

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université -Ain-Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique
Thème

Service engineering thermo-acoustic hydraulic SETH
Etude de cas : étude technico économique d'un système de
climatisation-chauffage pour une école primaire

Présenté Par :

- 1) Kebir Ahmed El Mahdi
- 2) Yahiaoui Baha Eddine
- 3) Kaid Abdelmalek
- 4) Zagaoui Youcef
- 5) Bouteflika Ali

Devant le jury composé de :

Dr. BENZENINE HAMIDOU.....UAT.B.B (Ain-Temouchent) Président
Dr. DORBANE ABDELHAKIM.....UAT.B.B (Ain-Temouchent) examinateur
Dr. OUAHRANI ABDELKARI.....UAT.B.B (Ain-Temouchent) Incubateur
Pr. BENSaad BOURASSIA.....UAT.B.B (Ain-Temouchent) Encadrante
Dr. BELGHERASS NADIR.....Représentant de la direction de l'énergie et des mines .Expert externe

Année universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS :

En Tout d'abord, nous remercions Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, le courage, la confiance, la volonté et la patience pour faire ce travail. Nous exprimons également notre profonde gratitude à nos chers parents pour leurs encouragements, leur soutien et les sacrifices qu'ils ont endurés.

Nous remercions tout particulièrement notre Encadrante **Pr BENSAAD BOURASSIA** pour sa patience, ses observations, ses conseils, sa gentillesse, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de la période de réalisation de notre mémoire.

Nous remercions vivement les membres du jury d'avoir accepté l'invitation à discuter nos travaux.

Nos remerciements vont aussi au personnel de l'école primaire Rezigui Boucif, village Khoualed abdelhakem de sisi ben adda, pour leur aimable accueil.

Nous remercions également tous nos amis d'être restés à nos côtés tout au long de la période de travail.

Résumé :

La transition énergétique en Algérie est une priorité pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et limiter les impacts du changement climatique. Les bureaux d'étude thermo-acoustique et hydraulique, ainsi que les nouveaux matériaux d'isolation et de construction, jouent un rôle clé dans cette transition en concevant des systèmes énergétiques respectant l'environnement et permettant d'améliorer la performance thermique, acoustique et hydraulique des bâtiments. Ces acteurs essentiels doivent être encouragés et soutenus pour permettre une économie plus verte et plus durable en Algérie.

Mots clés : Transition énergétique, Algérie, Bureaux d'étude thermo-acoustique, Bureaux d'étude hydraulique, Nouveaux matériaux, Isolation, Construction.

Abstract:

Energy transition in Algeria is a priority to reduce greenhouse gas emissions and mitigate the impacts of climate change. Thermo-acoustic and hydraulic engineering firms, along with new insulation and construction materials, play a key role in this transition by designing environmentally-friendly energy systems that improve the thermal, acoustic, and hydraulic performance of buildings. These essential actors need to be encouraged and supported to enable a greener and more sustainable economy in Algeria.

Keywords: Energy transition, Algeria, Thermo-acoustic engineering firms, Hydraulic engineering firms, New materials, Insulation, Construction.

التلخيص :

الانتقال الطاقوي في الجزائر هو أولوية للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتخفيف آثار التغير المناخي. تلعب مكاتب الدراسات الحرارية والصوتية والهيدروليكية، بالإضافة إلى المواد العازلة والإنشائية الجديدة، دورًا رئيسيًا في هذا الانتقال من خلال تصميم أنظمة طاقة تحترم البيئة وتحسن الأداء الحراري والصوتي والهيدروليكي للمباني. يجب تشجيع ودعم هذه الجهات الأساسية لتمكين اقتصاد أكثر خضرة واستدامة في الجزائر.

الكلمات الرئيسية: الانتقال الطاقوي، الجزائر، مكاتب الدراسات الحرارية والصوتية، مكاتب الدراسات الهيدروليكية، المواد الجديدة، العزل، البناء.

Tables des matières :

Préambule	1
Introduction générale :	3
Chapitre I : La transition énergétique et le bâtiment	
1. Introduction :	3
2. L'actualité énergétique en Algérie :	3
3. La consommation énergétique dans le bâtiment :	4
4. La transition énergétique et le bâtiment :	5
5. Les facteurs principaux de la transition énergétique dans le domaine de l'habitat :	6
6. Les principaux acteurs de la transition énergétique dans le domaine de l'habitat :	7
7. La mission de bureau d'études thermique acoustique :	8
8. Conclusion :	9
Chapitre II : Les notions de base de l'étude énergétique du bâtiment	
1. Introduction :	11
2. Notions de base de l'étude thermique :	11
2.1. Confort thermique :	11
2.2. L'efficacité énergétique dans le bâtiment :	12
2.2.1. Définition :	12
2.2.2. Les avantages de l'efficacité énergétique :	12
2.3. Performance énergétique dans le bâtiment :	13
2.3.1. Définition :	13
2.4. Règlementation thermique algérienne :	14
2.5. Isolation thermique d'un bâtiment :	15
2.5.1. Les différentes solutions pour une isolation thermique du bâtiment efficace :	16
2.5.2. Les techniques d'isolation thermique :	16
2.6. Le Calcul thermique :	17
2.6.1. Eclairage et la consommation :	18
2.6.2. Consommation de l'énergie :	19
3. Notions de base de l'étude acoustique :	20
3.1. Définition :	20
3.2. Quelques notions de base en acoustique :	20
3.3. Isolation acoustique :	22
3.4. L'importance de l'isolation acoustique :	23
3.5. Le Calcul acoustique :	23
3.5.1. Le bruit :	23
3.5.2. La correction acoustique :	24
3.5.3. Les principes d'isolation acoustique :	24

3.5.4. Les principes de correction acoustique :	24
4. Notions de base de l'étude hydraulique :	25
4. Conclusion :	27
Chapitre III : Techniques et Technologie	
1. INTRODUCTION :	26
2. Techniques Et Technologies D'isolation :	26
2.1. Isolation Thermique :	26
2.2. Isolation Acoustique :	29
2.3. Isolation Thermo-acoustique :	30
3. Les Systèmes de Chauffages :	31
3.1. Le Chauffage Central :	32
3.2. Le Chauffage électrique :	32
3.3. Le Chauffage au gaz :	33
3.4. Le Chauffage à air pulsé :	33
3.5. Le Chauffage Radiant :	34
3.6. Le Chauffage Par Le Sol :	35
3.7. Le Chauffage Solaire :	35
3.8. La Pompe à Chaleur :	36
3.9. Cheminée a bois :	36
4. Les Systèmes de Climatisation :	37
4.1. Les Climatiseurs de fenêtre :	37
4.2. Les Climatiseurs Centraux :	38
4.3. Les Climatiseurs Portables :	38
4.4. Les Climatiseurs à Split :	39
4.5. Les Climatiseurs à évaporation :	39
4.6. Les Climatiseurs géothermiques :	40
5. Les Systèmes D'énergies Renouvelables dans le Bâtiment :	40
5.1. Les panneaux solaires photovoltaïques :	41
5.2. Les panneaux solaires thermiques :	41
5.3. Les pompes à chaleur géothermiques :	42
5.4. Les systèmes de récupération de chaleur :	42
5.5. Les systèmes de collecte d'eaux de pluie :	43
CONCLUSION :	44
Conclusion générale :	45

Liste des figures :

Figure 1 : Répartition de la consommation d'énergie.....	5
Figure 2 : Sources de consommation énergétique à considérer dans le calcul de la performance énergétique d'un bâtiment selon la directive européenne 2010/31/UE.....	14
Figure 3 : sources de déperditions thermiques dans la Règlementation thermique algérienne.....	15
Figure 4 : l'image de l'isolation acoustique.....	20
Figure 5 : les réflexions dans une espace fermé	21
Figure 6 : isolation acoustique	22
Figure 7: system de collecte de l'eau de pluie	25
Figure 8: system de filtrage d'eau grises.....	26
Figure 9: citerne de stockage	27
Figure 10 : Polystyrène expansé.....	27
Figure 11 : La Laine De Verre.....	27
Figure 12 : La Laine De Bois.....	27
Figure 13 : La Laine De Roche.....	28
Figure 14 : La Ouate Cellulose.....	28
Figure 15 : les aérogels.....	29
Figure 16 : Gypse insonorisant.....	29
Figure 17 : Mousse Acoustique.....	29
Figure 18 : Les Fibres De Verre.....	30
Figure 19 : Membrane insonorisant.....	30
Figure 20 : fenêtre à double vitrage.....	31
Figure 21 : L'injection de Mousse Isolante.....	31
Figure 22 : Panneau de Plâtre Acoustique.....	31
Figure 23 : le chauffage central.....	32
Figure 24 : le chauffage électrique.....	33
Figure 25 : Chauffage à gaz.....	33
Figure 26 : Chauffage à air pulsé.....	34
Figure 27 chauffage radiant.....	34
Figure 28 : chauffage par le sol.....	35
Figure 29 : le chauffage solaire.....	36
Figure 30 : La Pompe à Chaleur.....	36
Figure 31 : Cheminée a bois.....	37
Figure 32 : Climatiseurs à fenêtre.....	37
Figure 33 : climatiseur central.....	38
Figure 34 : Le Climatiseur Mobile.....	38
Figure 35 : Le Climatiseur à Split.....	39
Figure 36 : Système Climatiseur a Evaporation.....	40
Figure 37 : La Climatisation Géothermique.....	40
Figure 38: Panneau Solaire Photovoltaïque.....	41
Figure 39 : les panneaux solaires thermiques.....	41
Figure 40 : Pompe à Chaleur Géothermique.....	42
Figure 41: Le schéma du système de récupération de chaleur.....	42
Figure 42: Système de collecte d'eaux de pluie.....	43
Figure 43: Système de récupérations des eaux grises.....	43

Liste des tableaux :

Tableau 01 type d'ampoule et sa consommation annuelle

Abréviations :

AIE.....l'Agence Internationale de l'Energie

DTRI.....la réglementation thermique algérienne

CVC.....systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation

Préambule

Le management de l'utilisation efficiente de l'eau et la transition énergétique sont devenus des enjeux majeurs pour l'Algérie, notamment dans le domaine du bâtiment. Dans cette optique, les autorités algériennes ont mis en place une stratégie nationale de management de l'utilisation efficiente de l'eau et de transition énergétique visant à promouvoir des pratiques éco-responsables dans la construction et la rénovation des bâtiments. [1] Selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), le secteur du bâtiment est responsable d'environ 40% de la consommation d'énergie et de 36% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial.[4]

Les bureaux d'études thermo-acoustiques- hydraulique, les architectes, les ingénieurs et les professionnels du bâtiment, ont un rôle crucial à jouer dans la promotion de ces pratiques éco-responsables. Ils peuvent aider à mettre en place des solutions innovantes pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants et concevoir des bâtiments neufs respectueux de l'environnement.

L'objectif principal de notre projet de fin d'étude est de créer un bureau d'études thermo-acoustique et hydraulique du bâtiment au niveau de notre wilaya. Ce type de bureaux d'études joue un rôle clé dans la transition énergétique et le management de la gestion efficiente de l'eau.

Le bureau d'études thermique et acoustique a pour mission d'accompagner les maîtres d'ouvrage, les architectes, les entreprises de construction et les particuliers dans la conception et la réalisation de bâtiments économes en énergie et offrant un confort thermique-acoustique optimal. Ses principales missions comprennent [9][10] :

- La réalisation d'études thermiques : il doit réaliser des études de faisabilité, des études de conception et des études de dimensionnement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC). Il doit également fournir des recommandations sur les choix des matériaux et des équipements en fonction des objectifs d'efficacité énergétique et de confort.[10]

- L'optimisation de la performance énergétique : Le bureau d'études doit proposer des solutions pour optimiser la performance énergétique du bâtiment, telles que l'isolation thermique, la récupération de chaleur, l'utilisation de sources d'énergie renouvelable et la mise en place de systèmes de régulation et de contrôle.
- L'accompagnement dans les démarches administratives : Le bureau d'études doit accompagner les maîtres d'ouvrage dans les démarches administratives liées à la réglementation thermique, notamment en réalisant les études réglementaires (DTRI 2017 en Algérie) et en fournissant les attestations de conformité.
- L'expertise acoustique : Le bureau d'études doit réaliser des études acoustiques pour garantir un confort acoustique optimal dans le bâtiment, en prenant en compte les sources de bruit intérieures et extérieures et en proposant des solutions pour limiter la propagation du bruit.[9]
- Études hydrauliques : le bureau d'études a comme mission d'analyser les systèmes de gestion de l'eau, d'identifier les problèmes potentiels et de proposer des solutions efficaces pour une performance optimale.
- Rechercher de nouvelles solutions et développer de nouveaux systèmes et techniques : le bureau d'études doit travailler en continu sur la recherche de solutions en matière d'énergies renouvelables et de nouveaux matériaux d'isolation thermo-acoustiques afin de réduire l'impact sur l'environnement et d'atteindre l'indépendance énergétique. Les nouveaux systèmes hydrauliques développés participeront activement dans le management de la gestion efficiente de l'eau dans le bâtiment.

