le coût net du projet.

➤ Ventilation :

L'optimisation de la ventilation est une composante essentielle des scénarios d'amélioration passive pour la réhabilitation de la cantine abandonnée de SOMABE. Une ventilation efficace contribue non seulement à améliorer la qualité de l'air intérieur, mais aussi à réguler la température de manière naturelle et économique surtout dans les périodes estivales ou en a des piques de chaleurs. Ce scénario propose une combinaison de ventilation naturelle, avec un taux de renouvellement d'air de 8 volume par heure (8vol/h).⁷ Cette approche intégrée vise à maximiser le confort thermique et la qualité de l'air tout en minimisant la consommation énergétique.

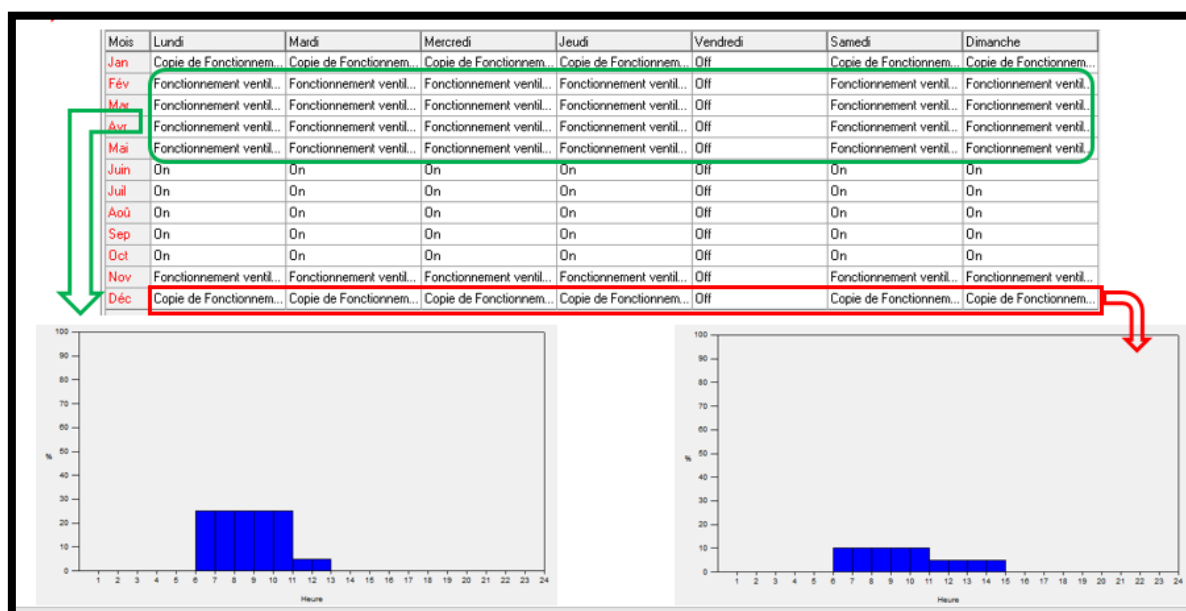


Figure 26: Scénario ventilation naturelle
Source : auteur par le logiciel de simulation Designbuidr.

⁷ Le taux de ventilation recommandé pour une salle de consommation d'une cantine est de **60 à 80 volumes par heure (vol/h)**, selon les normes françaises en vigueur. Ce taux peut être légèrement ajusté en fonction de la capacité de la salle, du nombre de convives et du type de cuisine. **Arrêté du 24 juin 1982 relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement**
(https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGISC)

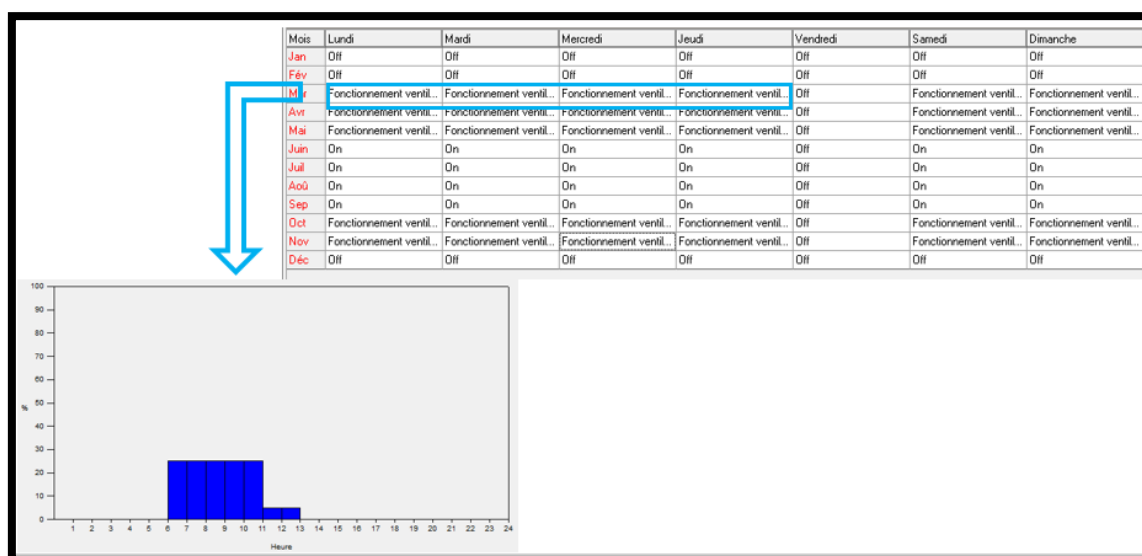


Figure 27: Scénario ventilation mécanique
Source : auteur par le logiciel de simulation Designbuidier.

1.3. Présentation des logiciels utilisés :

➤ DesignBuilder :



Est un logiciel de simulation énergétique et environnementale des bâtiments qui permet d'analyser l'impact des différentes interventions sur le confort thermique et l'efficacité énergétique. Ce logiciel intègre des outils avancés de modélisation pour évaluer la performance énergétique des bâtiments, en tenant compte de divers paramètres. Dans le cas de notre projet, DesignBuilder a été utilisé pour :

- **Simuler des améliorations passives :** Comparaison de l'effet de chaque paramètre d'amélioration, comme l'isolation thermique, les vitrages performants et les systèmes de ventilation, sur la température opérative et les indices de confort.

➤ Meteonorm :

Est un logiciel spécialisé dans la génération de données climatiques pour des lieux spécifiques à travers le monde. Il compile des informations climatiques détaillées et les transforme en fichiers de données utilisables pour les simulations énergétiques et environnementales. Pour notre projet, Meteo a été employé pour :



- **Obtenir des données climatiques précises :** Fournir les conditions météorologiques locales nécessaires pour les simulations énergétiques effectuées dans DesignBuilder.
- **Assurer la précision des simulations :** garantir que les analyses de performance énergétique et de confort thermique reflètent les conditions climatiques réelles du site de la cantine de SOMABE à El Harrach.
- **Les données climatiques :**

La ville d'Alger se bénéficie d'un climat méditerranéen tempéré, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés. Les températures moyennes varient entre 10°C et 30°C tout au long de l'année.

▪ Température

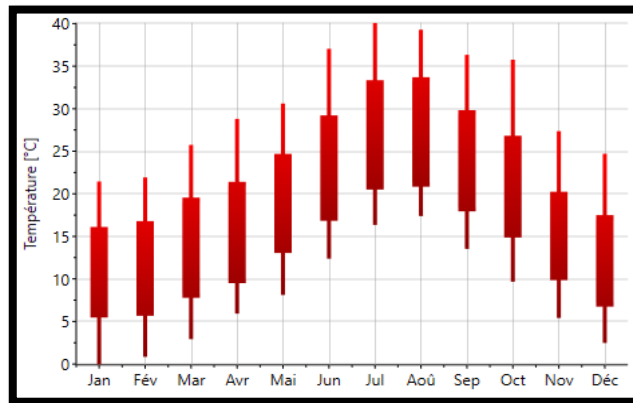


Figure 28: Température minimale et maximale moyenne à Alger.

Source : meteonorme

La saison la plus chaude s'étend de Juin à Septembre, avec des températures moyennes supérieures à 20°C. d'où les mois les plus chauds sont juillet et aout, avec des températures moyennes de 26°C et 27°C respectivement.

La saison la plus froide s'étend de Décembre à Février, avec des températures moyennes inférieures à 15°C. d'où les mois les plus froids sont Janvier et Février, avec des températures de 11°C et 12°C respectivement.

▪ L'ensoleillement

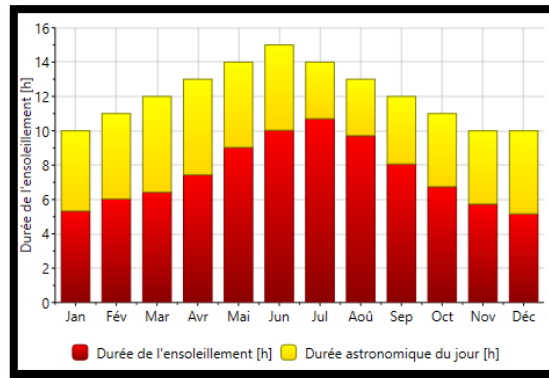


Figure 29: L'ensoleillement à Alger
Source meteonorme

La durée moyenne d'ensoleillement varie entre 2 et 14 heures par jour tout au long de l'année.

Les mois les plus ensoleillés sont Juillet et Aout, avec une durée moyenne d'ensoleillement de 14 heures /jour.

Les mois les moins ensoleillés sont Décembre et Janvier, avec une durée moyenne d'ensoleillement de 2heures/jour.

▪ Rayonnement solaire :

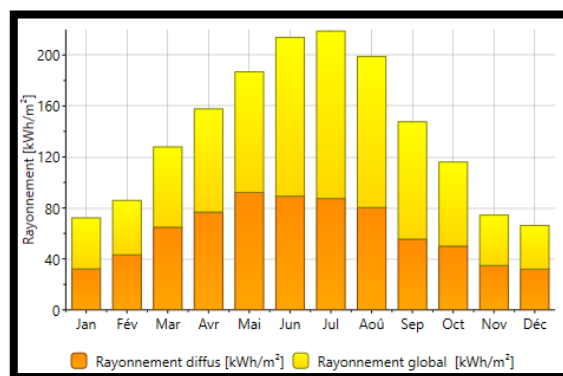


Figure 30: Le rayonnement solaire à Alger.
Source meteonorme

La quantité d'énergie maximale émise par le soleil est de 85 KWh/m² dans le mois de Mai.

La quantité d'énergie minimale émise par le soleil est moins de 46 KWh/m² dans le mois de Décembre.

▪ Précipitation

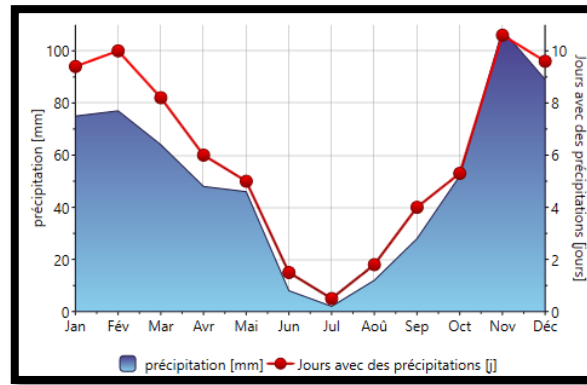


Figure 31: Précipitation à Alger
Source meteonorme

Les précipitations moyennes varient entre 10 et 100 millimètres tout au long de l'année.

Les mois les plus pluvieux sont Décembre et Janvier, avec des précipitations moyennes de 100 millimètres.

Les mois les plus secs sont juillet et août, avec des précipitations moyennes de 10 millimètres.

2. Etude paramétrique et analyses des résultats :

2.1. Introduction :

Nous allons détailler et analyser les résultats des simulations effectuées pour évaluer l'impact des améliorations passives sur la température opérative et les indices de confort thermique PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), mises en œuvre dans la salle de consommation de la cantine de l'entreprise SOMABE. Ces indices sont essentiels pour mesurer le bien-être thermique des occupants et l'efficacité des stratégies de rénovation mis en place.

A l'aide du logiciel de simulation énergétique **DesignBuilder** nous avons modélisé les conditions thermiques avant et après l'implémentation des scénarios de vitrage, d'isolation et de ventilation. La température opérative, qui combine les effets de la température de l'air et de la température des surfaces environnantes, sera analysée pour évaluer le confort thermique global.