Introduction générale :

La transition énergétique est un sujet d'actualité majeur dans le monde entier, y compris en Algérie. La transition énergétique vise à passer d'une économie basée sur les énergies fossiles à une économie basée sur les énergies renouvelables, afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de lutter contre le changement climatique.

Dans nos chapitres on a présenté que les bureaux d'étude thermo-acoustique ont un rôle crucial à jouer. Ces derniers sont spécialisés dans l'analyse et la conception de systèmes énergétiques basés sur des technologies innovantes, telles que les pompes à chaleur, les systèmes de chauffage solaire, les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, etc. Ils permettent ainsi de trouver des solutions énergétiques plus efficaces et respectueuses de l'environnement.

De plus, les nouveaux matériaux d'isolation et de construction jouent également un rôle important dans la transition énergétique. Ils permettent de réduire les besoins en énergie de chauffage et de climatisation des bâtiments, en améliorant leur performance thermique et acoustique. En Algérie, de nouveaux matériaux d'isolation et de construction sont en développement, tels que les briques en terre cuite, les panneaux isolants en polystyrène expansé, etc.

En somme, la transition énergétique est un enjeu crucial pour l'avenir de la planète, et l'Algérie est un acteur majeur de cette transition. Les bureaux d'étude thermo-acoustique ainsi que les nouveaux matériaux d'isolation et de construction sont des éléments clés pour permettre à l'Algérie de développer une économie plus verte et plus durable. Nous avons accompagné notre travail avec l'étude thermique et acoustique complète pour cette école

Chapitre I : La transition énergétique et le bâtiment

1. Introduction :

La transition énergétique est devenue un enjeu majeur pour l'Algérie, notamment dans le domaine du bâtiment. En effet, la consommation d'énergie dans ce secteur représente une part importante de la consommation énergétique totale du pays. Dans cette optique, les autorités algériennes ont mis en place une stratégie nationale de transition énergétique visant à promouvoir des pratiques éco-responsables dans la construction et la rénovation des bâtiments. [1]

Les acteurs de la transition énergétique dans le domaine de l'habitat, tels que les bureaux d'études thermiques et acoustiques, les architectes, les ingénieurs et les professionnels du bâtiment, ont un rôle crucial à jouer dans la promotion de pratiques éco-responsables. Ils peuvent aider à mettre en place des solutions innovantes pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants et concevoir des bâtiments neufs respectueux de l'environnement.[2]

Dans cette optique, il convient d'analyser les différents enjeux liés à la transition énergétique dans le cadre du développement durable du domaine du bâtiment en Algérie, ainsi que les acteurs impliqués dans la promotion de pratiques éco-responsables. Cela permettra de mettre en place des politiques et des stratégies efficaces pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment, contribuant ainsi à la création d'un avenir énergétique durable et respectueux de l'environnement en Algérie.[1]

2. L'actualité énergétique en Algérie :

En Algérie, le secteur de l'énergie est un pilier important de l'économie nationale, car il représente une grande partie des exportations du pays. Le pays dispose de vastes réserves de pétrole et de gaz naturel, ce qui lui a permis de devenir un important producteur et exportateur de ces ressources.[3]

Cependant, l'Algérie est également confrontée à des défis dans le secteur de l'énergie, notamment la nécessité de diversifier ses sources d'énergie et de moderniser ses infrastructures énergétiques. Le pays est actuellement confronté à une diminution de la production de pétrole et de gaz, ainsi qu'à une demande croissante en énergie due à une population en constante augmentation.[3]

Dans ce contexte, l'Algérie s'est engagée à développer les énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire et éolienne, afin de réduire sa dépendance aux combustibles fossiles et de répondre à la demande croissante en énergie. Le pays a ainsi lancé plusieurs projets d'énergie renouvelable, notamment la construction de centrales solaires et éoliennes.

En outre, l'Algérie a adopté une stratégie nationale pour l'efficacité énergétique, visant à réduire la consommation d'énergie dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel. Le pays s'efforce également de moderniser ses infrastructures énergétiques, en investissant notamment dans la rénovation et la modernisation de ses centrales électriques et de ses réseaux de distribution.

3. La consommation énergétique dans le bâtiment :

La consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment est une préoccupation importante car elle contribue de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre responsables du changement climatique. Les bâtiments représentent en effet une part importante de la consommation d'énergie mondiale, principalement pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage et les équipements électriques. (Voire Figure 1)

Selon l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), le secteur du bâtiment est responsable d'environ 43% de la consommation d'énergie (Figure 1) et de 36% des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial.[4]

La consommation d'énergie dans les bâtiments dépend de nombreux facteurs, tels que l'emplacement géographique, le type de bâtiment, les normes de construction, les matériaux de construction, l'isolation, les équipements et les habitudes des occupants.

Il est possible de réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments par plusieurs mesures, notamment [5] :

- L'installation d'équipements plus efficaces, tels que des systèmes de chauffage et de climatisation à haute performance énergétique, des éclairages LED, des appareils ménagers économes en énergie, etc.

Chapitre I : La transition énergétique et le bâtiment

- L'amélioration de l'isolation du bâtiment pour réduire les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été.
- L'utilisation de sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire et l'énergie éolienne.
- La mise en place de systèmes intelligents de gestion de l'énergie pour optimiser la consommation d'énergie du bâtiment tel que l'installation des matériaux de construction ayant une bonne résistance thermo-acoustique.
- La sensibilisation des occupants aux pratiques économes en énergie, telles que l'extinction des lumières et des équipements lorsqu'ils ne sont pas utilisés, le réglage de la température à des niveaux confortables mais économiques, etc. [5]

Ces mesures efficaces permettront de réduire la consommation d'énergie et contribuer à la lutte contre le changement climatique.[4]

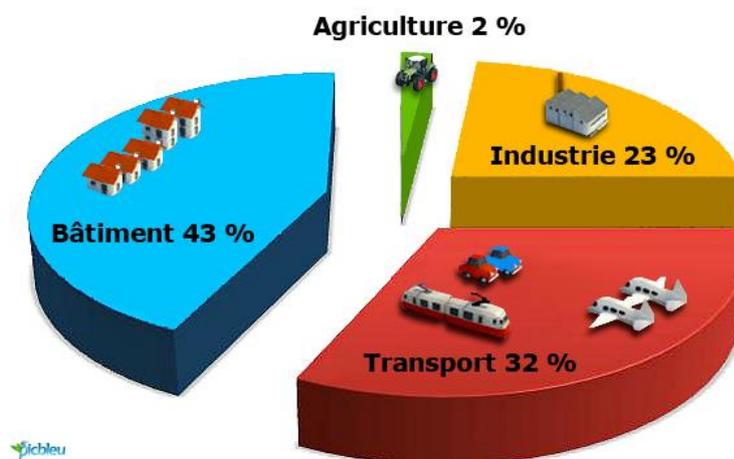


Figure 1 : Répartition de la consommation d'énergie

4. La transition énergétique et le bâtiment :

La transition énergétique concerne la transformation des systèmes énergétiques vers des sources d'énergie plus durables et renouvelables afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de lutter contre le changement climatique. Le secteur du bâtiment est un domaine important pour la transition énergétique, car il représente une part importante des émissions de gaz à effet de serre,

Chapitre I : La transition énergétique et le bâtiment

notamment en raison de la consommation d'énergie nécessaire au chauffage, à la climatisation et à l'éclairage des bâtiments.

Pour réduire l'impact environnemental des bâtiments, plusieurs mesures peuvent être prises, notamment [6] :

- L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments : cela peut se faire par l'isolation des bâtiments, l'installation de fenêtres à double vitrage, l'utilisation de systèmes de chauffage et de climatisation plus efficaces, etc.
- L'utilisation de sources d'énergie renouvelables : cela peut inclure l'utilisation de panneaux solaires pour produire de l'électricité ou de l'eau chaude, l'utilisation de pompes à chaleur pour le chauffage et la climatisation, etc.
- La conception de bâtiments durables : cela implique la conception de bâtiments qui sont économes en énergie dès le départ, en utilisant des matériaux durables, en maximisant l'utilisation de la lumière naturelle, en minimisant les pertes d'énergie, etc. [6]

La transition énergétique dans le secteur du bâtiment est un défi important mais nécessaire pour lutter contre le changement climatique et construire un avenir plus durable.

5. Les facteurs principaux de la transition énergétique dans le domaine de l'habitat :

Il existe plusieurs facteurs clés de la transition énergétique dans le domaine de l'habitat, qui peuvent contribuer à réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Voici quelques-uns de ces facteurs [7] :

- L'efficacité énergétique des bâtiments : Cela peut être amélioré grâce à une meilleure isolation thermique, à des systèmes de chauffage et de climatisation plus efficaces, à l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et à une conception architecturale favorisant la lumière naturelle.
- Les énergies renouvelables : L'installation de panneaux solaires, de panneaux photovoltaïques, de pompes à chaleur, de systèmes de géothermie et d'autres sources d'énergie renouvelable peuvent aider à réduire la dépendance aux énergies fossiles.

Chapitre I : La transition énergétique et le bâtiment

- L'utilisation de matériaux de construction durables : Les bâtiments construits avec des matériaux durables, tels que le bois, la brique, le béton cellulaire ou les briques de terre crue, peuvent avoir une empreinte carbone plus faible que les bâtiments construits avec des matériaux moins durables.
- La conception passive des bâtiments : Les bâtiments passifs sont conçus pour être économes en énergie et ne nécessitent pas de système de chauffage ou de climatisation. Ils sont souvent construits avec des matériaux isolants très efficaces, des fenêtres à double ou triple vitrage et une orientation optimisée pour la lumière solaire.
- La rénovation énergétique : Les rénovations énergétiques peuvent permettre d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants, par exemple en isolant les murs et les toits, en remplaçant les fenêtres et les portes ou en installant des systèmes de chauffage et de climatisation plus efficaces.
- Les technologies de l'information et de la communication : Les technologies de l'information et de la communication peuvent être utilisées pour optimiser la consommation d'énergie des bâtiments en permettant une surveillance et un contrôle plus précis des systèmes de chauffage, de climatisation et d'éclairage. [7]

En résumé, la transition énergétique dans le domaine de l'habitat implique une combinaison de mesures d'efficacité énergétique, de sources d'énergie renouvelable, de matériaux durables, de conception passive, de rénovation énergétique et de technologies de l'information et de la communication. Toutes ces mesures peuvent aider à réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre des bâtiments, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique.

6. Les principaux acteurs de la transition énergétique dans le domaine de l'habitat :

La transition énergétique dans le domaine de l'habitat implique la participation de plusieurs acteurs clés, qui peuvent jouer un rôle important dans la mise en œuvre de mesures visant à réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Les acteurs principaux de la transition énergétique dans le domaine de l'habitat sont [8] :

Chapitre I : La transition énergétique et le bâtiment

- Les gouvernements et les autorités locales : Les gouvernements et les autorités locales peuvent promulguer des réglementations et des normes en matière d'efficacité énergétique pour les bâtiments, offrir des incitations financières pour la mise en place de mesures d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, ainsi que soutenir des programmes de rénovation énergétique.
- Les bureaux d'études thermos-acoustique, les entreprises de construction, et les architectes : ces acteurs peuvent concevoir et construire des bâtiments économes en énergie, en utilisant des matériaux durables et en intégrant des systèmes d'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. Ils peuvent également aider à la rénovation énergétique des bâtiments existants.
- Les fournisseurs d'énergie et les entreprises de services publics : Les fournisseurs d'énergie et les entreprises de services publics peuvent soutenir la transition énergétique en fournissant de l'énergie renouvelable, en mettant en place des programmes d'efficacité énergétique, en promouvant la gestion intelligente de l'énergie et en aidant les clients à réduire leur consommation d'énergie.
- Les consommateurs : Les consommateurs peuvent jouer un rôle clé en adoptant des comportements économes en énergie, en choisissant des appareils électroménagers et des équipements économes en énergie, en optant pour des sources d'énergie renouvelable et en participant à des programmes de rénovation énergétique.
- Les institutions financières et les investisseurs : Les institutions financières et les investisseurs peuvent soutenir la transition énergétique en offrant des prêts et des investissements pour les mesures d'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, ainsi que pour la rénovation énergétique des bâtiments existants. [8]

La participation de ces acteurs peut contribuer à la réalisation d'un avenir énergétique plus durable et plus respectueux de l'environnement.