Les indices PMV et PPD, développés par Fanger, sont utilisés pour quantifier le confort thermique perçu par les occupants. Le PMV prédit la sensation thermique moyenne d'un groupe de personnes dans un environnement donné, sur une échelle de -3 (froid) à +3

(chaud). Le PPD, quant à lui, estime le pourcentage de personnes susceptible d'être insatisfaites de leur confort thermique.

2.2. Paramètre 01 (le vitrage):

a. Analyse de résultat :

➤ Température opérative :

Le graphique suivant montre les valeurs moyennes mensuelles de la température opérative pour différents types de vitrage (simple, double et triple) tout au long de l'année, en comparaison avec une température de confort et les température extérieurs. Au on a remarqué que:

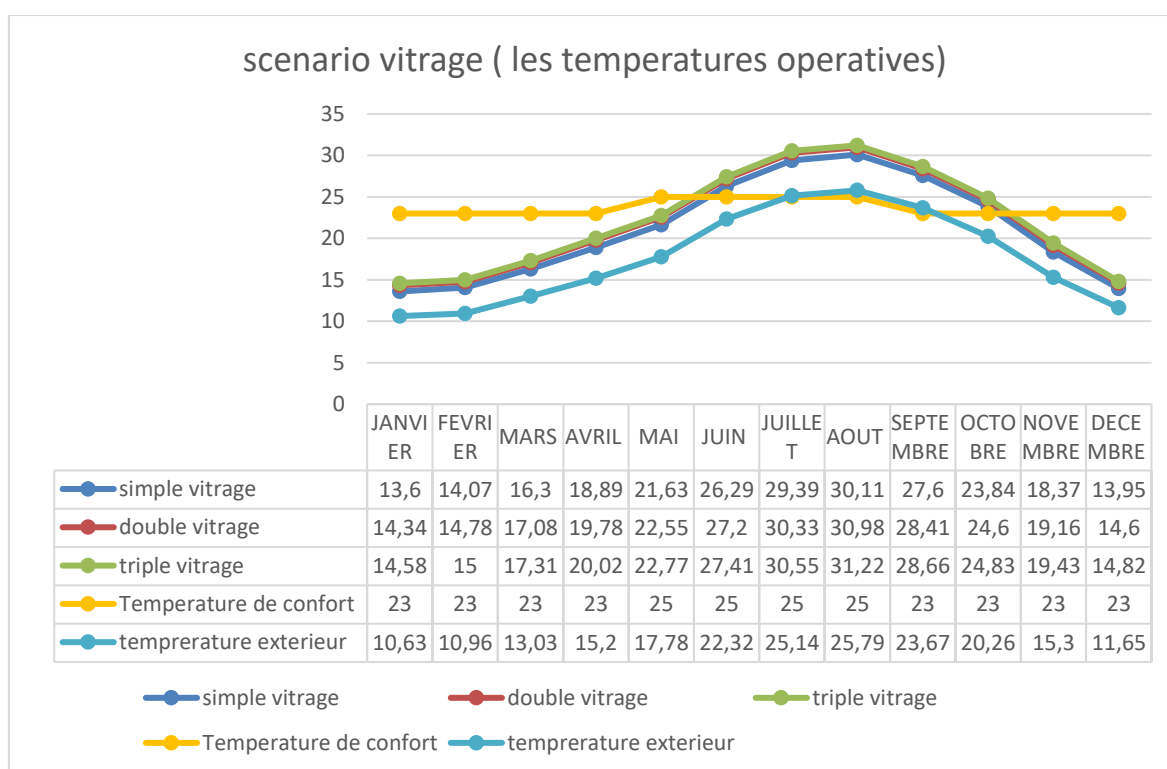


Figure 32: Graphique représente les températures opératives du scenario vitrage.
Source : Designbuilder traité par l'auteur

Les températures opératives augmentent progressivement de Janvier à Juillet, atteignant leur maximum en Juillet-Aout, puis diminuent jusqu'au Décembre. Ces derniers suivent des tendances similaires, mais présentent des variations distinctes.

• Interprétation des Résultats et Justification :

En hiver, le simple vitrage montre une faible performance thermique avec une différence de température notable par rapport à l'extérieur. En Janvier, par exemple, la température opérative est de 13,6°C, alors que la température extérieure est de 10,63°C, soit un écart de seulement 2,97°C. cette très faible isolation entraîne des températures intérieures bien inférieures à la température de confort de 23°C, accentuant le ressenti de froid.

En revanche, le double vitrage offre une amélioration significative. En Janvier, la température opérative avec le double vitrage est de 14,34°C, soit un écart de 3,71°C par rapport à l'extérieur. Bien que cette valeur soit encore inférieur à la température de confort, elle représente une amélioration remarquable par rapport au simple vitrage. Cette tendance se maintient tout au long de l'année, avec des températures opératives plus proches des températures de confort, bien qu'elles restent insuffisantes en période hivernale.

Le triple vitrage, quant à lui, présente la meilleure performance thermique. En janvier, la température opérative est de 14.58°C avec un écart de 3,95°C par rapport à l'extérieur. En Aout, la température opérative avec le triple vitrage est de 31,22°C, tandis que la température extérieure est de 25.79°C soit un écart de 5,43°C. bien que cette valeur soit encore supérieure à la température de confort de 25°C, elle reste plus stable et proche de l'optimal comparée ou autre types de vitrage.

Comparativement, le double vitrage montre une amélioration par rapport au simple vitrage tout en étant moins efficace que le triple vitrage.

➤ **L'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) et L'indice PMV (Predicted Mean Vote) :**

Le graphique suivant montre les résultats de l'indice PMV (Predicted Mean Vote). Ce dernier est une mesure du confort thermique, ou une valeur de 0 représente une situation de confort thermique optimal. Les valeurs positives indiquent une sensation de chaleur, tandis que les valeurs négatives indiquent une sensation de froid.

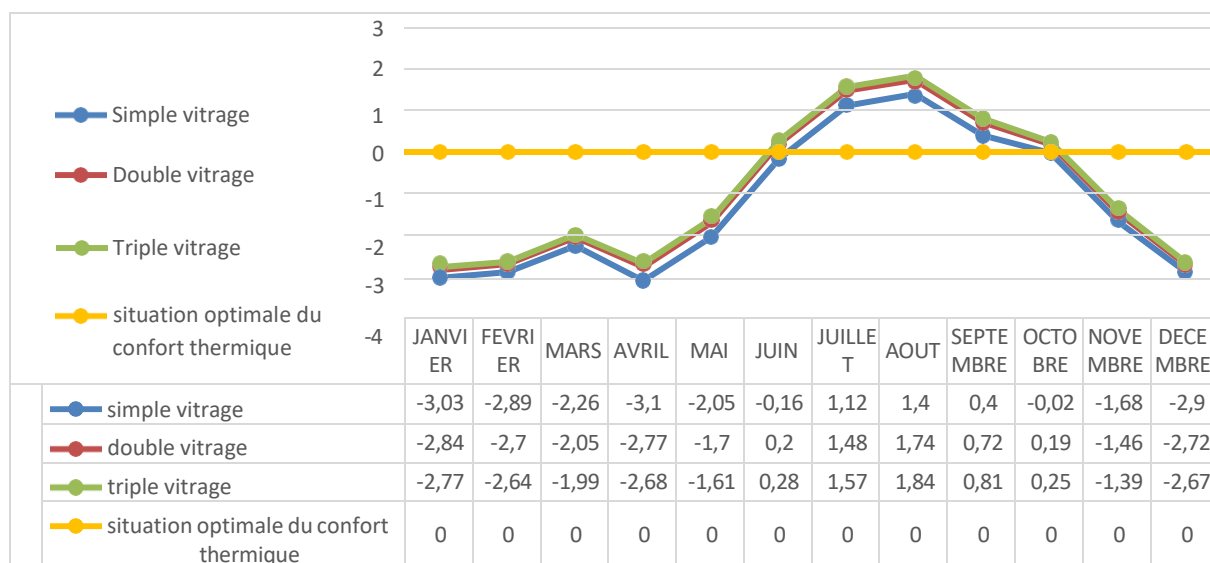


Figure 33: Graphique représente les indices PMV du scénario vitrage.

Source : Designbuilder traité par l'auteur.

Le graphique suivant montre les résultats de l'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) mesure le pourcentage de personnes insatisfaite des conditions thermiques. Des valeurs plus élevées indiquent un niveau plus élevé d'insatisfaction.

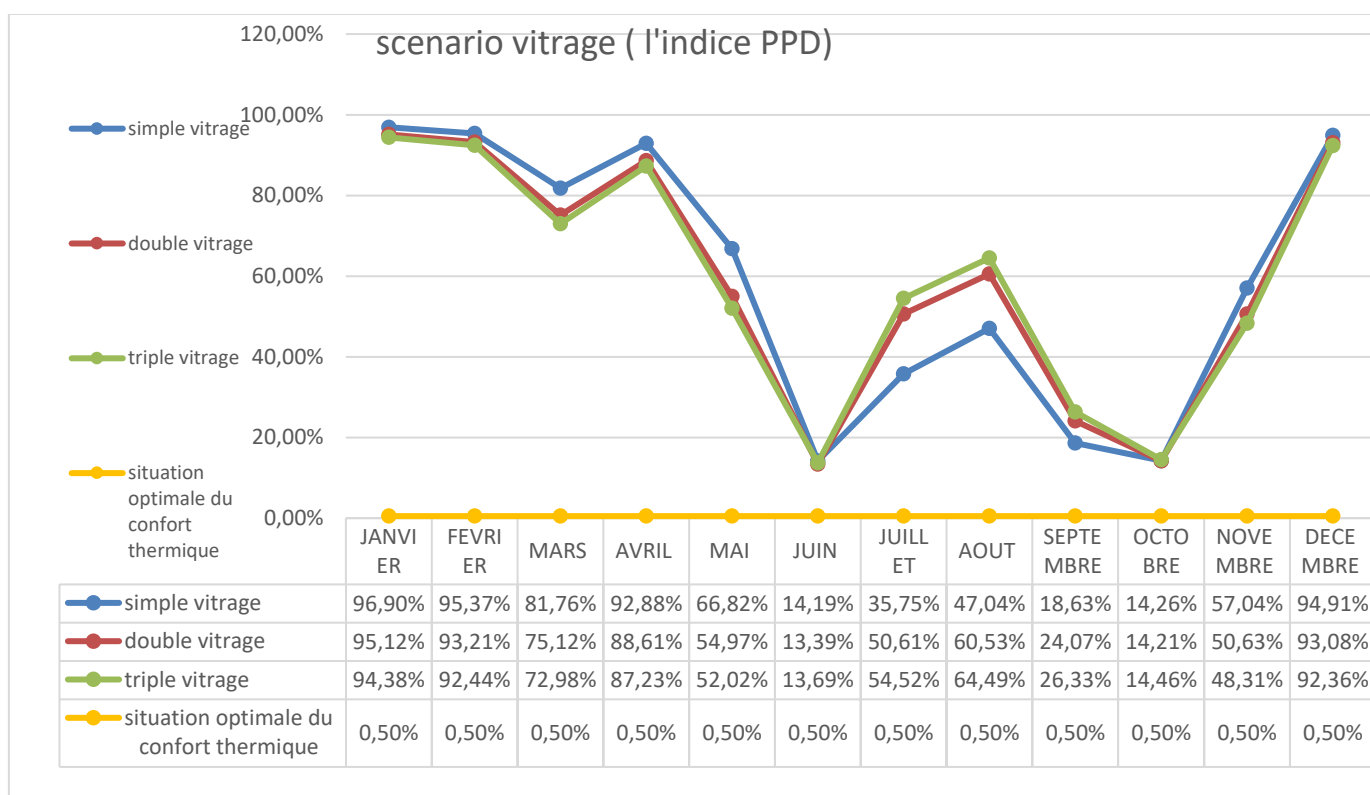


Figure 34: Graphique représente les indices PPD du scénario vitrage.

Source : Designbuilder traité par l'auteur.

- **Interprétation des Résultats et Justification :**

L'analyse des indices PMV et PPD pour les différents scénarios de vitrages relève des variations significatives en termes de confort thermique des occupants. En période hivernale, le simple vitrage présente des valeurs de PMV très négatives (-3,03 en janvier) se qui correspond à une forte sensation de froid et se traduit par un PPD extrêmement élevé de 96,9%, indiquant que la majorité des occupants sont insatisfaits. Le double vitrage, bien que légèrement meilleur, affiche des valeurs PMV encore négatives comme -2,84 en Janvier et un PPD de 95,12%, montrant une amélioration relative mais insuffisante pour atteindre un confort optimal. Le triple vitrage offre la meilleure performance avec des valeurs PMV comme -2,77 en Janvier et un PPD de 94,38%, réduisant le ressenti de froid tout en conservant une insatisfaction notable.

En période estivale, les valeurs PMV deviennent positives, par exemple, 2,14 en Juillet pour le simple vitrage, indiquant une surchauffe excessive, et un PPD qui varie, atteignant 47,04% en Août. Le double vitrage améliore légèrement cette situation avec des valeurs PMV comme 1,74 en Août et un PPD de 60,53%, montrant une réduction de l'indice de l'inconfort thermique. Le triple vitrage, bien que présentant des valeurs de PMV positives comme 1,4 en Août, réussit à maintenir des conditions plus proches de l'optimal avec un PPD de 64,49% offrant ainsi la meilleure réduction des gains de chaleur solaire.

b. recommandation :

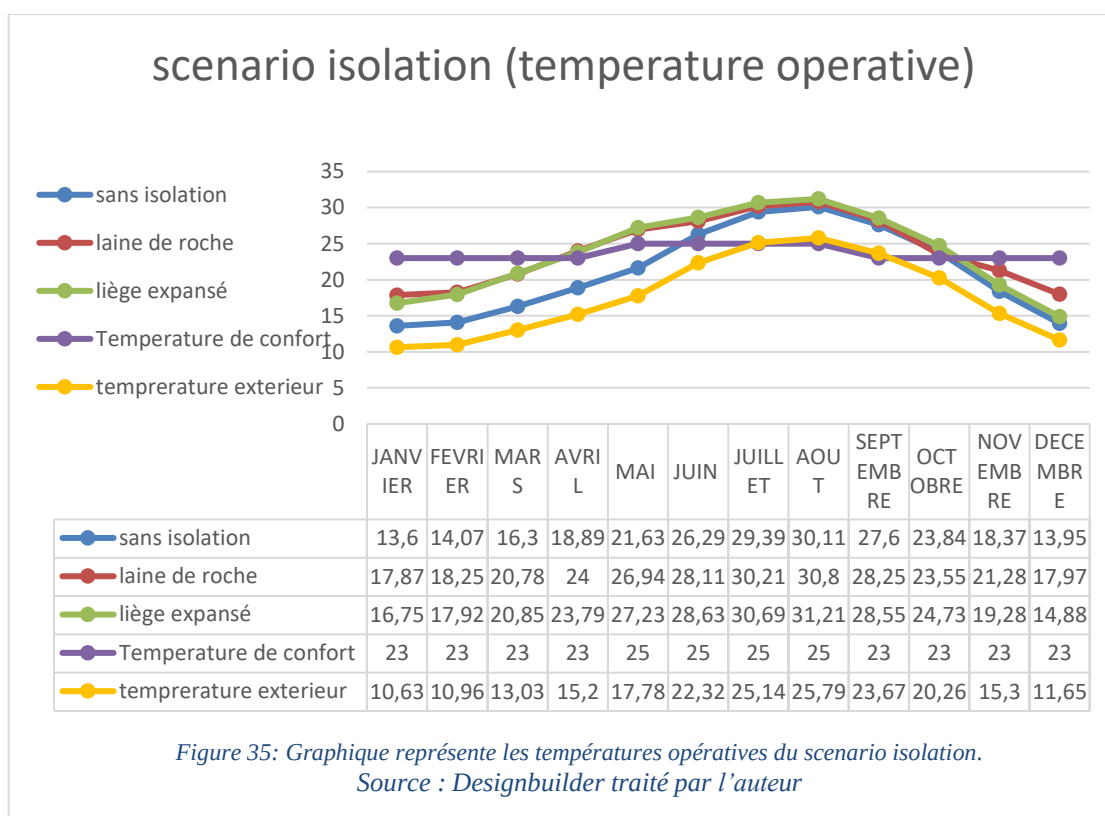
Le triple vitrage se montre être la meilleure solution parmi les options étudiées pour assurer un confort thermique optimal tout au long de l'année avec un gain de température de 1°C pendant les périodes hivernales et estivales. Combiné à des améliorations supplémentaires d'isolation et de ventilation, il permet de minimiser les sensations de froid en hiver et de chaleur en été, tout en assurant une régulation thermique efficace durant les périodes de transition.

2.3.Paramètre 02 (isolation):

a. Analyse des résultats:

Selon les recommandations proposées après l'analyse de l'impact de vitrage sur l'amélioration énergétique du bâtiment. Nous avons opté pour des solutions d'isolation passive en utilisant la laine de roche et le liège expansé.

➤ Température opérative :



Le graphique montre les variations de la température opérative mensuelle pour trois scénarios différents : sans isolation, avec isolation en laine de roche, et avec isolation en liège expansé, comparées à la température de confort.

Tableau 8: interprétation du scenario isolation

Source : auteur.

Variante	Période hivernale	Période estivale
Sans isolation	Températures basses (13,6°C en Janvier à 16,3°C en Mars), bien en dessous de la température de confort.	Températures plus élevées, atteignant un pic de 30,11°C en Aout, dépassant la température de confort.
Isolation avec la laine de roche	Amélioration notable des températures opératives (17,87°C en Janvier à 20,78°C en Mars), se rapprochant de la température de confort mais encore insuffisantes.	Températures opératives bien régulées, atteignant 30,21°C en Aout, mais dépassant légèrement la température de confort.
Isolation avec liège expansé	Températures légèrement inférieures à celles de la laine de roche (16,75°C en Janvier à 20,14°C en Mars),	Régulation efficace des températures opératives, atteignant 30,69°C en Aout, également au-dessus de la

	mais encore bien meilleures que sans isolation.	température de confort.
--	---	-------------------------

➤ **L'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) et L'indice PMV (Predicted Mean Vote) :**

Le graphique suivant présente les variations de l'indice PMV (Predicted Mean Vote) pour trois scénarios différents: sans isolation, avec isolation en laine de roche, et avec isolation en liège expansé, comparés à la situation optimale du confort thermique (PMV=0).

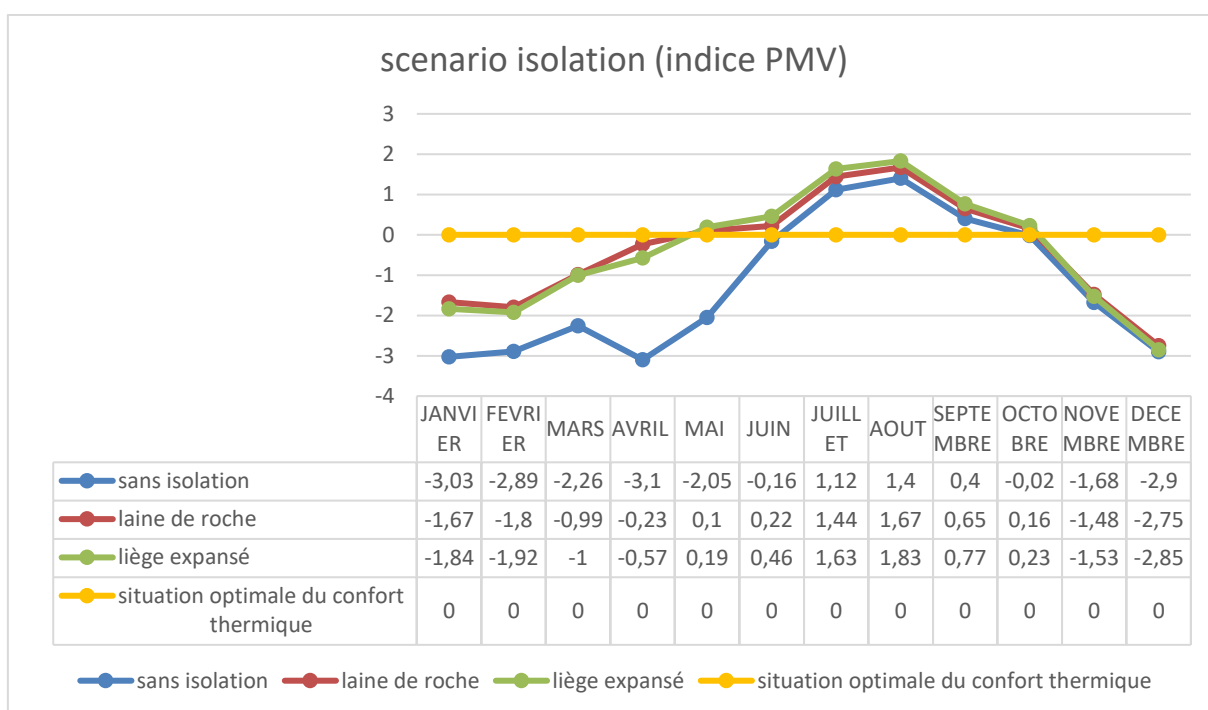


Figure 36: Graphique représente les indices PMV du scenario isolation.

Source : Designbuilder traité par l'auteur

Le graphique montre les variations de l'indice de PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) pour trois scénarios différents: sans isolation, avec isolation de laine de roche, et avec isolation en liège expansé, comparés à la situation optimale du confort thermique (PPD=0,5%).

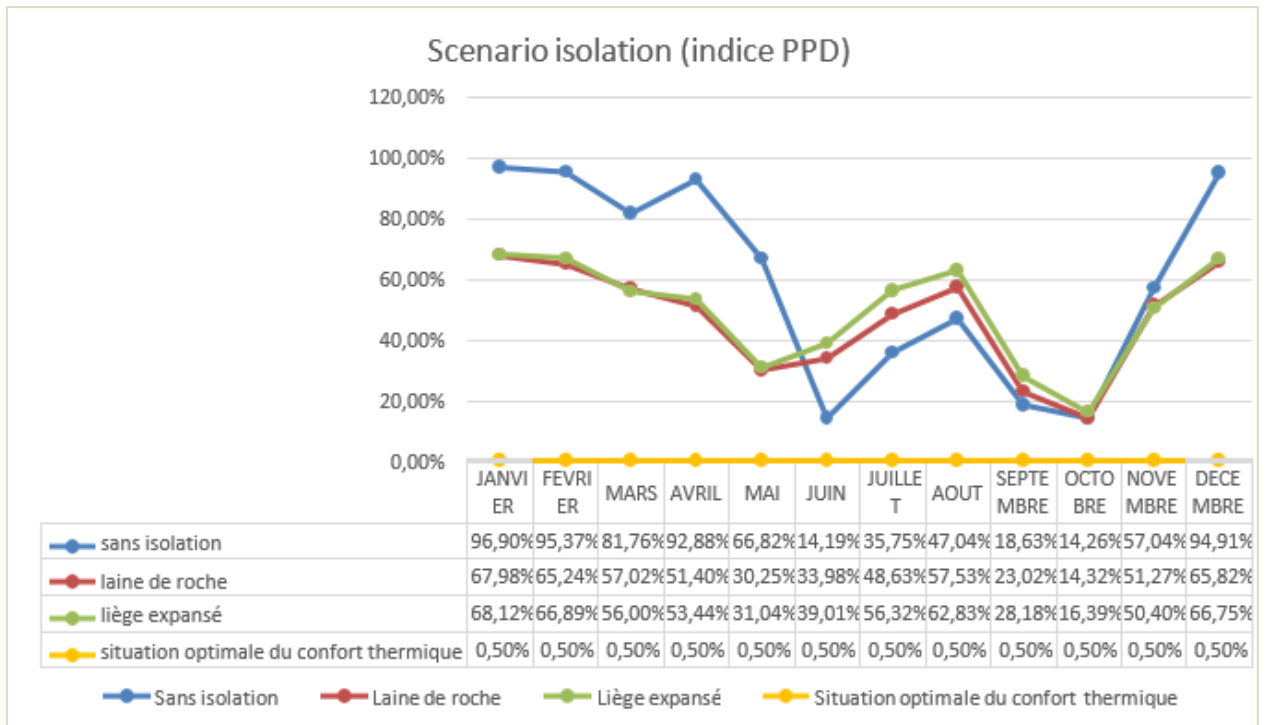


Figure 37: Graphique représente les indices PPD du scenario isolation.
Source : Designbuilder traité par l'auteur.