7. La mission de bureau d'études thermique acoustique :

Le bureau d'études thermique et acoustique a pour mission d'accompagner les maîtres d'ouvrage, les architectes, les entreprises de construction et les particuliers dans la conception et la réalisation

de bâtiments économes en énergie et offrant un confort thermique-acoustique optimal. Ses principales missions comprennent [9][10] :

- La réalisation d'études thermiques : Le bureau d'études thermique doit réaliser des études de faisabilité, des études de conception et des études de dimensionnement des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC). Il doit également fournir des recommandations sur les choix des matériaux et des équipements en fonction des objectifs d'efficacité énergétique et de confort.[10]
- L'optimisation de la performance énergétique : Le bureau d'études doit proposer des solutions pour optimiser la performance énergétique du bâtiment, telles que l'isolation thermique, la récupération de chaleur, l'utilisation de sources d'énergie renouvelable et la mise en place de systèmes de régulation et de contrôle.
- L'accompagnement dans les démarches administratives : Le bureau d'études doit accompagner les maîtres d'ouvrage dans les démarches administratives liées à la réglementation thermique, notamment en réalisant les études réglementaires (DTRI 2017 en Algérie) et en fournissant les attestations de conformité.
- Faire un travail de recherche et de développement :
- L'expertise acoustique : Le bureau d'études doit réaliser des études acoustiques pour garantir un confort acoustique optimal dans le bâtiment, en prenant en compte les sources de bruit intérieures et extérieures et en proposant des solutions pour limiter la propagation du bruit.[9]

8. Conclusion :

En conclusion, la transition énergétique en Algérie est un enjeu majeur pour l'avenir du pays. En effet, le secteur de l'énergie est vital pour l'économie algérienne, qui est largement dépendante des exportations d'hydrocarbures. La diversification des sources d'énergie, la réduction de la consommation énergétique et l'amélioration de l'efficacité énergétique sont donc des objectifs essentiels pour réduire la dépendance aux hydrocarbures et pour assurer un avenir énergétique durable.

Le secteur du bâtiment représente une part importante de la consommation d'énergie en Algérie, ce qui en fait un domaine clé pour la transition énergétique. Les acteurs de la transition

Chapitre I : La transition énergétique et le bâtiment

énergétique dans le domaine de l'habitat, tels que les pouvoirs publics, les professionnels du bâtiment, les associations et les bureaux d'études thermiques et acoustiques, ont un rôle crucial à jouer dans la promotion de pratiques éco-responsables.

En fin de compte, la réussite de la transition énergétique en Algérie dépendra de la capacité des acteurs impliqués à travailler ensemble pour atteindre les objectifs ambitieux fixés. Cela nécessitera une coordination et une coopération efficaces entre les différents niveaux de gouvernement, les entreprises, les organisations de la société civile et les citoyens afin de créer une véritable dynamique de changement en faveur de la transition énergétique.

Chapitre II : Les notions de base de l'étude énergétique du bâtiment

1. Introduction :

Il est vrai que depuis toujours, l'homme a cherché à se protéger des conditions climatiques difficiles en créant des habitats adaptés. Cependant, avec l'avènement de l'ère industrielle et la facilité d'accès à l'énergie fossile, la construction a évolué vers une approche axée sur la quantité et l'esthétique, au détriment de la qualité, de la durabilité et de l'adaptation au milieu. Cette approche a conduit à une consommation d'énergie excessive dans le secteur de la construction, contribuant ainsi aux émissions de gaz à effet de serre et au changement climatique.

En Algérie, cette tendance s'est traduite par la construction rapide et peu coûteuse d'espaces de vie standardisés, sans tenir compte des facteurs climatiques et physiques. Cela a entraîné une consommation d'énergie excessive pour maintenir une température constante tout au long de l'année, ce qui a eu un impact sur l'environnement et a également conduit à une utilisation inefficace de l'énergie.

Il est donc important d'adopter une approche plus durable et respectueuse de l'environnement dans la construction, en prenant en compte les facteurs climatiques et l'emplacement géographique. Cela peut permettre de réduire la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre et de créer des environnements intérieurs de meilleure qualité et plus efficaces sur le plan énergétique. Les habitats indigènes peuvent servir d'inspiration pour les architectes modernes dans cette optique, en intégrant les connaissances traditionnelles dans les nouvelles techniques de construction et de design.

2. Notions de base de l'étude thermique :

2.1. Confort thermique :

Le confort thermique dans les bâtiments est un enjeu important pour assurer la santé, le bien-être et la productivité des occupants. Il est important de maintenir une température ambiante confortable et constante, ainsi qu'une humidité relative appropriée. Cela peut être accompli en utilisant des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) efficaces, en isolant correctement le bâtiment, en utilisant des fenêtres à double vitrage, en

contrôlant l'entrée de la lumière du soleil et en utilisant des matériaux de construction appropriés. [11]

2.2. L'efficacité énergétique dans le bâtiment :

2.2.1. Définition :

L'efficacité énergétique dans le bâtiment fait référence à la capacité d'un bâtiment à utiliser efficacement l'énergie afin de réduire sa consommation d'énergie et son impact environnemental. Les bâtiments consomment une grande quantité d'énergie pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage et les équipements électriques, ce qui peut avoir un impact significatif sur l'environnement et représenter une part importante des coûts de fonctionnement d'un bâtiment.[12]

2.2.2. Les avantages de l'efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique présente de nombreux avantages, tant sur le plan environnemental qu'économique. Voici quelques-uns des principaux avantages :[13]

- **Réduction des émissions de gaz à effet de serre** : en réduisant la consommation d'énergie, l'efficacité énergétique peut contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre qui contribuent au changement climatique.
- **Économies d'énergie et d'argent** : l'efficacité énergétique permet de réduire la consommation d'énergie, ce qui se traduit par des économies d'argent pour les ménages et les entreprises. Par exemple, des améliorations telles que l'isolation thermique, l'utilisation d'appareils électroménagers économes en énergie, ou l'éclairage à LED peuvent réduire considérablement les coûts de chauffage, de refroidissement et d'électricité.
- **Création d'emplois** : l'efficacité énergétique peut stimuler la création d'emplois locaux dans les secteurs de la construction, de l'ingénierie et de la technologie. Les investissements dans l'efficacité énergétique peuvent également stimuler l'innovation et la croissance économique.

- **Amélioration de la qualité de l'air** : en réduisant la consommation d'énergie, l'efficacité énergétique peut contribuer à réduire la pollution de l'air, ce qui peut avoir des avantages pour la santé publique.
- **Réduction de la dépendance énergétique** : l'efficacité énergétique peut réduire la dépendance des pays aux sources d'énergie importées, ce qui peut renforcer la sécurité énergétique et la souveraineté nationale.

2.3. Performance énergétique dans le bâtiment :

2.3.1. Définition :

La performance énergétique dans le bâtiment se réfère à l'efficacité énergétique du bâtiment dans l'utilisation de l'énergie pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage et autres besoins énergétiques. L'amélioration de la performance énergétique peut aider à réduire la consommation d'énergie et les coûts, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et l'impact environnemental. (Voire Figure 2)

Il existe plusieurs façons d'améliorer la performance énergétique des bâtiments, notamment :

- L'installation d'une isolation thermique adéquate pour réduire les pertes de chaleur et de refroidissement.
- L'utilisation d'équipements efficaces tels que des appareils de chauffage et de climatisation à haut rendement énergétique.
- L'optimisation de la gestion de l'énergie dans le bâtiment, notamment par l'utilisation de systèmes de régulation automatique de la température.
- L'utilisation de sources d'énergie renouvelable, telles que l'énergie solaire ou éolienne, pour produire de l'énergie pour le bâtiment.

Sur la figure 2 on résume les Sources de consommation énergétique à considérer dans le calcul de la performance énergétique d'un bâtiment selon la directive européenne 2010/31/UE

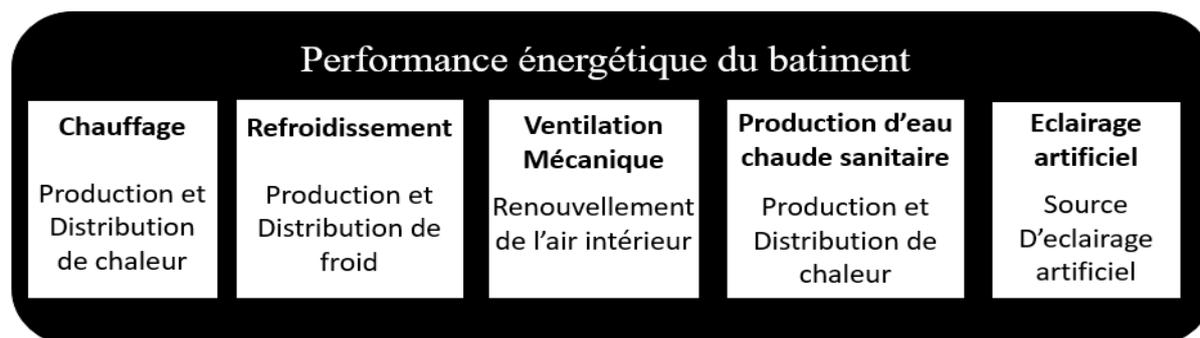


Figure 2 : Sources de consommation énergétique à considérer dans le calcul de la performance énergétique d'un bâtiment selon la directive européenne 2010/31/UE.

2.4. Règlementation thermique algérienne :

La réglementation thermique algérienne de 2017, appelée RT 2017, est une réglementation visant à améliorer la performance énergétique des bâtiments en Algérie. Cette réglementation s'applique aux bâtiments neufs ainsi qu'aux bâtiments existants qui font l'objet de travaux de rénovation importants.

La RT 2017 fixe des exigences de performance énergétique minimale pour les bâtiments, en fonction de leur destination (résidentielle, tertiaire, etc.) et de leur zone climatique. Elle impose notamment des limites aux consommations d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la ventilation et la production d'eau chaude sanitaire.

La réglementation thermique algérienne de 2017 impose également la prise en compte de la performance énergétique dès la conception du bâtiment. Les professionnels du bâtiment (architectes, ingénieurs, etc.) sont ainsi tenus de réaliser une étude thermique pour chaque projet de construction ou de rénovation importante. Cette étude doit permettre de déterminer les solutions techniques les plus adaptées pour atteindre les objectifs de performance énergétique fixés par la réglementation.

La RT 2017 prévoit des mesures incitatives pour encourager la construction de bâtiments performants sur le plan énergétique. Ainsi, les bâtiments respectant les exigences de la réglementation peuvent bénéficier de crédits d'impôt ou de subventions pour la réalisation de travaux d'amélioration énergétique.

En résumé, la réglementation thermique algérienne de 2017 vise à améliorer la performance énergétique des bâtiments en Algérie, en imposant des exigences de performance énergétique minimale, en encourageant la prise en compte de la performance énergétique dès la conception du bâtiment et en prévoyant des mesures incitatives pour encourager la construction de bâtiments performants. (Voire Figure 3)

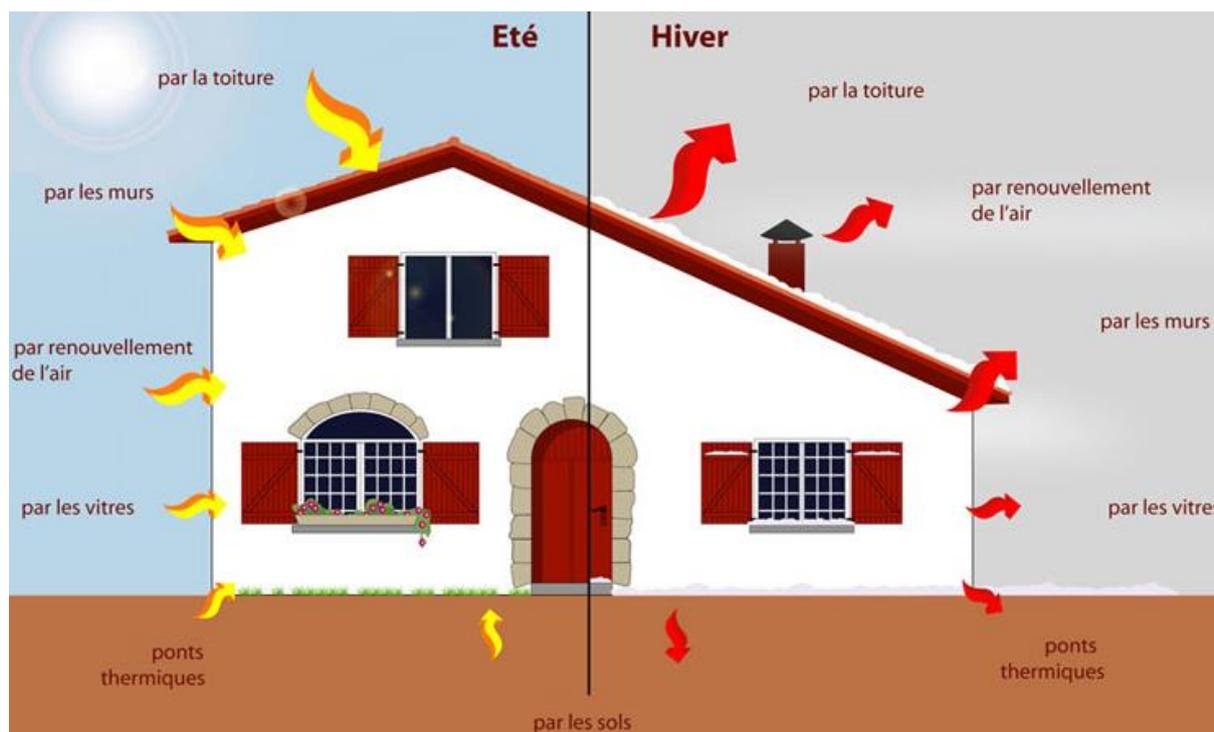


Figure 3 : sources de déperditions thermiques dans la Règlementation thermique algérienne

2.5. Isolation thermique d'un bâtiment :

L'isolation thermique d'un bâtiment est la capacité de ce dernier à limiter les échanges de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur. Elle est essentielle pour maintenir une température confortable à l'intérieur du bâtiment tout en minimisant la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer ou climatiser le bâtiment.

Il existe plusieurs moyens d'améliorer l'isolation thermique d'un bâtiment, tels que l'installation d'isolants thermiques dans les murs, les plafonds et les planchers, l'ajout de

fenêtres à double vitrage, l'utilisation de matériaux à haute efficacité énergétique pour la toiture et les murs, ainsi que la réduction des fuites d'air dans le bâtiment.

Un bâtiment bien isolé thermiquement peut permettre une réduction significative de la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation, ce qui peut se traduire par une réduction des coûts de chauffage et une diminution de l'impact environnemental du bâtiment.

2.5.1. Les différentes solutions pour une isolation thermique du bâtiment efficace :

Pour estimer la performance de l'isolation thermique, on utilise la résistance thermique comme unité de mesure. Il s'agit de la capacité d'un matériau à résister au passage de la chaleur sur une surface donnée ($m^2.K/W$). Elle est jugée efficace lorsque ce coefficient est supérieur à $4m^2.K/W$.

Pour parvenir à un tel niveau d'isolation thermique, différents matériaux isolants et techniques peuvent être utilisés. Une attention particulière doit être portée aux ponts thermiques.[15]

2.5.2. Les techniques d'isolation thermique :

Outre les différents matériaux isolants pouvant être utilisés pour améliorer la performance thermique du bâtiment, trois techniques sont susceptibles d'être utilisées :

2.5.2.1. L'isolation thermique par l'extérieur :

L'isolation thermique par l'extérieur ou ITE consiste à envelopper la construction d'un matériau isolant en recouvrant les façades et éventuellement la toiture. Ce procédé peut aussi bien être utilisé pour une construction neuve ou une rénovation.

L'ITE permet de supprimer une grande majorité des ponts thermiques sans réduire la surface habitable. Toutefois, son coût est assez élevé et il est nécessaire de demander une autorisation pour réaliser les travaux.

2.5.2.2. L'isolation thermique par l'intérieur :

L'isolation thermique par l'intérieur (ITI) nécessite d'installer le matériau isolation contre les murs intérieurs du bâtiment et/ou dans les combles. L'isolation thermique est alors placée dans une cloison de doublage ou une contre-cloison.

Ainsi, l'ITI est la solution la plus facile à mettre en œuvre notamment dans une rénovation. Elle est souvent considérée comme la plus économique. Pourtant, il ne faut pas oublier qu'une fois l'isolation thermique installée, il faudra refaire toute la décoration intérieure. De plus, elle empiète sur la surface à vivre.

2.5.2.3. L'isolation thermique répartie :

L'isolation thermique répartie (ITR) se distingue des deux autres techniques, car elle consiste à utiliser un matériau aux propriétés isolantes pour construire le mur. Il ne s'agit donc plus d'habiller le mur d'un matériau isolant, mais de faire en sorte que le mur soit lui-même isolant.[16]. Cette technique est donc possible uniquement sur les projets de construction.

2.6. Le Calcul thermique :

Il est effectivement préoccupant de constater que de nombreux bâtiments en Algérie sont conçus sans tenir compte de l'efficacité énergétique. Cela peut entraîner une surconsommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation, ce qui se traduit par des coûts élevés pour les propriétaires et des émissions de gaz à effet de serre supplémentaires pour la planète.

Pour remédier à cette situation, il est important de sensibiliser les concepteurs et les propriétaires de bâtiments à l'importance de l'efficacité énergétique et du confort thermique. Des réglementations pourraient être mises en place pour encourager l'utilisation

Chapitre II : Les notions de base de l'étude énergétique du bâtiment

de techniques et de matériaux de construction durables et économes en énergie, ainsi que pour limiter la consommation d'énergie des bâtiments.

2.6.1. Eclairage et la consommation :

Pour calculer la consommation électrique de cette ampoule, il faut tout d'abord déterminer la puissance en kilowatts (kW) de l'ampoule. La formule pour calculer la puissance en kW est la suivante :

$$\text{Puissance en kW} = \text{Puissance en watts} / 1000$$

Donc, pour une ampoule de 75 watts, la puissance en kW est de :

$$75 / 1000 = 0,075 \text{ kW}$$

Pour calculer la consommation électrique de l'ampoule sur une année, on peut utiliser la formule suivante :

$$\text{Consommation électrique annuelle en kilowattheures (kWh)} = \text{Puissance en kW} \times \text{Durée d'utilisation annuelle en heures.}$$

Donc, pour une ampoule de 75 watts utilisée pendant 4 heures par jour et 365 jours par an, la consommation électrique annuelle serait :

$$0,075 \text{ kW} \times (4 \text{ heures} \times 365 \text{ jours}) = 109,5 \text{ kWh}$$

Type d'ampoule	Consommation annuelle (en kWh)
Ampoule LED 12 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	17,5
Ampoule fluocompacte 15 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	21,9
Ampoule à incandescence 75 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	109,5
Ampoule halogène 75 watts (puissance d'éclairage 75 watts)	109,5

Tableau 1 : type d'ampoule et sa consommation annuelle

2.6.2. Consommation de l'énergie :

L'énergie consommée en (AC) ou (DC) E_c , exprimée en Watt-heure par jour (Wh/j). Cette énergie représente le produit de la puissance par le temps. Pour calculer la consommation énergétique en (AC) ou (DC) d'une installation, On calcule d'abord l'énergie Électrique consommée en 24heures par chaque équipement ou chaque fonction électrique et ensuite on les additionne :

$$E_c = \sum P_i \times T_i$$

Où :

E_c : énergie consommée en (AC) ou (DC)

AC : Courant alternatif

DC : Courant continu

P_i : Puissance électrique d'un appareil « i » exprimée en Watt (W).

T_i : Durée d'utilisation de cet appareil « i » en heure par jour (h/j).

Comme cette installation dépendra de batterie et onduleur, il est nécessaire de tenir compte de leurs rendements pour avoir l'énergie totale journalière réelle E_T qui s'exprime comme suit :

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{Bat}} + \frac{E_{AC}}{\eta_{Bat} \times \eta_{Ond}}$$

Où :

η_{BAT} : Rendement de batterie (0.95).

η_{Ond} : Rendement de l'onduleur (0.90).

3. Notions de base de l'étude acoustique :

3.1. Définition :

L'étude acoustique est le domaine scientifique qui étudie la production, la transmission, la réception et les effets du son.[17] (Voire Figure 4)

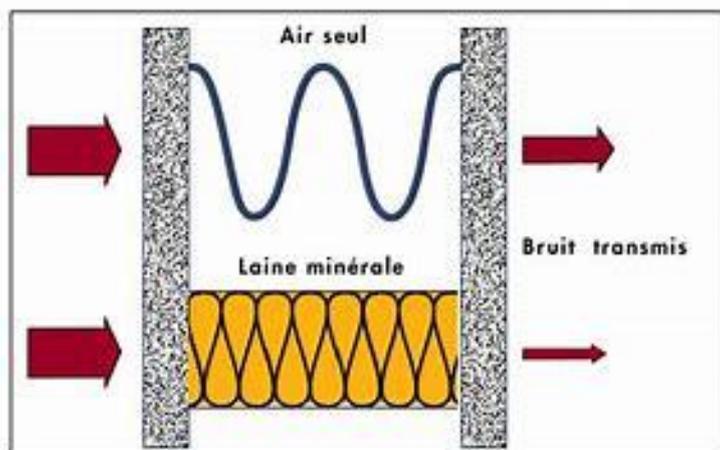


Figure 4 : l'image de l'isolation acoustique

3.2. Quelques notions de base en acoustique :

- **Le son** : Le son est une vibration qui se propage dans l'air ou tout autre milieu élastique. Il est caractérisé par trois paramètres : la fréquence, l'amplitude et la phase.
- **La fréquence** : La fréquence est le nombre de cycles de vibration par seconde. Elle est mesurée en hertz (Hz). Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu, et inversement.[18]
- **L'amplitude** : L'amplitude est l'intensité de la vibration sonore. Elle est mesurée en décibels (dB). Plus l'amplitude est grande, plus le son est fort.
- **La phase** : La phase est la position de la vibration par rapport à un point de référence. Elle est mesurée en degrés ou en radians.
- **La propagation du son** : Le son se propage dans l'air sous forme d'ondes acoustiques. La vitesse de propagation dépend de la température, de la pression et de l'humidité de l'air.

- **Les réflexions** : Le son peut être réfléchi par des surfaces solides comme les murs, les plafonds et les sols. Les réflexions peuvent affecter la qualité sonore d'un espace.[19]
(Voire Figure 5)

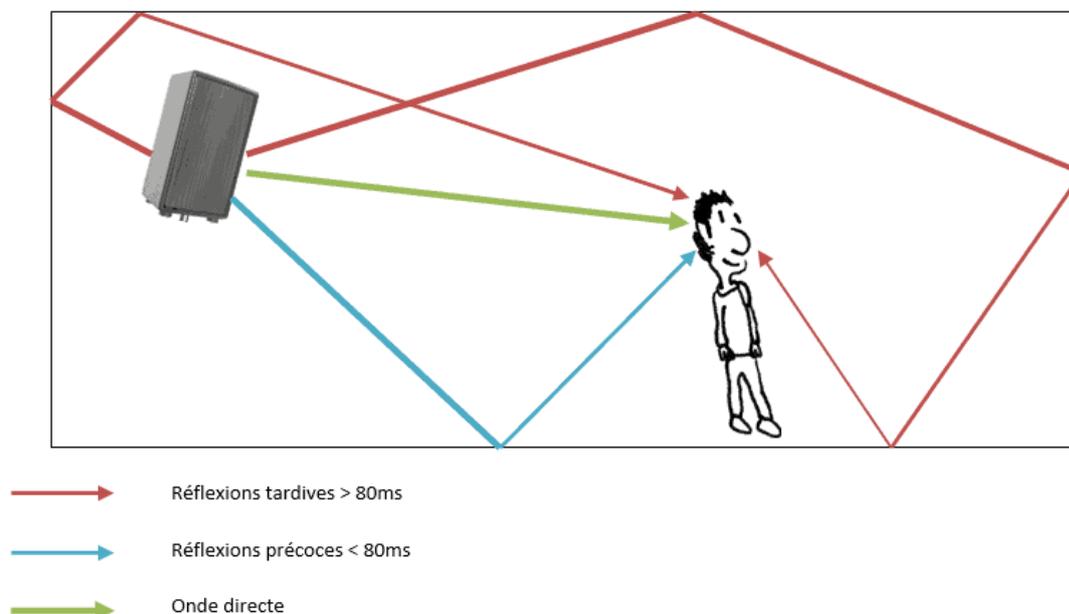


Figure 5 : les réflexions dans une espace fermé

- **La diffraction** : La diffraction est le phénomène par lequel le son se plie autour des obstacles. Cela peut avoir un impact sur la propagation du son dans un environnement donné.[20]
- **L'absorption** : L'absorption est la capacité d'un matériau à absorber le son. Les matériaux absorbants sont souvent utilisés pour réduire les réflexions et améliorer la qualité sonore.[21]

Ces notions de base sont utilisées dans de nombreux domaines de l'acoustique, tels que la conception de salles de concert, la mesure du bruit, la conception de systèmes de sonorisation et la création d'instruments de musique.