Le scénario d'isolation révèle une amélioration notable du confort thermique dans le bâtiment. En hivers, sans isolation, l'indice PMV atteint des valeurs aussi basses que -3,03 en Janvier, indiquant un fort inconfort thermique. Avec l'isolation par laine de roche et liège expansé, ces valeurs s'améliorent respectivement à -1,8 et -1,92. Cette tendance se reflète également dans les indices PPD correspondants, où sans isolation, le pourcentage de personnes insatisfaites atteint 96,90% en janvier, tandis qu'avec l'isolation, il baisse à environ 67,98% pour la laine de roche et 68,12% pour liège expansé. En été, les indices PMV pour les isolants sont proche de 1,67 et 1,83 en Aout, comparés à 1,4 sans isolation. Les matériaux d'isolation réduisent la proportion d'individus insatisfaits, mais l'indice PPD montre encore une proportion significative d'insatisfaits, particulièrement pendant les mois les plus chauds.

b. Recommandation :

Pour déterminer quel matériaux utiliser entre la laine de roche et le liège expansé, il est important de comparer leurs performances respectives en fonction des critères de confort thermique tout au long de l'année, ainsi que d'autres facteurs tels que la durabilité, le cout, et les impacts environnementaux.

➤ Comparaison des Performances

1. Confort Thermique en Hiver

- **Laine de Roche:** Montre une réduction significative de l'inconfort thermique (PMV et PPD) en hiver par rapport à la situation sans isolation.
- **Liège Epansé:** Offre des performances similaires à celles de la laine de roche en hiver, avec des indices PMV et PPD également améliorés.

2. Confort Thermique en Été

- **Laine de Roche :** Réduit l'inconfort thermique en été, mais des indices PPD montrent une tendance à la surchauffe pendant les mois les plus chauds.
- **Liège Expansé:** Montre une performance légèrement meilleure en été par rapport à la laine de roche, avec des indices PPD indiquant une surchauffe moins prononcée.

➤ Critères Additionnels

1. Durabilité et Résilience:

- **Laine de Roche:** Est durable, résiste bien au feu et aux moisissures, mais peut perdre de son efficacité thermique s'il est exposé à l'humidité.
- **Liège Expansé:** Est très durable, résistant à l'humidité, aux insectes et au feu, et conserve ses propriétés isolantes sur le long terme.

2. Impact Environnemental:

- **Laine de Roche:** Bien qu'elle soit efficace, sa production est énergivore et peut avoir un impact environnemental plus élevé.
- **Liège Expansé:** Est un matériau 100% naturel et renouvelable, avec un cycle de vie plus écologique et une empreinte carbone plus faible.

Le scénario d'isolation thermique avec la laine de roche et le liège expansé offre des avantages notables en termes de confort thermique, surtout en hiver. Toutefois, des ajustements et des améliorations supplémentaires sont nécessaires pour atteindre un confort thermique optimal tout au long de l'année. En appliquant des stratégies complémentaires comme l'amélioration de la ventilation, il est possible de créer un environnement intérieur plus confortable et énergétiquement efficace.

En tenant compte de tous ces facteurs, **le liège expansé semble être le matériau le plus avantageux** pour les raisons suivantes:

- **Performance Thermique:** Offre des performances légèrement meilleures en été, ce qui est crucial pour maintenir le confort thermique tout au long de l'année.

- **Durabilité:** Plus résistant à l'humidité et conserve ses propriétés isolantes sur le long terme.
- **Impact Environnemental:** Plus écologique et renouvelable, réduisant l'empreinte carbone de votre projet.

2.4. Paramètre 03 (la ventilation):

Une approche clé pour atteindre l'objectif de l'amélioration du confort thermique est l'intégration de la ventilation, qui joue un rôle crucial dans la régulation de la température intérieure et la qualité de l'air. La ventilation, qu'elle soit naturelle ou mécanique, permet de réduire la surchauffe en été et d'améliorer le confort des occupants tout au long de l'année.

Pour évaluer l'impact de la ventilation, nous avons comparé deux scénarios: le bâtiment sans ventilation et bâtiment avec ventilation. L'analyse a été réalisée en tenant compte des variations saisonnières et en se focalisant particulièrement sur les mois d'été, où les températures élevées posent des défis significatifs en termes de confort thermique.

Les résultats obtenus permettent de comprendre l'efficacité de la ventilation dans la régulation des températures opératives de l'espace.

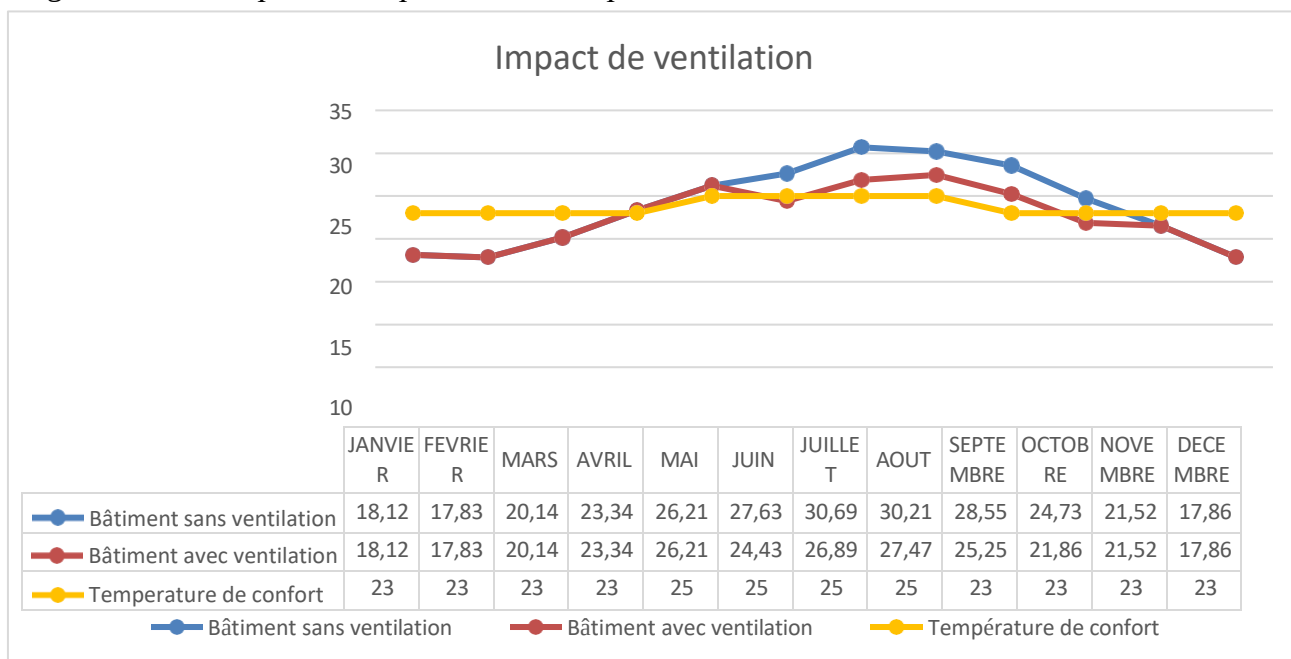


Figure 38: Graphique représente l'impact de la ventilation sur les températures opératives de la cantine.
Source : Designbuilder traité par l'auteur.

a. L'interprétation

L'effet de la ventilation est plus prononcé pendant les mois d'été. La ventilation aide à réduire les températures opératives, diminuant les pics de chaleur. En Juillet, la température passe de 30,69°C sans ventilation à 26,89°C avec ventilation. Cette amélioration est due à l'augmentation du renouvellement de l'air, qui aide à évacuer la chaleur accumulée à l'intérieur du bâtiment.

2.5. Conclusion générale

Les résultats démontrent que l'intégration de matériaux et techniques avancés comme le triple vitrage, l'isolation par le liège expansé et la ventilation améliore significativement le confort thermique et la performance énergétique des bâtiments. Ces améliorations permettent de réduire les fluctuations de température, de diminuer les besoins en énergie pour le chauffage et la climatisation, et d'améliorer la qualité de l'air intérieur. En conclusion, ces interventions offrent une solution durable et efficace pour atteindre un confort thermique optimal et une meilleure efficacité énergétique dans le contexte de la rénovation de bâtiments industriels en éco-parc industriel.

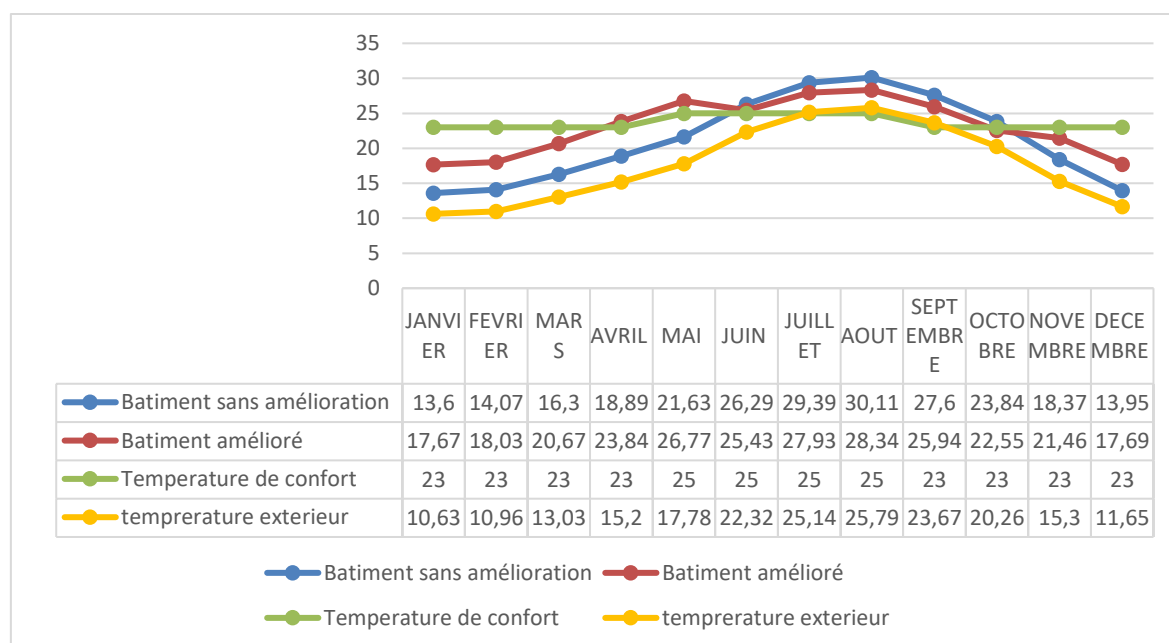


Figure 39: Graphique représente les températures opératives du bâtiment avant et après l'amélioration.

Source : Designbuilder traité par l'auteur.

Chapitre IV

(Dimensionnement Du système de Récupération de chaleur)

Chapitre IV

1. L'intervention à l'échelle du parc industriel :

Après avoir réhabilité passivement la partie abandonnée de l'entreprise SOMABE, il est apparu que les améliorations apportées ne suffisaient pas pour assurer un confort hivernal optimal. Cela nécessite le recours à des systèmes actifs de chauffage avec des besoins estimés à 4,45Kw⁸. Pour répondre à ce besoin de manière durable et éco énergétique, une intervention se poursuit à une échelle plus large, impliquant un échange de chaleur au sein du parc industriel d'El Harrach. Cette phase de l'intervention vise à exploiter la synergie industrielle entre les entreprises présentes, en récupérant la chaleur résiduelle de la fonderie ALFEL pour chauffer la cantine réhabilitée de SOMABE.

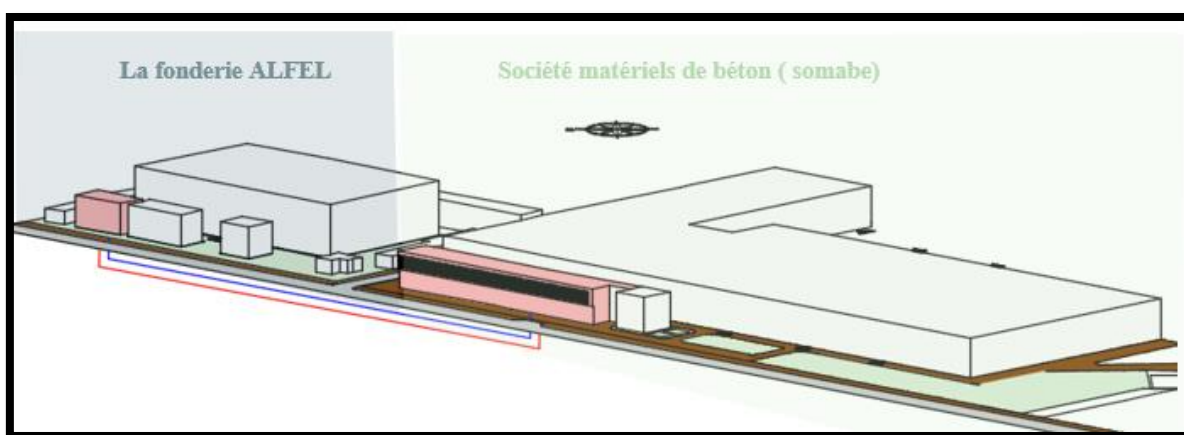


Figure 40: Figure : illustration de la synergie industrielle entre la fonderie et SOMABE.
Source : auteur.

La fonderie ALFEL présente plusieurs sources de chaleur résiduelle significatives. Notamment, la fumée émise atteint des températures pouvant aller jusqu'à 300°C (selon la responsable de l'environnement de la fonderie), tandis que la chambre des compresseurs génère une chaleur résiduelle d'environ 90°C. Ces sources de chaleurs, dissipée et perdue dans l'atmosphère, représente une source énergétique précieuse pour d'autres installations du parc industriel. En récupérant et en exploitant cette chaleur de la chambre des compresseurs, il est possible de chauffer efficacement la cantine de SOMABE, réduisant ainsi la consommation énergétique globale et optimisant l'efficacité énergétique du parc industriel.

⁸ DesignBuilder après simulation des paramètres passives.

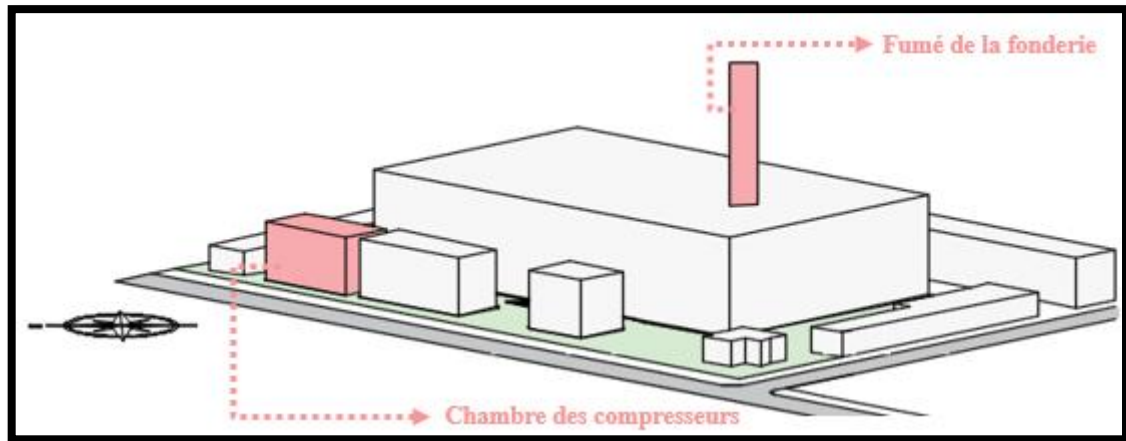


Figure 41: le potentiel de chaleur perdu de la fonderie. Source : auteur.

1.1. Détail d'intervention :

- **Source de Chaleur** : Chambre des compresseurs de la fonderie ALFEL, avec un potentiel thermique de 90°C.



Figure 42: la chambre de compresseur dans la fonderie ALFEL. Source : auteur.

- **Technologie utilise** : un échangeur de chaleur de type à plaque comme système de récupération de chaleur, conçu pour capter la chaleur résiduelle émise par les compresseurs.

Le principe général d'un échangeur de chaleur consiste à faire circuler deux fluides à travers des conduits qui les mettent en contact thermique. De manière générale, les deux fluides sont mis en contact thermique à travers une paroi le plus souvent métallique, ce qui favorise les échanges de chaleur. On a en générale un fluide chaud qui cède de la chaleur à un fluide froid.

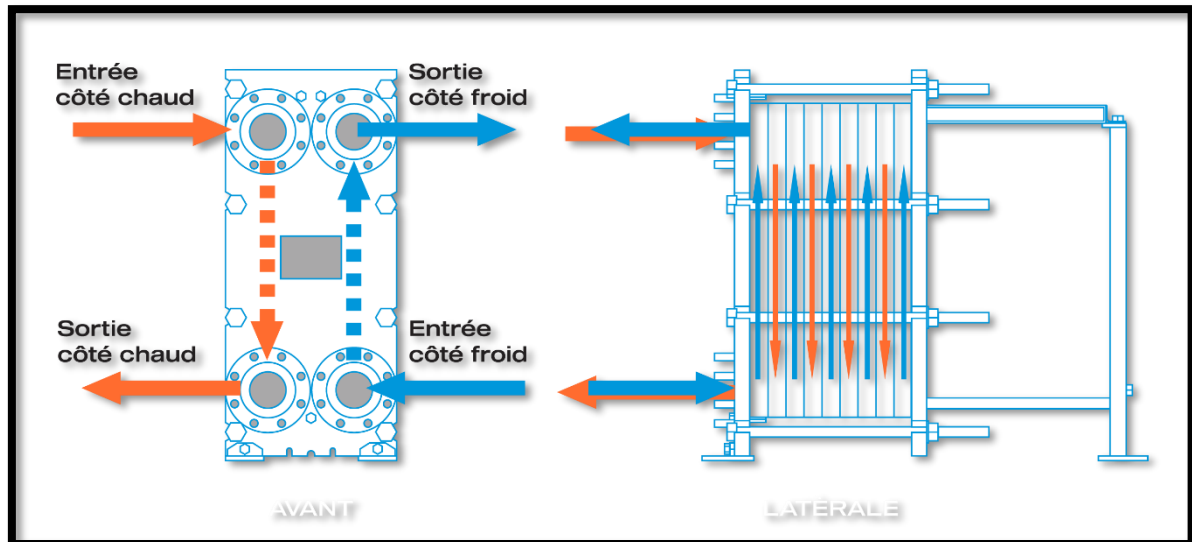


Figure 43: échangeur à plaque.

Source : <https://www.arsopi-thermal.pt/fr/produits/echangeurs-de-chaleur-a-plaques-et-joints/>

L'échangeur de chaleur à plaques est une technologie de transfert thermique largement utilisée pour ses performances élevées et sa compacité. Ce type d'échangeur est composé de multiples plaques minces en métal, généralement en acier inoxydable, qui sont assemblées de manière à créer des canaux par lesquels les fluides chaud et froid circulent alternativement. La chaleur est transférée d'un fluide à l'autre à travers les plaques, offrant ainsi une grande surface d'échange dans un volume réduit.



Figure 44: différentes configurations d'échangeurs

Source : <https://www.alfalaval.fr/>

▪ Justification du Choix de l'Échangeur de Chaleur à Plaques

1. **Efficacité Thermique** : L'échangeur de chaleur à plaques offre un transfert de chaleur très efficace en raison de la grande surface d'échange relative à son volume. Cela permet une récupération maximale de la chaleur résiduelle, ce qui est essentiel pour chauffer la cantine de SOMABE de manière optimale.

2. **Compacité** : Comparé à d'autres types d'échangeurs, Cette compacité facilite son installation et son intégration dans des espaces restreints au sein du parc industriel.
3. **Flexibilité** : facile a ajusté ou étendu pour répondre à des besoins variables de transfert de chaleur.
4. **Facilité de Maintenance et Coût économique.**

1.2. Description du système de récupération :

Dans le cadre de la conversion du parc industriel d'El Harrach en éco-parc, une intervention clé a été réalisée pour récupérer la chaleur résiduelle de la fonderie ALFEL, particulièrement celle de la chambre des compresseurs à 90°C. Un échangeur de chaleur à plaques a été installé pour exploiter cette chaleur. Cette technologie, reconnue pour son efficacité thermique et sa compacité, permet de transférer la chaleur directement au système de chauffage de la cantine de SOMABE, couvrant ainsi la totalité des besoins en chauffage.

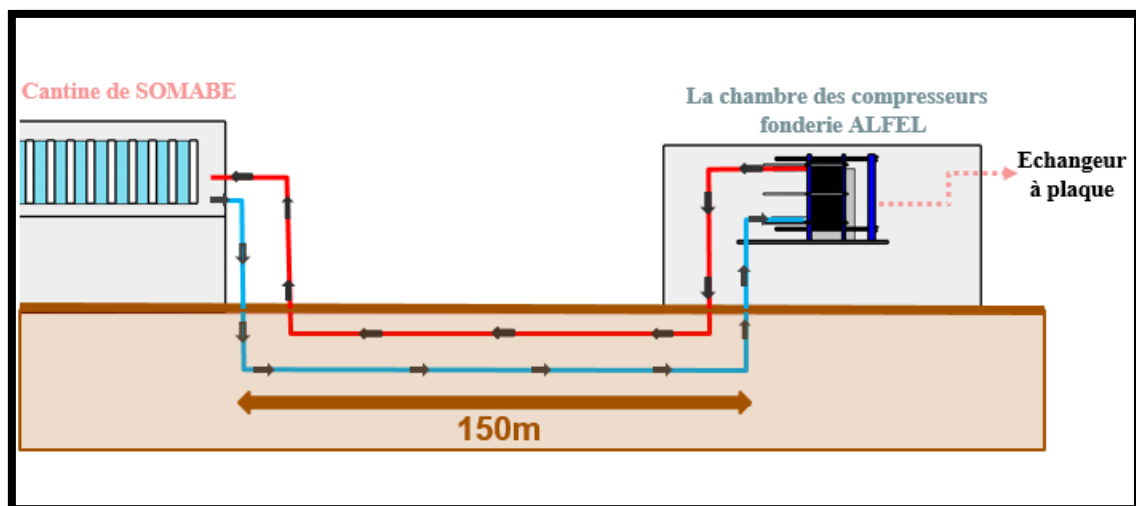


Figure 45: schéma de fonctionnement du système.
Source : auteur.

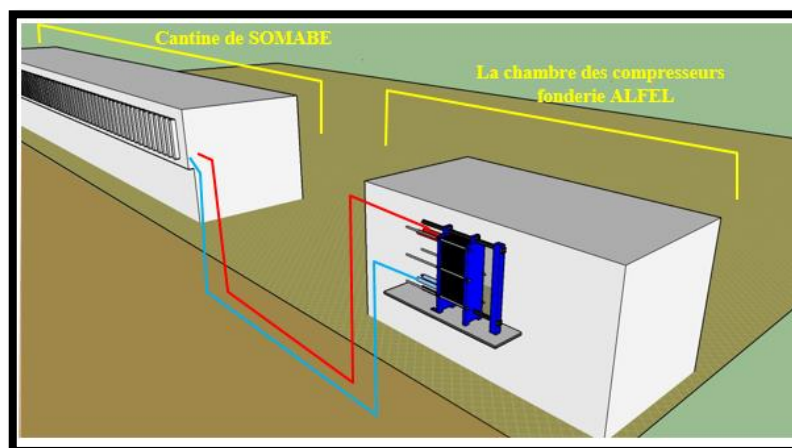


Figure 46: schéma de fonctionnement du système.

Source : auteur.

1.3.Méthode de calcul :

Nous avons utilisé un modèle mathématique rapporté de la littérature pour le dimensionnement de surface de captation de l'échangeur, ce modèle a été calculer à la base du livre Fundamentals of heat and mass Transfer.⁹

2. Dimensionnement de l'échangeur :

2.1. Les conditions initiales :

- Ecoulement des deux fluides croisés : Les deux fluides s'écoulent perpendiculairement l'un à l'autre

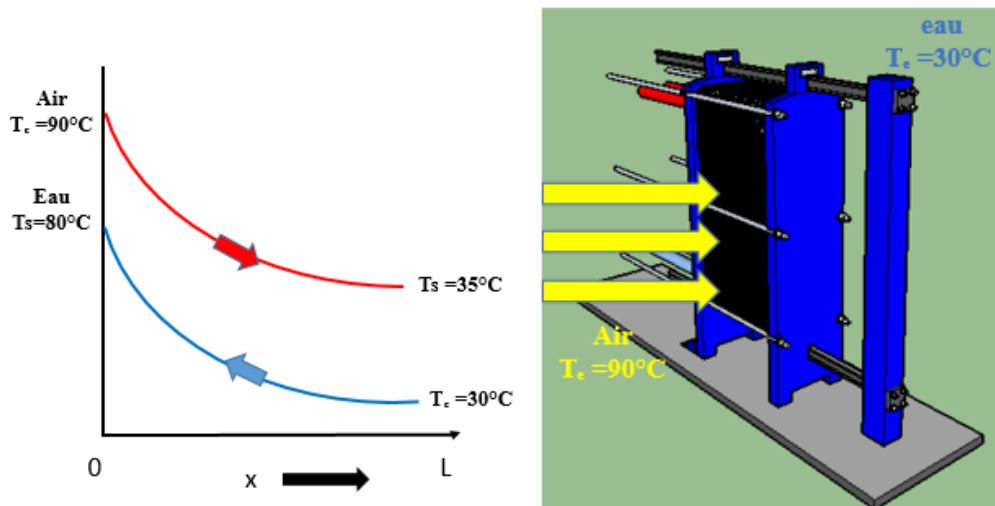


Figure 47: la direction de Ecoulement des deux fluides croisés

Source : auteur

- Pour capter un maximum de calories (chaleur) de la source de chaleur de la chambre des compresseurs de la fonderie ALFEL, nous avons opté pour un tube serpentin dans l'échangeur de chaleur. Pour les raisons suivantes:
 - Surface d'Échange Maximale ;
 - La configuration en serpentin favorise un écoulement turbulent du fluide, même à des vitesses relativement basses. Le régime turbulent améliore le transfert de chaleur en augmentant le coefficient de convection à l'intérieur du tube, ce qui signifie que plus de chaleur est transférée du fluide chaud au fluide froid.
 - Distribution Uniforme de la Chaleur ;

⁹ FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courier companies. [ISBN: 0-471-61246-4] .