3.3. Isolation acoustique :

L'isolation acoustique est la capacité d'un matériau ou d'une structure à réduire la transmission du son ou du bruit d'un environnement à un autre. Elle peut être mesurée en termes de coefficient d'absorption sonore, qui mesure la quantité de son absorbée par un matériau, ou en termes de transmission du son, qui mesure la quantité de son qui traverse une structure.[22] (Voire Figure 6)

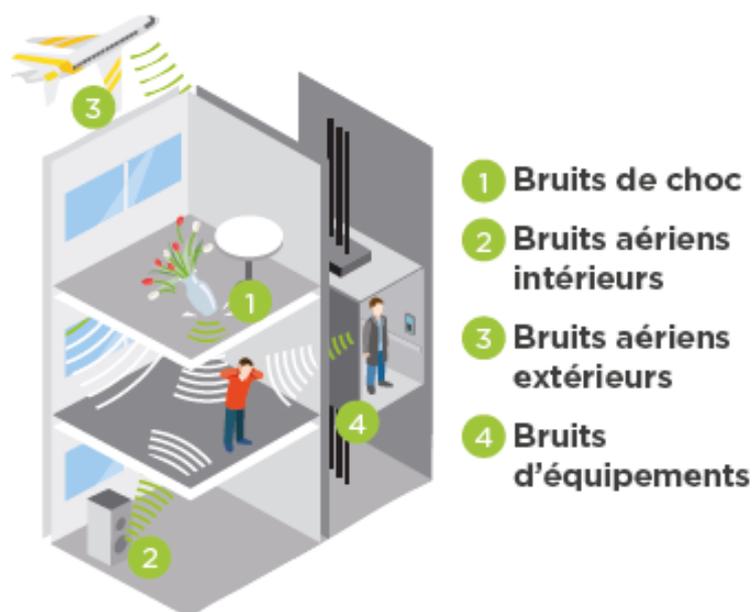


Figure 6 : isolation acoustique

L'isolation acoustique est importante dans de nombreux contextes, tels que la construction de bâtiments pour réduire les bruits provenant de l'extérieur, la conception de studios d'enregistrement pour éviter les fuites de son, ou la fabrication de produits pour atténuer les bruits de machines ou d'équipements. Les matériaux couramment utilisés pour l'isolation acoustique comprennent les panneaux absorbants, les matériaux d'isolation tels que la laine de roche ou la fibre de verre, les barrières de bruit et les isolants phoniques pour les tuyaux et les conduits.

3.4. L'importance de l'isolation acoustique :

L'isolation acoustique est importante pour plusieurs raisons, elle permet de réduire les nuisances sonores provenant de l'extérieur d'un bâtiment, comme le bruit de la circulation ou les sons provenant d'autres bâtiments voisins. Cela peut aider à créer un environnement intérieur plus calme et plus agréable pour les occupants du bâtiment.[23]

3.5. Le Calcul acoustique :

3.5.1. Le bruit :

Le bruit est composé de sons de différentes fréquences, qui se transmettent dans tous les milieux, notamment dans l'air sous forme d'ondes de pression et de dépression. Ces variations de pression en un point expriment la fréquence du bruit en Hertz (nombre de variations par seconde).

Dans le domaine du bâtiment, le bruit est un phénomène sonore indésirable. On distingue 3 types de bruit dans le bâtiment :

- Bruits aériens qui sont émis et se propagent dans l'air (bruits intérieurs/extérieurs).
- Bruits d'impact dus au choc d'un objet sur une paroi.
- Bruits d'équipement provoqués par les appareils et équipements.[24]

Exemples d'échelle de niveaux de bruit :

- **120 dB** : seuil de la douleur ; atelier de chaudronnerie ; jet au décollage.
- **100 dB** : intérieur d'autobus ; klaxon de voiture.
- **80 dB** : rue à grande circulation.
- **60 dB** : conversation courante ; rue à faible circulation.
- **40 dB** : poste radio à faible volume.

- **20 dB** : studio d'enregistrement ; campagne tranquille.

- **0 dB** : seuil d'audibilité (sujet jeune).

3.5.2. La correction acoustique :

La correction acoustique consiste à traiter la diffusion du son à l'intérieur d'un même local en agissant sur les performances d'absorption ou de réflexion des parois.

3.5.3. Les principes d'isolation acoustique :

Pour réaliser l'isolation acoustique, en particulier aux bruits aériens, entre 2 locaux mitoyens ou superposés, deux techniques sont possibles :

- **LES PAROIS SIMPLES (LOI DE MASSE) :**

L'isolation acoustique dépend essentiellement de la masse de la paroi. Exemple : Paroi Béton 160 mm, 390 kg/m², $R_w+C = 56$ dB

- **LES PAROIS DOUBLES (SYSTÈME MASSE – RESSORT – MASSE) :**

L'isolation acoustique dépend des facteurs suivants :

- Masse et nature des parois.
- Épaisseur et nature de l'amortisseur (lame d'air + laine minérale).
- Liaisons éventuelles entre les parois.

3.5.4. Les principes de correction acoustique :

L'énergie sonore incidente sur les parois d'un local se répartit en énergie transmise et en énergie réfléchie ; selon la nature des surfaces du local, il est possible de modifier la quantité d'énergie réfléchie et donc l'ambiance sonore à l'intérieur du local. La correction acoustique permet donc, dans un volume clos :

- De diminuer le niveau sonore des locaux bruyants en augmentant l'absorption (coefficient α).
- D'améliorer les qualités d'écoute des locaux d'audition en favorisant les réflexions entre la source et l'auditoire et en réduisant les réflexions tardives du son par absorption derrière l'auditoire (temps de réverbération). [25]

4. Notions de base de l'étude hydraulique :

L'étude des systèmes hydrauliques pour le captage des eaux pluviales et le filtrage des eaux grises est essentielle pour une gestion durable de l'eau. Ces systèmes permettent de collecter et de filtrer les eaux de pluie et les eaux usées domestiques afin de les réutiliser pour des usages non potables tels que l'irrigation ou le lavage. Cette approche contribue à économiser les ressources en eau douce et à réduire la dépendance aux sources traditionnelles. L'étude comprend l'évaluation des besoins, la conception des installations et le choix des technologies appropriées.

Voici quelques aspects clés de cette étude :

- Captage des eaux pluviales : L'objectif est de collecter et de stocker les eaux de pluie provenant des surfaces imperméables, telles que les toits, les parkings et les cours. Cela peut être réalisé à l'aide de gouttières, de descentes pluviales et de systèmes de drainage appropriés. L'étude doit prendre en compte la superficie de collecte, les précipitations locales, la capacité de stockage nécessaire et les systèmes de distribution. [32] (Voire Figure 7)



Figure 7: system de collecte de l'eau de pluie

- Filtrage des eaux grises : Les eaux grises désignent les eaux domestiques provenant des salles de bains, des lavabos, des douches et des machines à laver. L'étude des systèmes de filtrage des eaux grises vise à éliminer les contaminants et les impuretés afin de les rendre réutilisables pour des usages non potables, tels que l'irrigation des jardins, les toilettes ou le lavage des véhicules. Différentes méthodes de filtration, telles que la filtration mécanique, la filtration biologique et la désinfection, peuvent être étudiées en fonction des exigences locales. [33] (Voire Figure 8)

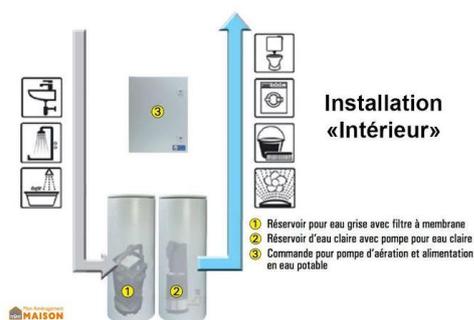


Figure 8: system de filtrage d'eau grises

- Stockage et distribution : Une fois les eaux pluviales et les eaux grises captées et filtrées, elles doivent être stockées de manière appropriée. Des réservoirs de stockage, des cuves souterraines ou des systèmes de stockage en surface peuvent être envisagés en fonction des contraintes d'espace et des besoins de l'utilisateur. L'étude doit également inclure la conception d'un système de distribution efficace pour acheminer les eaux récupérées vers les utilisateurs finaux. [34] (Voire Figure 9)



Figure 9: citerne de stockage

- Contrôle et gestion des systèmes : Les systèmes hydrauliques de captage des eaux pluviales et de filtrage des eaux grises peuvent nécessiter une gestion et un contrôle appropriés pour assurer leur bon fonctionnement. L'utilisation de capteurs, de vannes, de systèmes de pompage et de dispositifs de régulation peut être étudiée pour optimiser l'utilisation de l'eau et minimiser les pertes. [3]

En conclusion, l'étude des systèmes hydrauliques pour le captage des eaux pluviales et le filtrage des eaux grises offre des solutions durables pour la gestion de l'eau. Elle permet la collecte, le filtrage et la réutilisation des eaux de pluie et des eaux usées domestiques, réduisant ainsi la consommation d'eau potable et la pression sur les ressources en eau douce. En adoptant ces pratiques, nous contribuons à la préservation des ressources hydriques et à la construction d'un avenir plus durable sur le plan hydraulique.

4. Conclusion :

En pratique, les écoles et les bâtiments en général consomment beaucoup d'énergie, que ce soit pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage, les ordinateurs, etc. Cela peut avoir un impact négatif sur l'environnement en contribuant à l'émission de gaz à effet de serre et au changement climatique.

Dans ce chapitre nous avons présenté en général, les notions de base de l'étude thermique et acoustique que ce soit le confort et l'isolation thermique et acoustique.

Chapitre III : Techniques et Technologie

1. INTRODUCTION :

L'isolation thermique et acoustique ainsi que les systèmes de chauffage, de climatisation et d'énergie renouvelable jouent un rôle essentiel dans la conception et la construction de bâtiment écoénergétiques et durable et dans la transition énergétique. Ces technologies et techniques permettent de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer le confort thermique et acoustique des occupants et de minimiser l'impact environnemental des bâtiments [29].

Dans ce chapitre nous examinerons les différentes techniques et technologies d'isolation thermique et acoustique, notamment les matériaux d'isolation et les techniques d'installation. Nous discuterons également des différents types de systèmes de chauffages et de climatisation. Nous explorerons également les systèmes d'énergie renouvelable, tels que les panneaux solaires, les pompes à chaleur et leur rôle dans la réduction de la dépendance aux combustibles fossiles.