- Débit massique dans les deux fluides est constant ;
- Chaleur spécifique de l'air et de l'eau constant ;
- La variation du coefficient d'échange globale le long du canal en considère constant.
- Régime permanent d'échange ;
- Les besoins en chauffage $Q = 4,45 \text{ KW} = 4450 \text{ W}$;

Tableau 9: les données nécessaires pour les calculs.
Source : voir annexe 02.

	L'air (fluide chaud)	L'eau (fluide froid)
Température d'entrée(°C)	90	30
Température de sortie (°C)	35	80
Débit massique (Kg/s)	7,89	21,31
Masse volumique(Kg / m ³)	1,3	993
Chaleur spécifique Cp (J/Kg.°C)	1250	4180
Conductivité thermique (W/m.°C)	0,024	0,62
Viscosité dynamique (Kg / m.s)	$2,09 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-3}$

2.1. Calcule de la surface de captation :

1. Calcule des débits massiques :

- Débit d'air :

Équation 1 débit d'air $m = \rho \cdot V \cdot S$ [1]

Avec ρ masse volumique de l'air

S la surface

Et V la vitesse de l'air chaud fait par une investigation expérimentale qui sa nous permet de mesurer la vitesse de l'air chaud récupérer en utilisant un anémomètre durant la date 09 juin 2024. D'où on a opté à $V = 28 \text{ Km/h}$. (voir annexe 03)

$$V = 7.78 \text{ m/s}$$

Alors d'après [1] $m = 1.3 \times 7.78 \times 0.078$

$$m = 7.89 \text{ Kg/s}$$

Les dimensions de la source de chaleur perdue

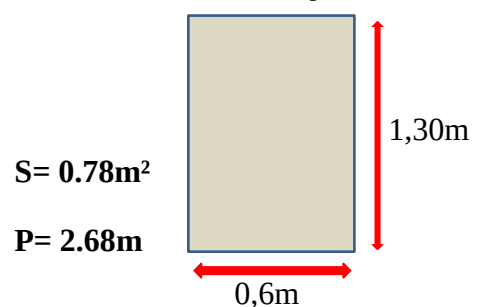




Figure 48: illustration lors de la mesure de la vitesse de l'air chaud.
Source : auteur.

- Débit de l'eau :

Équation 2 débit de l'eau: $P = q_v \times 1.16 \times \Delta t$ [2]

Avec P c'est la puissance en (W) , q_v le débit volumique en (m³/h) et l'écart de température (ΔT) de l'eau.¹⁰

D'après [2] on obtient :

$$q_v = \frac{P}{1.16 \times (T_s - T_e)} = \frac{4450}{1.16 \times (80 - 30)}$$

$$q_v = 76.72 \text{ m}^3/\text{h} = 21.31 \text{ Kg/s}$$

2. La formule de la puissance Q

La puissance Q d'un échangeur peut s'écrire de la manière suivante :

¹⁰ Jean-Paul Fohr , 2010, Thermodynamique des systèmes fluides et des machines thermiques, Hermès - Lavoisier.

Équation 3 la puissance de l'échangeur

$$Q = U \cdot S \cdot \Delta_{Tm} \cdot F \quad [3]^{11}$$

Avec U est le coefficient de transmission thermique surfacique moyen, S la surface d'échange, Δ_{Tm} représente l'écart de température moyen entre les deux fluides et F le facteur de correction.

L'équation [3] peut ainsi s'écrire :

Équation 4 La puissance de l'échangeur $Q = U \cdot S \cdot \Delta_{Tm} \cdot F = m_c c p_c (T_{ce} - T_{cs}) = m_f c p_f (T_{fs} - T_{fe})$
[4]¹²

Où m représente le débit massique (kg/s) et Cp la chaleur spécifique (J/kg K), les indices f et c sont relatifs aux fluides froid et chaud et les indices s et e à l'entrée et à la sortie de l'échangeur.

3. Calcul de l'écart de température moyen entre le fluide chaud et froid

Δ_{TLM} (l'écart logarithmique moyen)

Équation 5: Δ_{TLM} (l'écart logarithmique moyen) $\Delta_{Tm} = \frac{\delta - \Delta}{\ln[\delta/\Delta]} \quad [5]^{13}$

Avec $\delta = (T_{ce} - T_{fs})$ et

$$\Delta = (T_{cs} - T_{fe})$$

$$\Delta_{Tm} = \frac{\delta - \Delta}{\ln[\delta/\Delta]} = \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \left[\frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}} \right]} = \frac{(90 - 80) - (35 - 30)}{\ln \left[\frac{(90 - 80)}{(35 - 30)} \right]}$$

$$\Delta_{Tm} = 7.21^\circ C$$

4. Calcule le facteur de correction F :

F est donné par les abaques des figures suivants :

Équation 6 facteur de correction $R = \frac{T_i - T_o}{t_o - t_i} \quad [6]^{14}$

$$R = \frac{T_{ce} - T_{cs}}{T_{fs} - T_{fe}} = \frac{90 - 35}{80 - 30}$$

$$R = 1.1$$

¹¹ FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courriel companies. [ISBN: 0-471-61246-4] page 648.

¹² FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courriel companies. [ISBN: 0-471-61246-4] page 646.

¹³ FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courriel companies. [ISBN: 0-471-61246-4] page 648.

¹⁴ Ibid. page 652.

$$P = \frac{t_0 - t_i}{T_i - t_i}$$

$$P = \frac{T_{FS} - T_{Fe}}{T_{ce} - T_{Fe}} = \frac{80 - 30}{90 - 30}$$

$$P = 0.83$$

$$F \cong 0.83$$

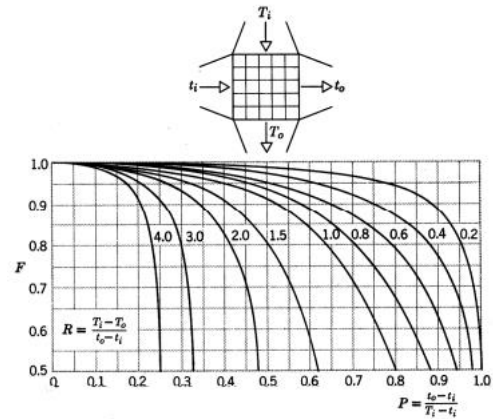


Figure 49: Echangeur à courants croisés - 2 fluides brassés

5. Calcul coefficient de transmission thermique U :

Le coefficient de transmission thermique U d'un échangeur de chaleur est une mesure de la capacité de l'échangeur à transférer la chaleur entre deux fluides séparés par une paroi solide. Ce coefficient est crucial pour évaluer l'efficacité de l'échangeur de chaleur. Il est exprimé en watts par mètre carré par degré Kelvin (W/(m².°C)).

Équation 7 coefficient de transmission thermique U
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_F} + R_{ec} + R_{eF}$$
 [7]¹⁵

Avec h_c coefficient de transfert thermique du fluide chaud en W/m².°C

h_F Coefficient de transfert thermique du fluide froid en W/m².°C

$\frac{e}{\lambda} = 0$ à cause des épaisseurs très petits des lames de l'échangeur.

Et $R_{ec} + R_{eF} = 0$ c'est la résistance d'encrassement, vue que l'installation est nouvelle.

Alors

Équation 8 coefficient de transmission thermique U
$$U = \left(\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_F} \right)^{-1}$$
 [8]

6. Calcule du coefficient h_c (fluide chaud air) :

■ Calcule du nombre de REYNOLDS :

Nous savons que le transfert thermique entre les deux fluides dépend du type d'écoulement qu'ils suivent. Dans le but d'établir leur régime d'écoulement, on calcule le nombre de Reynolds selon la relation :

Équation 9 nombre de Reynolds
$$Re = \frac{V \cdot D}{\vartheta} = \frac{\rho \times V \times D}{\mu}$$
 [9]¹⁶

¹⁵ FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courier companies. [ISBN: 0-471-61246-4] page 646.

¹⁶ Ibid. page 411.

Avec ν la viscosité cinématique, μ la viscosité dynamique et D le diamètre hydraulique déterminer par l'équation suivante :

Équation 10 diamètre hydraulique $D = \frac{4A}{P}$ [10]¹⁷

Avec A la surface de la source de la chaleur et P le diamètre.

$$\text{Alors : } D = 1.16\text{m}$$

Et l'équation [9] : $Re = \frac{1.3 \times 7.78 \times 1.16}{2.09 \times 10^{-5}}$

$$Re = 5.6 \times 10^4 > 10^4$$

Cela signifie qu'on a un régime turbulent.

▪ Calcul de nombre de PRANDTL :

Nous calculons ensuite le nombre de Prandtl. Il permet de comparer la vitesse de diffusion de la chaleur dans le fluide par rapport à la diffusion de la vitesse. Il est défini par la relation :

Équation 11: nombre de Prandtl $Pr = \frac{\mu \times Cp}{\lambda}$ [11]¹⁸

$$Pr = \frac{2.09 \times 10^{-5} \times 1256}{0.024}$$

$$Pr = 1.09$$

▪ Calcul du nombre de NUSSELT (par la corrélation de HILPERT)

En introduisant les valeurs numériques des nombres de Prandtl et Reynolds, nous obtenons un nombre de Nusselt permettant de caractériser l'écoulement de l'air dans l'échangeur. Il est déterminé par la relation :

Équation 12 nombre de Nusselt $Nu = \frac{h_c \times D}{\lambda}$ [12]¹⁹

Équation 13 nombre de Nusselt $Nu = C Re^m Pr^{1/3}$ [13]²⁰

Selon le tableau 7.3 page 413 : $C=0.228$ et $m=0.731$

$$Nu = 552.079$$

¹⁷ FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courcier companies. [ISBN: 0-471-61246-4] page 501.

¹⁸ Ibid. page 655.

¹⁹ Ibid. page 491.

²⁰ Ibid. page 411.

D'après [12] : $h_c = Nu \times \frac{\lambda}{D}$

$$h_c = 125.87 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

7. Calcule de coefficient h_F coté tube (fluide froid eau) :

- **Calcule du nombre de REYNOLDS :**

Équation 14 nombre de Reynolds $Re = \frac{4mc}{\pi \times D \times \mu}$ [14]²¹

Avec D le diamètre de la tuyauterie = 0.1m.

$$Re = 268.78 \times 10^3$$

- **Calcule de nombre de PRANDTL :**

$$Pr = 6.81$$

- **Calcule du nombre de Nusselt :**

Équation 15: nombre de Nusselt $Nu = 0.23 \times Re^{4/5} \times Pr^{1/3}$ [15]²²

$$Nu = 1203.99$$

D'après [12] : $h_f = Nu \times \frac{\lambda}{D}$

$$h_f = 7464.74 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

D'après [8]

$$U = \left(\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_F} \right)^{-1}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_F}$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{125.87} + \frac{1}{7464.74}$$

$$\frac{1}{K} = 0.0081$$

$$K = 123.78 \text{ W / m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

²¹ FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courier companies. [ISBN: 0-471-61246-4] page 654.

²² Ibid. page 469.

8. Calcule de la surface de captation de l'échangeur de chaleur :

$$Q = K.S.\Delta T_m.F$$

$$S = \frac{Q}{K.\Delta T_m.F} = \frac{4450}{123.78*7.21*0.83}$$

$$S = 6 \text{ m}^2$$

Après avoir appliqué la méthode mathématique pour le dimensionnement de la surface de captation de l'échangeur de chaleur à plaque, nous avons déterminé une surface de 6m². Cette surface est suffisante pour capter efficacement la chaleur résiduelle de la chambre des compresseurs de la fonderie ALFEL, où la température atteint 90°C. ce dimensionnement assure que l'échangeur peut récupérer et transférer suffisamment de chaleur pour couvrir la totalité des besoins de chauffage de la cantine de SOMABE. La surface calculée de 6m² prend en compte les débits de fluides, les propriétés thermiques, et les coefficients de transfert de chaleur nécessaires pour maintenir une performance énergétique élevée. En récupérant la chaleur résiduelle avec cette surface de captation adéquate, nous réduisons la dépendance à des sources d'énergie conventionnelles et optimisons m'utilisation des ressources disponibles dans le parc industriel. Cela contribue non seulement à une réduction significative de la consommation énergétique globale et des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi à une solution de chauffage durable et efficace pour la cantine.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le travail mené sur la conversion des bâtiments industriels abandonnés en éco-parcs industriels, avec une intervention spécifique sur la cantine de l'entreprise SOMABE à El Harrach, a démontré l'importance et l'efficacité des solutions passives et de la récupération de la chaleur résiduelle pour améliorer les performances énergétiques des bâtiments. Cette réhabilitation passive, inclue l'optimisation du vitrage, l'amélioration de l'isolation thermique et la mise en place d'une ventilation efficace, ont permis de stabiliser les températures opératives proches des températures de confort avec un $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ en hiver et 3°C en été, en parallèle en améliorant le indices de confort à l'intérieur de la salle de consommation du bâtiment d'un part.

D'autre part, la récupération de la chaleur résiduelle de la fonderie ALFEL, notamment la chaleur de la chambre des compresseurs atteignant 90°C , via un échangeur de chaleur à plaque de 6m^2 , a couvert la totalité des besoins de chauffage de 4450W de la cantine de SOMABE. Cette approche a réduit la consommation d'énergie conventionnelle et les émissions de gaz à effet de serre, tout en optimisant l'utilisation des ressources disponibles.

Ce projet illustre les avantages des éco-parcs industriels et de la synergie industrielle, en intégrant des technologies de récupération de chaleur et en améliorant passivement les bâtiments.

La transformation des friches industrielles en éco-parcs industriels représente une approche stratégique pour revitaliser les zones industrielles en déclin, tout en répondant aux défis environnementaux actuels. En réutilisant les friches industrielles et en maximisant l'efficacité énergétique, ce projet constitue un exemple concret de l'importance de la synergie industrielle et de la valorisation des ressources existante pour construire un avenir industriel plus vert et plus durable.

1. Recommandations :

- **Plan de maintenance régulier :** Mettre en place un programme de maintenance régulier pour assurer le bon fonctionnement des systèmes d'amélioration passive (vitrage, isolation, ventilation) et de l'échangeur de chaleur à plaques.
- **Optimisation Continue des Améliorations Passives au niveau des différents blocs du parc industriel :** Continuer à explorer et à mettre en œuvre des améliorations et réhabilitation passive pour optimiser encore davantage les performances énergétiques des bâtiments, en tenant compte des résultats obtenus à partir des simulations réalisées avec DesignBuilder.
- **Extension du Modèle de Récupération de Chaleur :** Répliquer le modèle de récupération de chaleur dans d'autres parties du parc industriel et dans d'autres zones industrielles abandonnées, pour créer un réseau d'éco-parcs industriels interconnectés.
- **Collaboration et Synergie Industrielle :** Encourager la collaboration entre les différentes entreprises du parc industriel pour développer des synergies industrielles, facilitant ainsi le partage des ressources énergétiques.
- **Économie Circulaire et Gestion des Déchets :** Promouvoir l'économie circulaire en réutilisant les matériaux et en optimisant la gestion des déchets, pour minimiser l'impact environnemental et valoriser les ressources existantes.

2. Les perspectives :

- **Exploitation des Rejets Thermiques a haut température :**
 - Étudier les possibilités d'exploiter davantage les rejets thermiques de la fonderie ALFEL, notamment les fumées atteignant 300°C, pour des applications supplémentaires comme la production d'électricité via le cycle de Rankine ou le cycle organique de Rankine (ORC).
 - **Utilisation de cette chaleur résiduelle pour la climatisation :**

Envisager l'utilisation de la chaleur résiduelle pour la climatisation des bâtiments en été, grâce à des machines à absorption, afin de maximiser l'utilisation de l'énergie récupérée.

- **Extension à D'autres Zones :** Étendre le modèle de conversion et de synergie industrielle à d'autres zones industrielles abandonnées en Algérie et ailleurs, pour promouvoir la création de nouveaux éco-parcs industriels.
- **Avoir un Système de chauffage et de climatisation commun entre les entreprises.**
- L'utilisation des énergies renouvelables y'a comprise l'énergie solaire pour assurer l'éclairages extérieure dans le parc industriel.

Références

Références

Livre:

- An international framework for Eco-Industrial Parks, decembre 2017. une collaboration entre l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI), le Groupe de la Banque mondiale et la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (Coopération allemande au développement) (GIZ) GmbH.
- BOUDJENAH Y. (2002) - Algérie, Décomposition d'une industrie, La restructuration des entreprises publiques (1980-2000): L'Etat en question, L'Harmattan, France, 318 pages
- FRANK P. INCROPERA; DAVID P. DEWITT. 3rd edition .Fundamentals of heat and mass Transfer .USA, courier companies. [ISBN: 0-471-61246-4].
- Guide for industrialsymbiosis facilitators, 2021 [https://www.dropbox.com/scl/fi/nv8lfucxnky4fv04291ac/Guide-for-IS-facilitators_online.pdf?rlkey=bdx77xhjex5o432elbtjnyyju&e=2&dl=0]
- guide pour LES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS DANS LE BÂTIMENT [https://www.paysgrandbrianconnais.fr/fileadmin/user_upload/CTES/Materiaux_biosources/Guide-materiaux-biosources_FFB.pdf]
- https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006074220/LEGI_SC
- Jean-Paul Fohr , 2010, Thermodynamique des systèmes fluides et des machines thermiques, Hermès - Lavoisier.
- Manuel de mise en œuvre des parcs éco-industriels, 2017 by the UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION.
- Massard G., Jacquat O., Zürcher D. 2014: International survey on ecoinnovation parks. Learning from experiences on the spatial dimension of eco-innovation. Federal Office for the Environment and the ERANET ECO-INNOVERA, Bern. Environmental studies no. 1402: 310 pp [www.bafu.admin.ch/uw-1402-d]
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press.

Site :

- INDICE DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE - au 1er trimestre 2023* N°997, office national des statistiques 10 mars 1999. [<https://www.ons.dz/IMG/pdf/I.ipi1T2023.pdf>]
- <https://www.ons.dz/IMG/pdf/industrie2011-2020.pdf>
- <http://a-d-e-l.over-blog.net/article-la-symbiose-industrielle-67626737.html>
- <https://www.bipiz.org/fr/bonnes-pratiques/symbiose-industrielle-a-kalundborg.html>
- <https://journeys.dartmouth.edu/envs3abinder/sample-page/kalundborg-eco-industrial-park/>
- <https://www.enmtp.com/wp-content/uploads/2015/12/fiche-technique-SOMABE.C.pdf>
- MERZAGHI F., WYSS M. (2009) - Comment une friche ferroviaire se transforme en quartier durable : Le quartier Écoparc à Neuchatel en Suisse, in “Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne] ”, Volume 9 Numéro 2, <https://journals.openedition.org/vertigo/8757> .

Article:

- Andreas Makoto Hein, Marija Jankovic, Romain Farel, Bernard Yannou. A DATA- AND KNOWLEDGE-DRIVEN METHODOLOGY FOR GENERATING ECO-INDUSTRIAL PARK ARCHITECTURES. ASME 2016 International Design Engineering Technical Conferences and Computer and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2016), Aug 2016, Charlotte, NC, United States. fihal-01363586ff [<https://hal.science/hal-01363586>].
- Bugnar Nicoleta Georgeta, Mester Liana Eugenia, 01 Jule 2013, **Eco-industrial park - a tool for sustainable development**, Annals of Faculty of Economics (University of Oradea)-Vol. 22, Iss: 1, pp 82-88.
- Cecilia Haskins 01 Jan 2007, **A Systems Engineering Framework for Eco-Industrial Park Formation**
- Diemer A., Dierickx F. (2022), Symbioses industrielles et économie circulaire au service de la cause climatique, le basculement vers Industrie 6.0. Revue Francophone

du Développement Durable, n°19, mars, p. 83 – 104. [<https://www.researchgate.net/publication/361972484>]

- Henrique Lisboa da Cruz ,05 Jun 2023, **Transition from Parks to Eco-industrial Parks: insights into this necessary and complex transformation**
- <https://www.infoenergie.eu/riv+ener/source-energie/Echangeurs.pdf>

Theses:

- Cheker mazia December 2022, Modélisation d'une Symbiose Urbaine Bas Carbone "SUr-BC" dans une perspective d'atténuation des émissions de GES à l'échelle locale à Alger, thèse de doctorat option urbanisme et ville durable, ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme. <https://www.researchgate.net/publication/367479398>
- Soulef GHARBI. Soulef GHARBI. 2018 Dimensionnement d'un échangeur de chaleur pour l'amélioration du rendement de la condensation de l'ammoniac. Mémoire de fin d'étude en génie des procédés. Université Badji Mokhtar-Annaba. <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2018/10/Gharbi-Soulef.pdf>

Les annexes :

Annexe 01

Analyse d'exemple de Kalundborg Eco industrial Park

Le parc industriel écologique de Kalundborg est un partenariat et un réseau industriel entre neuf entreprises privées et publiques situées à Kalundborg, au Danemark.

Le parc applique une approche circulaire de la production, dans laquelle les déchets résiduels d'un fabricant fournissent des ressources à un autre. Cette approche de la production, appelée « symbiose industrielle », s'inspire du phénomène biologique du mutualisme symbiotique.



Figure : vue sur l'éco-parc de Kalundborg.
Source : https://static.dw.com/image/6531231_7.jpg

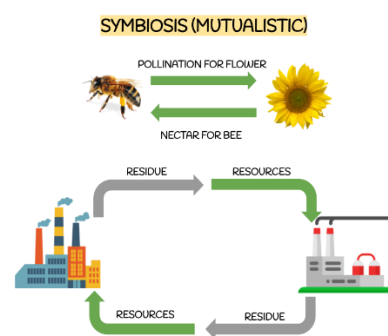


Schéma illustre la symbiose industrielle.

Cinq facteurs contribuent à la construction de la symbiose industrielle comme un objet collectif, c'est à ce titre, qu'elle constitue une véritable innovation sociale dans cette *success story* :

- Une collaboration entre des partenaires qui ont des activités différentes ;
- L'importance d'une solution marchande (solution win win qui revient à donner une valeur interne au déchet) ;
- La proximité géographique entre les participants (c'est le champ de l'écologie industrielle et territoriale) ;
- La volonté de travailler ensemble (forte complicité entre les responsables des différentes entreprises) et de partager des valeurs (confiance) ;
- Une bonne communication entre les différents acteurs (les managers ont l'habitude de se rencontrer au Rotary Club).