2. Techniques Et Technologies D'isolation :

Il existe plusieurs techniques et technologies d'isolation, chacune étant adaptée à des besoins spécifiques en matière d'isolation thermique ou acoustique [26]. Voici quelques-unes des techniques et technologies d'isolation les plus courantes :

2.1. Isolation Thermique :

Cette technique consiste à installer des matériaux qui réduisent le transfert de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment. Les matériaux couramment utilisés pour l'isolation thermique comprennent [26]

- **Le polystyrène expansé :**

C'est un matériau isolant léger et facile à manipuler, qui offre une bonne résistance thermique. Sa Conductivité varie de : **0,038 W/m.K à 0,030 W/m.K** (Voire Figure 10)

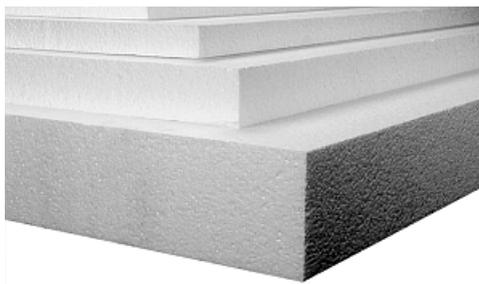


Figure 10 : Polystyrène expansé

- **La laine de verre :**

C'est un matériau isolant très courant facile à installer, qui offre une bonne résistance thermique. La Conductivité Thermique de la laine de verre varie De : **0,030 W/m.K à 0,040 W/m.K** (Voire Figure 11)



Figure 11 : La Laine De Verre.

- **La laine de bois :**

C'est le premier isolant écologique du marché, qui offre une bonne résistance thermique légèrement inférieur aux isolants traditionnels. La Conductivité Thermique de La Laine de Bois Varie De : **0,041 à 0,050 W/m.K** (Voire Figure 12)



Figure 12 : La Laine De Bois.

- **La laine de roche :**

Chapitre III: Technique et Technologie

C'est un isolant similaire à la laine de verre, mais qui offre une meilleure résistance au feu et aux températures élevées. Sa Conductivité Thermique varie de : **0,034 W/m.K pour la plus performante à 0,045 W/m.K** (Voire Figure 13)



Figure 13 : La Laine De Roche.

- **La ouate cellulosé :**

C'est un matériau isolant qui assure une meilleure isolation thermique comparée à la laine de verre, et offre une bonne économie d'énergie et Une Conductivité qui Varie de : **0,035 à 0,042W/m.K.** (Voire Figure 14)



Figure 14 : La Ouate Cellulose.

- **Les aérogels :**

Ce sont des matériaux nanoporeux aux caractéristiques futuristes conçues par Steven Kistler en 1931. C'est une matière solide, la plus légère qui contient 99.8% d'air. Les principaux gaz utilisés dans ces matières sont l'azote et l'oxygène et un gel de silice en phase aqueuse. Les performances exceptionnelles des aérogels peuvent encore être améliorées par l'ajout du carbone à la silice. Sa conductivité thermique est de **0,011 à 0,013 w/m.k.** [27] (Voire Figure 15)



Figure 15 : les aérogels

2.2. Isolation Acoustique :

Cette technique est utilisée pour réduire le bruit qui pénètre ou sort d'un bâtiment. Les matériaux d'isolation acoustique comprennent [31] :

- **Les panneaux de gypse insonorisant** qui offrent une barrière acoustique continue. (Voire Figure 16)



Figure 16 : Gypse insonorisant.

- **Les panneaux de mousse acoustique** qui absorbent les ondes sonores. (Voire Figure 17)



Figure 17 : Mousse Acoustique.

- **Les fibres de verre** : Les fibres de verres créent des poches d'air qui agissent comme des barrières pour empêcher les pollutions sonores (Voire Figure 18)



Figure 18 : Les Fibres De Verre

- **Les membranes insonorisantes** : Ce sont des membranes de haute densité conçues pour atteindre un plus grand confort acoustique. (Voire Figure 19)



Figure 19 : Membrane insonorisant

2.3. Isolation Thermo-acoustique :

Cette technique permet de réduire la transmission de la chaleur et du son à travers les murs, les plafonds et les planchers. Les techniques et technologies les plus couramment utilisées comprennent : La laine de verre, la laine de roche, panneaux de mousse acoustique, panneaux de plâtre acoustique, isolation par injections de mousse isolantes, Fenêtres à double vitrage, Portes isolantes [31]. (Voire Figure 20 ,Figure 21 et Figure 22)



Figure 20 : fenêtre à double vitrage



Figure 21 : L'injection de Mousse Isolante



Figure 22 : Panneau de Plâtre Acoustique

3. Les Systèmes de Chauffages :

Les systèmes de chauffages sont des équipements ou des dispositifs utilisés pour générer de la chaleur dans les bâtiments ou les espaces clos afin de maintenir une température confortable pendant les périodes de froid.

Ces systèmes peuvent être classés en plusieurs types en fonction de leur mode de fonctionnement et de la source d'énergie utilisée :

3.1. Le Chauffage Central :

Il s'agit d'un système de chauffage qui utilise une chaudière pour chauffer de l'eau qui est ensuite distribuée dans les tuyaux à travers les radiateurs dans chaque pièce de la maison. Le Chauffage central peut être alimenté par différents types d'énergies, tels que le gaz naturel, le mazout, l'électricité ou même des sources d'énergie renouvelable, comme l'énergie solaire. (Voire Figure 23)

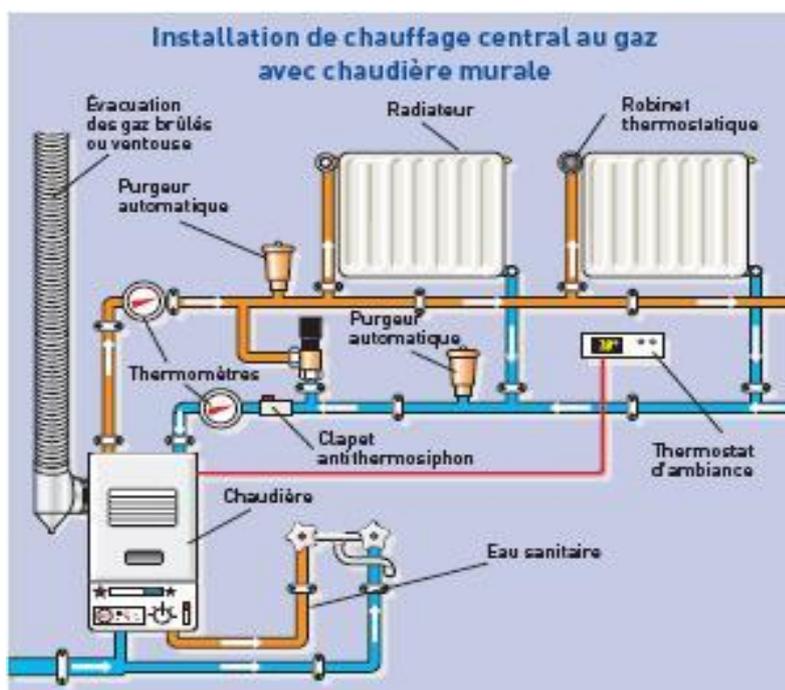


Figure 23 : le chauffage central

3.2. Le Chauffage électrique :

Il s'agit d'un système de chauffage qui utilise l'électricité pour générer de la chaleur. Les radiateurs électriques sont les dispositifs de chauffage les plus couramment utilisés dans ce type de système. (Voire Figure 24)



Figure 24 : le chauffage électrique

3.3. Le Chauffage au gaz :

Il s'agit d'un système de chauffage qui utilise du gaz naturel ou du propane pour générer de la chaleur. Les chaudières à gaz et les radiateurs au gaz sont les dispositifs les plus couramment utilisés dans ce type de système. (Voire Figure 25)



Figure 25 : Chauffage à gaz

3.4. Le Chauffage à air pulsé :

c'est un système de chauffage utilisant un ventilateur pour pousser de l'air chaud à travers des conduites dans toute la maison. Ce système peut être alimenté par différentes sources d'énergies (le gaz naturel, l'électricité, des sources d'énergies renouvelables). (Voire Figure 26)

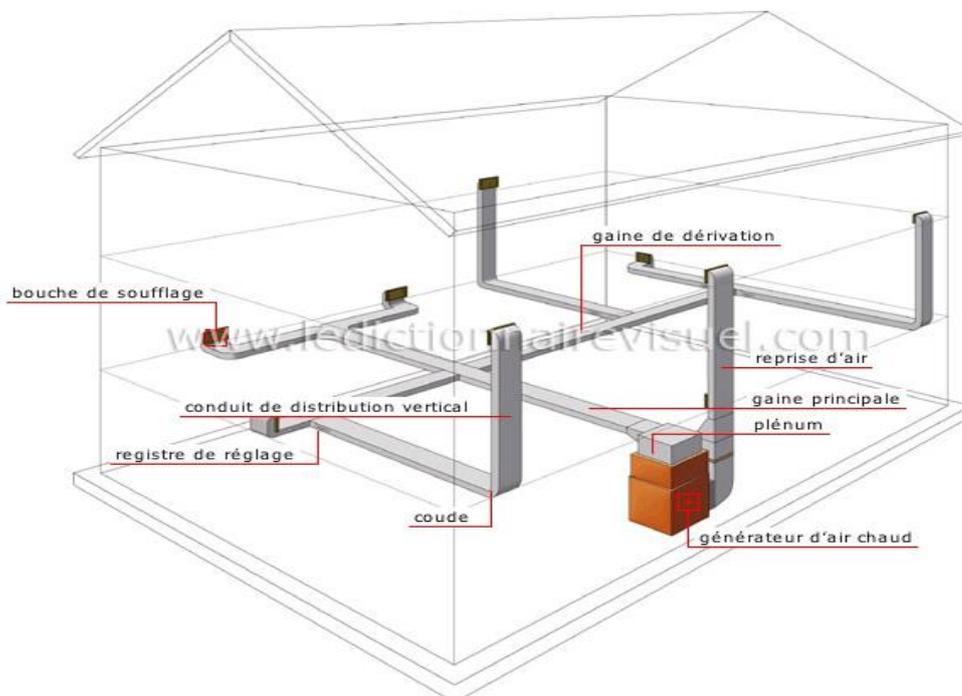


Figure 26 : Chauffage à air pulsé

3.5. Le Chauffage Radiant :

Il s'agit d'un système de chauffage qui utilise des panneaux radiants pour émettre de la chaleur infrarouge, qui est ensuite absorbée par les objets et les surfaces dans la pièce. Les panneaux radiants peuvent être alimentés par l'électricité, le gaz naturel ou d'autres sources d'énergie. (Voire Figure 27)



Figure 27 chauffage radiant

3.6. Le Chauffage Par Le Sol :

Ce type de système utilise un réseau de tuyaux places sous le plancher pour chauffer une pièce ou une maison entière. Il peut être alimenté par différentes sources d'énergies tels que l'électricité, le gaz naturel, la biomasse ou l'énergie solaire. (Voire Figure 28)

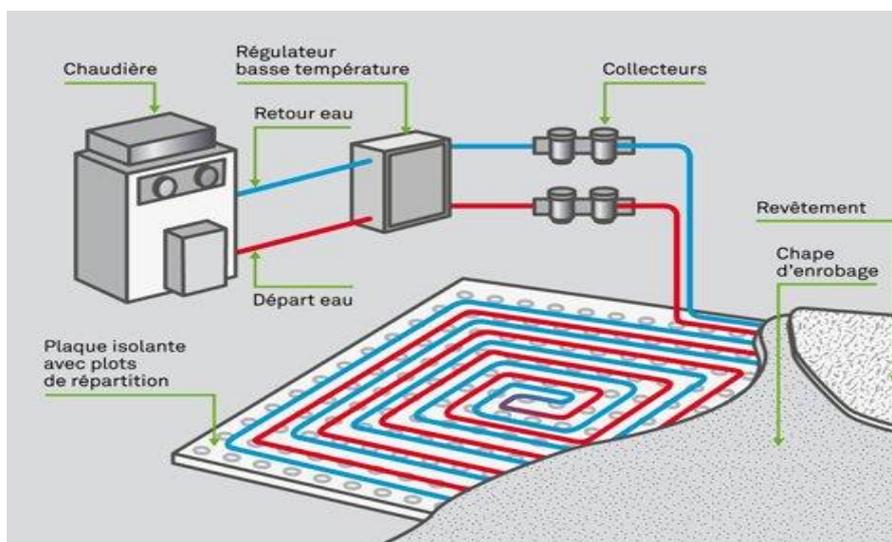


Figure 28 : chauffage par le sol

3.7. Le Chauffage Solaire :

Ce type de système utilise des capteurs solaires pour absorber la chaleur du soleil et la convertir en énergie pour chauffer l'eau ou l'air qui est ensuite distribué dans la maison [30]. (Voire Figure 29)

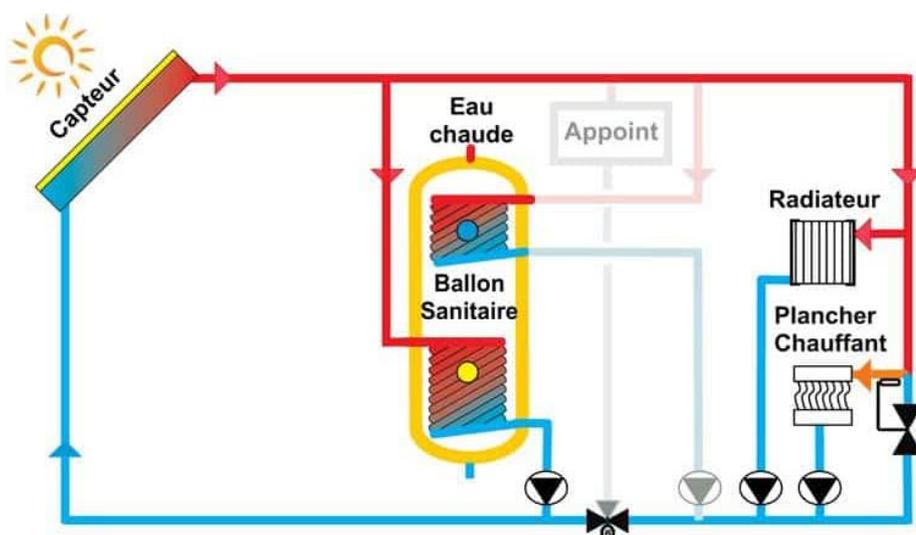


Figure 29 : le chauffage solaire

3.8. La Pompe à Chaleur :

Ce système utilise une technologie qui permet de transférer la chaleur de l'air extérieur à l'intérieur de la maison. Il peut être très efficace en termes d'énergie, mais il peut être plus coûteux à installer que certains autres systèmes. (Voire Figure 30)

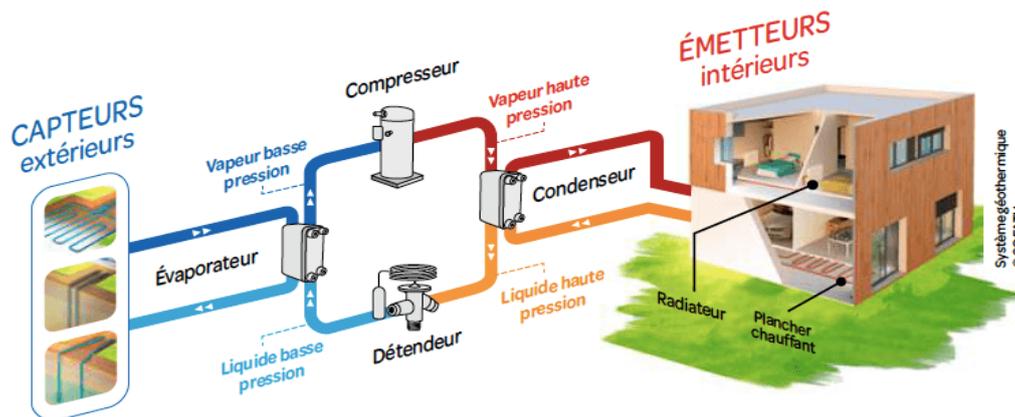


Figure 30 : La Pompe à Chaleur

3.9. Cheminée a bois :

Ce système utilise des bûches de bois pour chauffer la maison. Il peut être très efficace et économique, mais il peut être salissant et nécessite un espace de stockage pour le bois. (Voire Figure 31)

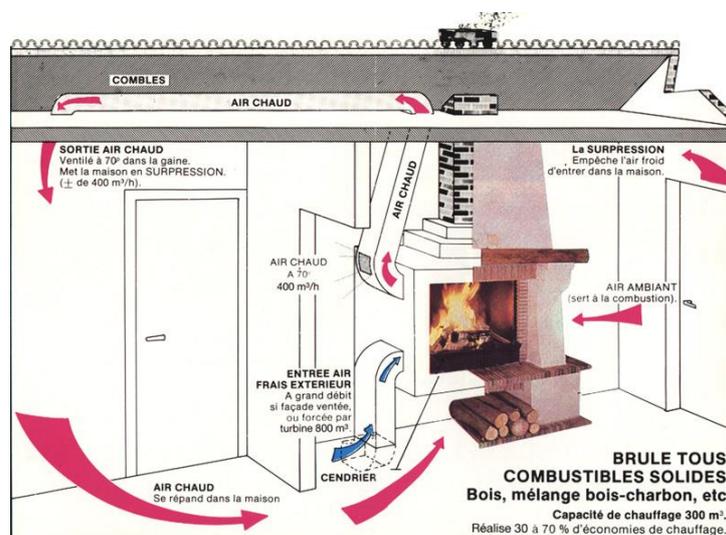


Figure 31 : Cheminée a bois

En fonction de chaque foyer, un système de chauffage particulier peut être plus approprié qu'un autre. Il est important de prendre en compte différents facteurs tels que le coût de l'installation et de l'entretien, la performance énergétique et l'impact environnemental pour choisir le système de chauffage qui convient le mieux [30].

4. Les Systèmes de Climatisation :

Les systèmes de climatisation sont des équipements qui permettent de réguler la température, l'humidité et la qualité de l'air dans un espace fermé, comme une maison, un bureau ou un véhicule. Les climatiseurs fonctionnent en utilisant des principes de thermodynamique pour transférer la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur ou vice versa. Il existe plusieurs types de systèmes de climatisation, notamment :

4.1. Les Climatiseurs de fenêtre :

Ces unités sont installées dans une ouverture de fenêtre et sont généralement utilisées pour refroidir de petits espaces, comme une chambre. (Voire Figure 32)

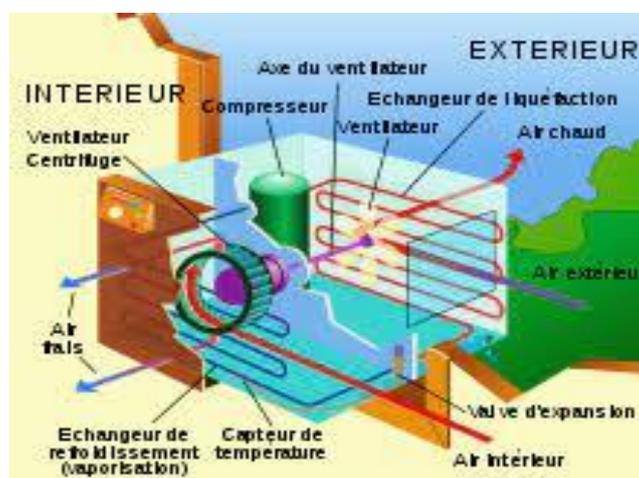


Figure 32 : Climatiseurs à fenêtre

4.2. Les Climatiseurs Centraux :

Ces systèmes sont installés dans des maisons et des bâtiments plus grands pour refroidir l'ensemble de l'espace. Ils fonctionnent en envoyant de l'air froid dans des conduits qui se trouvent dans les murs ou le plafond. (Voire Figure 33)

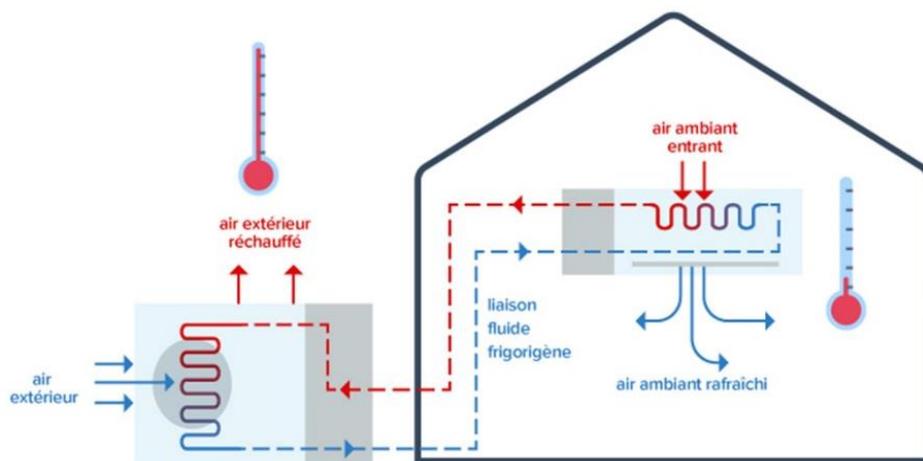


Figure 33 : climatiseur central

4.3. Les Climatiseurs Portables :

Ces unités peuvent être déplacées facilement et sont souvent utilisées dans les espaces où l'installation d'un climatiseur permanent n'est pas possible. (Voire Figure 34)

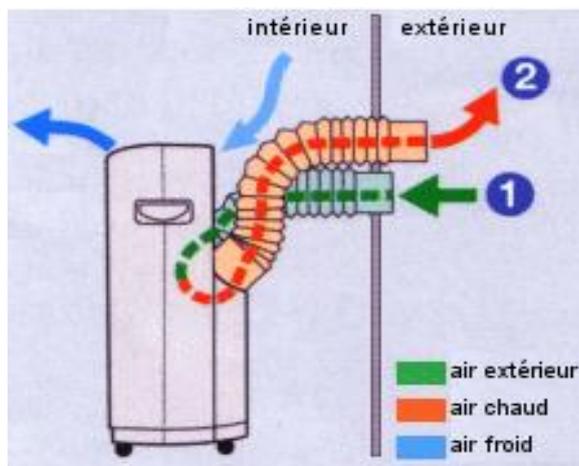


Figure 34 : Le Climatiseur Mobile

4.4. Les Climatiseurs à Split :

Ces systèmes sont composés d'une unité extérieure qui élimine la chaleur ou d'une ou plusieurs unités intérieures qui refroidissent l'air dans la pièce. (Voire Figure 35)

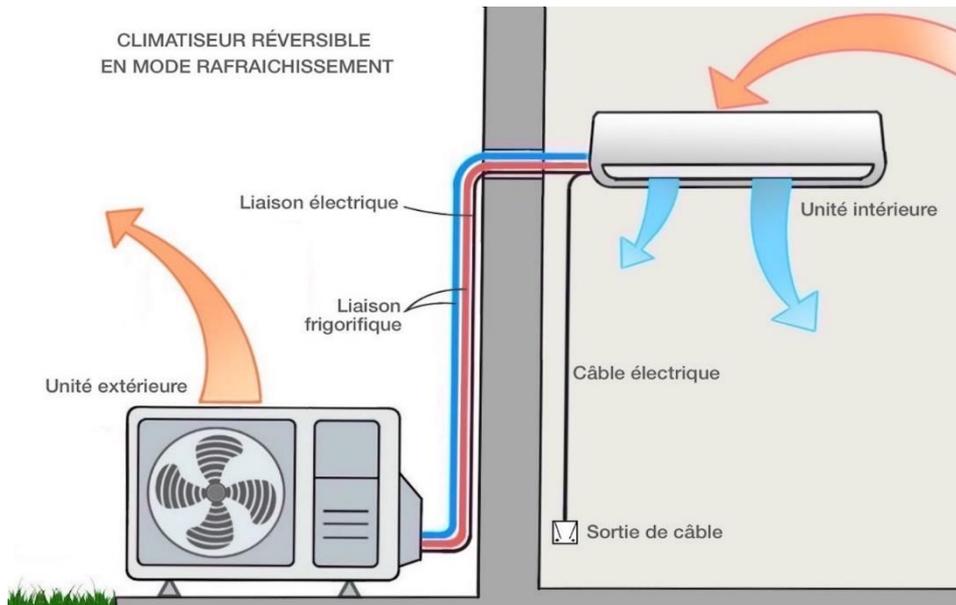


Figure 35 : Le Climatiseur à Split.