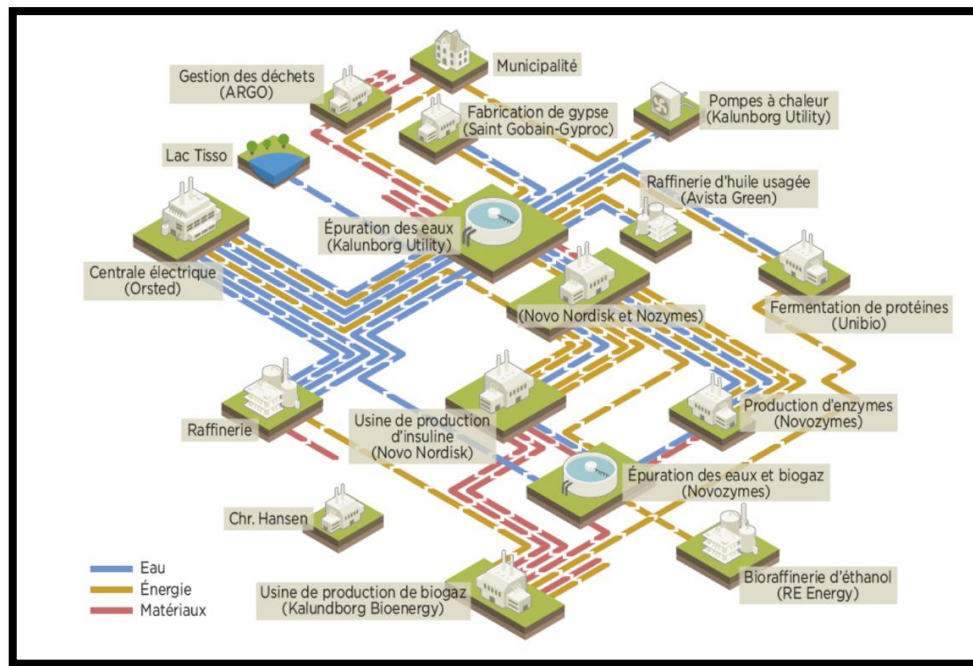
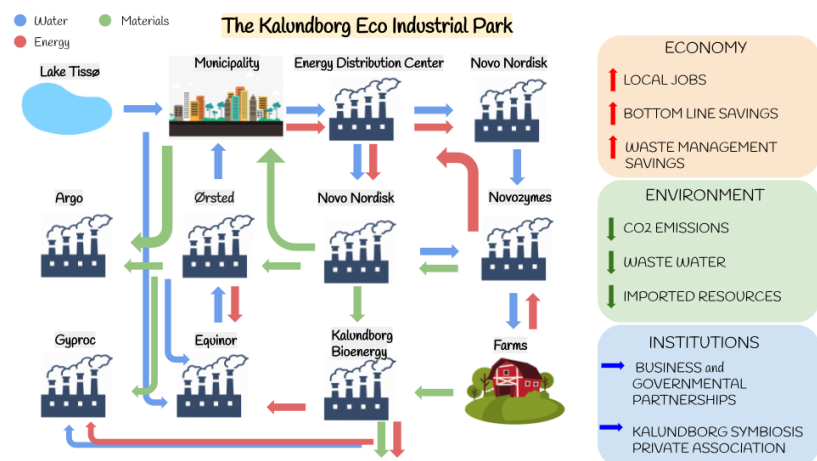


Figure : Représentation de la symbiose industrielle de Kalundborg

Source : DIEMER A., MORALES M. (2022). Les symbioses industrielles ouvrent une nouvelle ère économique. *La Recherche*, n° 569, mars, p. 56 – 59.

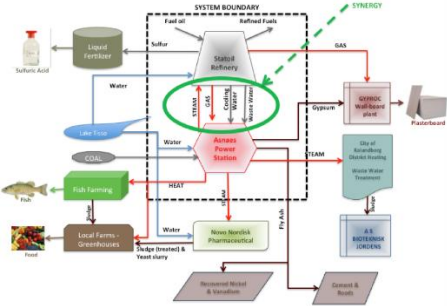
La figure décrit les acteurs du éco parc industriel. La Symbioses est également reliée au lac Tissø local, qui fournit de l'eau de surface propre pour les processus de fabrication. Cette carte détaille les flux d'énergie, d'eau et de matières entre les « nœuds » du réseau symbiotique.

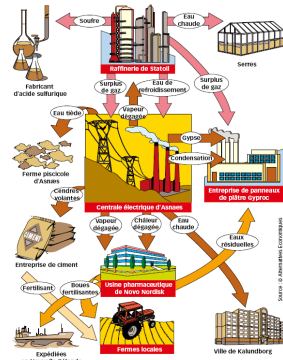


Il montre également les avantages économiques, environnementaux et institutionnels du partenariat.

Les réductions de la consommation de ressources, des émissions et des déchets dans cette relation symbiotique sont présentées dans le tableau suivant:

Sources of reduction	Total Reduction (tons/ yr)
Resources	
Oil	19.000
Coal	30.000
Water	1.200.000
Emissions	
CO2	130.000
SO2	25.000
Waste	
Fly ash	135.000
Sulfur	2.800
Gypsum	80.000
Nitrogen from biosludge	800
Phosphorus from biosludge	400

Exemple	Fonctions	Technique adaptées	Bénéfices sociaux, environnementaux et/ou de gouvernance
Kalundborg Eco industriel parc  - Optimiser l'utilisation de l'eau, - Économiser de l'énergie et - réutiliser les déchets.	Un partenariat et un réseau industriel entre neuf entreprises : Les entreprises comprennent : - une raffinerie de pétrole, -une usine de traitement des eaux usées, - un producteur d'enzymes, - un fabricant de plaques de	01- l'utilisation de la chaleur perdue: consiste à capter et à réutiliser l'excédent de chaleur généré par les processus industriels, qui serait autrement gaspillé.  La chaleur perdue de la raffinerie Statoil est exploitée de plusieurs manières dans l'éco parc industriel de Kalundborg. Tout d'abord, cette chaleur est utilisée pour chauffer les bâtiments de la ville, ce qui	- Réduction de 75 000 tonnes des rejets annuels de CO₂ dans l'atmosphère - Réduction de 20 000 tonnes de la consommation annuelle de pétrole - Réduction de 2,9 millions de m³ de la consommation annuelle d'eau, soit 25% en 10 ans.

	plâtre, - une usine énergétique, - un fabricant d'insuline, - une usine de bioénergie, - un distributeur d'énergie municipal et - des fermes locales	permet de réduire l'utilisation d'énergie fossile et d'améliorer l'efficacité énergétique. Ensuite, la chaleur perdue est également utilisée pour sécher le gypse produit par l'usine de panneaux en plâtre (Gyproc) 02- l'échange d'eau de refroidissement Les entreprises de la symbiose industrielle échangent des flux de vapeur d'eau, qui sont utilisés comme source d'eau et de chaleur pour diverses applications.  Source : http://a-d-e-l.over-blog.net/article-la-symbiose-industrielle-67626737.html Le circuit fermé d'échange de vapeur d'eau de refroidissement dans la symbiose industrielle de Kalundborg fonctionne en réutilisant la vapeur d'eau produite par les entreprises pour des applications de refroidissement. Par exemple, la raffinerie Statoil utilise de la vapeur d'eau produite par la centrale électrique Asnaes pour ses processus de raffinage La vapeur d'eau produite par les processus de raffinage de Statoil est ensuite réutilisée par la centrale électrique pour produire de l'électricité De même, l'usine de panneaux en plâtre Gyproc utilise de la vapeur d'eau produite par la raffinerie Statoil pour ses processus de production. 03-un circuit d'échange de déchets de gypse, Dans le cadre duquel le gypse usagé d'une industrie est utilisé comme matière première par une autre industrie.	
--	---	--	--

Symbiosis partner: supplier	Symbiosis partner: receiver	Material / energy flow	Amount of resources [t/a]
Refinery	Pharmaceutical	Steam	1200
Refinery	Municipality	Steam	94.090
Refinery	Power plant	Waste water	467.390
Pharmaceutical	Power plant	Waste water	154.890
Pharmaceutical	Farmers	Sludge	23.040
Municipality	Power plant	Waste water	74.130
Power plant	Cement plant	Fly ash	500
Power plant	Farmers	Sludge	23.000
Cement plant	Farmers	Sludge	2070
Farmers	Refinery	Methane	6310
Farmers	Pharmaceutical	Methane	6670

Tableau : Quantité de déchets/ressources échangées entre le partenaire de symbiose pour la solution Pareto-optimale
Source : <https://hal.science/hal-01363586>
page 13.

De plus, la centrale électrique reçoit les eaux usées de deux fournisseurs différents, la raffinerie et l'usine pharmaceutique. Les agriculteurs reçoivent également des boues de deux fournisseurs : la centrale électrique et la cimenterie.

Annexe 02

Caractéristique de Eau ²³

	Température	Masse volumique	Viscosité dynamique	Viscosité cinématique	Chaleur massique	Conductivité thermique	Coefficient de dilatation
Symbole	T	ρ	μ	ν	c	λ	α
	-	$\rho\delta$	μu	νu	-	$\lambda b d a$	$\alpha p h a$
Unité	°C	kg/m ³	kg/(m.s)	m ² /s	J/(kg.K)	W/(m.K)	K ⁻¹
Valeurs	0	999,9	1,80.10 ⁻³	1,80.10 ⁻⁶	4217	0,55	-7,00.10 ⁻⁵
	10	999,7	1,32.10 ⁻³	1,32.10 ⁻⁶	4191	0,58	8,80.10 ⁻⁵
	20	998,3	1,01.10 ⁻³	1,01.10 ⁻⁶	4181	0,60	2,06.10 ⁻⁴
	30	995,7	8,02.10 ⁻⁴	8,05.10 ⁻⁷	4178	0,61	3,03.10 ⁻⁴
	40	992,2	6,60.10 ⁻⁴	6,65.10 ⁻⁷	4178	0,63	3,85.10 ⁻⁴
	50	987,9	5,55.10 ⁻⁴	5,62.10 ⁻⁷	4180	0,64	4,57.10 ⁻⁴
	60	982,9	4,72.10 ⁻⁴	4,80.10 ⁻⁷	4183	0,65	5,23.10 ⁻⁴
	70	977,5	4,05.10 ⁻⁴	4,14.10 ⁻⁷	4189	0,66	6,43.10 ⁻⁴
	80	971,6	3,52.10 ⁻⁴	3,62.10 ⁻⁷	4196	0,67	6,98.10 ⁻⁴
	90	965,2	3,11.10 ⁻⁴	3,22.10 ⁻⁷	4204	0,68	7,52.10 ⁻⁴
	100	958,4	2,80.10 ⁻⁴	2,92.10 ⁻⁷	4215	0,68	-

Caractéristique de Air

	Température	Masse volumique	Viscosité dynamique	Viscosité cinématique	Chaleur massique	Conductivité thermique	Coefficient de dilatation
Symbole	T	ρ	μ	ν	c	λ	α
	-	$\rho\delta$	μu	νu	-	$\lambda b d a$	$\alpha p h a$
Unité	°C	kg/m ³	kg/(m.s)	m ² /s	J/(kg.K)	W/(m.K)	K ⁻¹
Valeurs	20	1,20	1,82.10 ⁻⁵	1,51.10 ⁻⁵	1005	0,026	3,43.10 ⁻³
	40	1,13	1,91.10 ⁻⁵	1,70.10 ⁻⁵	1009	0,027	3,20.10 ⁻³
	60	1,06	2,00.10 ⁻⁵	1,89.10 ⁻⁵	1009	0,029	3,00.10 ⁻³
	80	1,00	2,09.10 ⁻⁵	2,09.10 ⁻⁵	1009	0,030	2,83.10 ⁻³
	100	0,95	2,18.10 ⁻⁵	2,30.10 ⁻⁵	1013	0,031	2,68.10 ⁻³
	200	0,75	2,58.10 ⁻⁵	3,46.10 ⁻⁵	1026	0,039	2,11.10 ⁻³
	500	0,46	3,58.10 ⁻⁵	7,84.10 ⁻⁵	1092	0,057	1,29.10 ⁻³
	1000	0,28	4,80.10 ⁻⁵	1,73.10 ⁻⁴	1185	0,077	7,80.10 ⁻⁴

²³ https://public.iutenligne.net/mecanique/mecanique-des-fluides/courtin/pertes-de-charge-lineique/co/Pertes%20de%20charges%20lineiques_16.html

Annexe 03

L'appareils de mesure anémomètre

L'anémomètre à hélice est un instrument de mesure de la vitesse du vent qui utilise une hélice montée sur un axe. Lorsque le vent souffle, il fait tourner l'hélice à une vitesse proportionnelle à la vitesse du vent. La rotation de l'hélice est mesurée par un capteur, généralement un tachymètre, qui convertit cette rotation en une lecture de la vitesse du vent.

Les anémomètres à hélice possèdent plusieurs caractéristiques qui les rendent adaptés à la mesure précise de la vitesse du vent. Voici les principales caractéristiques de cet appareil :

1. **Précision** : Les anémomètres à hélice sont connus pour leur grande précision, souvent de l'ordre de $\pm 0,5\%$ à $\pm 2\%$ de la lecture.
2. **Plage de mesure** : Ils peuvent mesurer une large plage de vitesses de vent, typiquement de 0,3 à 40 m/s (ou plus, selon les modèles).
3. **Réponse rapide** : Grâce à leur conception mécanique, ils réagissent rapidement aux changements de vitesse du vent, offrant des mesures quasi-instantanées.
4. **Construction robuste** : Fabriqués en matériaux durables comme l'aluminium ou le plastique renforcé, ils résistent aux conditions météorologiques difficiles.
5. **Portabilité** : Beaucoup de modèles sont légers et portables, ce qui les rend pratiques pour une utilisation sur le terrain.
6. **Facilité d'utilisation** : Ils sont généralement simples à installer et à utiliser, avec des affichages numériques clairs ou des interfaces compatibles avec des systèmes de collecte de données.²⁴

²⁴ <https://www.distrimesure.com/fr/760-thermo-anemometre-a-helice>



Figure : anémomètre à hélice

Source : auteur