4.5. Les Climatiseurs à évaporation :

Ces systèmes sont souvent utilisés dans des environnements secs et chauds pour humidifier l'air et abaisser la température. (Voire Figure 36)

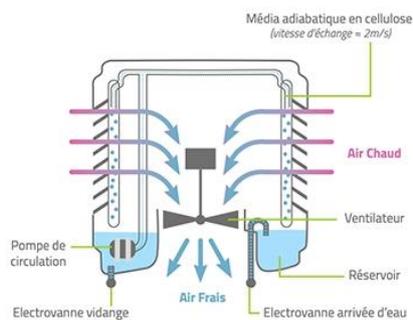


Figure 36 : Système Climatiseur a Evaporation

4.6. Les Climatiseurs géothermiques :

Ces systèmes utilisent l'énergie thermique du sol pour chauffer ou refroidir un bâtiment.
(Voire Figure 37)

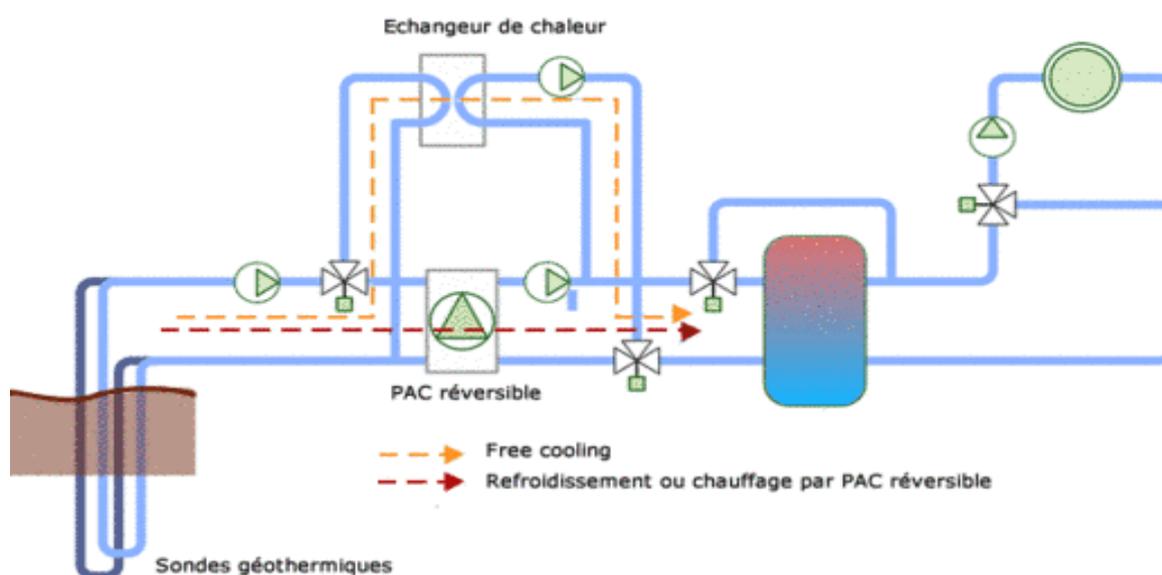


Figure 37 : La Climatisation Géothermique.

Il est important de noter que les systèmes de climatisation peuvent avoir des impacts environnementaux et énergétiques importants en fonction de leur mode de fonctionnement. Il est donc recommandé de choisir des modèles économes en énergie et respectueux de l'environnement, et d'utiliser les systèmes de manière responsable [30].

5. Les Systèmes D'énergies Renouvelables dans le Bâtiment :

Les systèmes d'énergies renouvelable dans les bâtiments sont des moyens durables et efficaces de produire de l'Énergie tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en économisant de l'argent sur les factures d'électricité à long terme. Et ils sont de plus en plus populaires car ils offrent des avantages environnementaux et économiques [28]. Les bâtiments peuvent être équipés de différents systèmes d'énergie renouvelable, tels que :

5.1. Les panneaux solaires photovoltaïques :

Ils peuvent être installés sur le toit ou les murs d'un bâtiment pour produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire. (Voire Figure 38)



Figure 38: Panneau Solaire Photovoltaïque.

5.2. Les panneaux solaires thermiques :

Ils peuvent être utilisés pour chauffer l'eau ou l'air dans un bâtiment en utilisant l'énergie solaire. (Voire Figure 39)

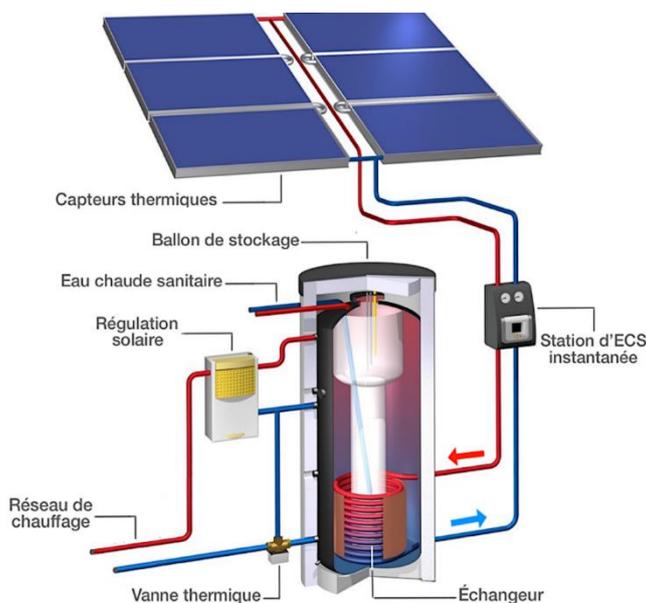


Figure 39 : les panneaux solaires thermiques

5.3. Les pompes à chaleur géothermiques :

Les pompes à chaleur géothermiques utilisent la chaleur du sol pour chauffer et refroidir les bâtiments. Elles sont généralement installées à l'intérieur du bâtiment et utilisent des tuyaux souterrains pour capter la chaleur du sol. Ces pompes sont particulièrement efficaces dans les climats froids. (Voire Figure 40)

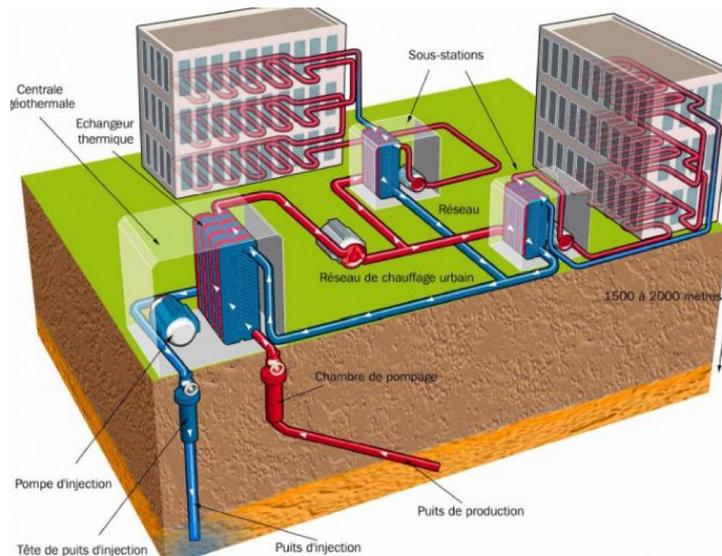


Figure 40 : Pompe à Chaleur Géothermique

5.4. Les systèmes de récupération de chaleur :

Les systèmes de récupération de chaleur sont utilisés pour récupérer la chaleur produite par les équipements du bâtiment, comme les systèmes de ventilation ou les ordinateurs, et la réutilise pour chauffer le bâtiment. (Voire Figure 41)

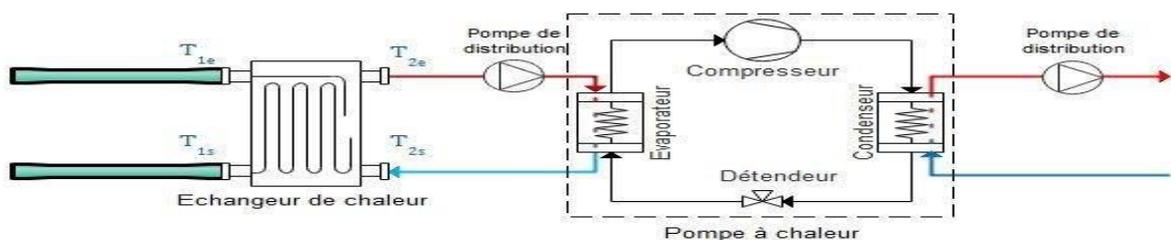


Figure 41: Le schéma du système de récupération de chaleur

5.5. Les systèmes de collecte d'eaux de pluie :

Les systèmes de collecte d'eaux de pluie peuvent être installés pour collecter l'eau de pluie qui tombe sur le toit du bâtiment et la stocker pour une utilisation ultérieure, comme l'arrosage des plantes ou le nettoyage. [32] (Voire Figure 42)



Figure 42: Système de collecte d'eaux de pluie

5.6. Les systèmes de récupérations des eaux grises :

Le système de récupération des eaux grises collecte, traite et réutilise les eaux usées domestiques (lavabos, douches, machines à laver) à des fins non potables. Cela réduit la consommation d'eau potable et contribue à la préservation des ressources en eau. [33] (Voire Figure 43)



Figure 43: Système de récupérations des eaux grises

CONCLUSION :

En conclusion, les techniques et technologies d'isolation thermique et acoustique, de chauffage, de climatisation et d'énergie renouvelable dans le bâtiment sont essentielles pour la construction de bâtiments durables et écoénergétiques et pour la transition énergétique. Ces systèmes permettent de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer le confort des occupants et de minimiser l'impact environnemental des bâtiments.

En outre, l'utilisation de matériaux d'isolation et de technologies de chauffage, de climatisation et d'énergie renouvelable doit être considérée dans le contexte de la performance globale du bâtiment. Les synergies entre ces différents systèmes doivent être envisagées pour maximiser leur efficacité et minimiser les coûts.

Enfin, il est important de sensibiliser les occupants à l'utilisation efficace des équipements et des systèmes pour optimiser leur performance énergétique. La combinaison de toutes ces pratiques permettra de créer des bâtiments plus durables, plus économes en énergie et plus confortables pour les occupants, tout en réduisant leur impact environnemental.

Conclusion générale :

En conclusion, la transition énergétique est une priorité pour de nombreux pays, dont l'Algérie. Elle vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à limiter les impacts du changement climatique. Dans ce contexte, les bureaux d'étude thermo-acoustique et les nouveaux matériaux d'isolation et de construction ont un rôle clé à jouer pour permettre une transition énergétique réussie.

Les bureaux d'étude thermo-acoustique sont des acteurs importants de la transition énergétique en Algérie. Ils permettent de concevoir des systèmes énergétiques efficaces et respectueux de l'environnement, en utilisant des technologies innovantes. Les nouveaux matériaux d'isolation et de construction contribuent également à cette transition en améliorant la performance thermique et acoustique des bâtiments, et en réduisant les besoins en énergie de chauffage et de climatisation.

Références Bibliographiques :

- [1] <https://journals.openedition.org/cdlm/5652>
- [2] https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_fr
- [3] <https://www.atmosud.org/article/reduire-les-consommations-denergie-lee-au-batiment>
- [4] https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-03/bruxelles_capitale_2020_ltrs_0.pdf
- [5] https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/05/L1_fr_Efficacite%CC%81-e%CC%81nerge%CC%81tique-et-construction-durable-2.pdf
- [6] [https://www.energypartnership-algeria.org/fileadmin/user_upload/algeria/Partenariat Energetique rapport cadre r%C3%A9glementaire.pdf](https://www.energypartnership-algeria.org/fileadmin/user_upload/algeria/Partenariat_Energetique_rapport_cadre_r%C3%A9glementaire.pdf)
- [7] <https://www.ab-engineering.fr/bureau-detude-acoustique-genie-civil.html>
- [8] <https://www.dimo-diagnostic.net/actualite-diagnostic-immobilier/bureau-etude-thermique>
- [9] https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF%20%20Part%20Eco-construction%20Recommandation%20CSS05%20FR
- [10] <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01861310/document>
- [11] : [\(PDF\) Le confort thermique dans les bâtiments \(researchgate.net\)](#)
- [12] : [L'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment : la vision et l'ambition de la Commission européenne | Cairn.info](#)
- [13] : [Quels sont les avantages de l'efficacité énergétique ? \(aide-renovation.fr\)](#)
- [14] : [Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment | ASJP \(cerist.dz\)](#)

- [15] : [Isolation thermique du bâtiment, les points à connaître - Batiadvisor](#)
- [16] : : [Isolation thermique du bâtiment, les points à connaître - Batiadvisor](#)
- [17] : [Physique - Acoustique \(edu.lat\)](#)
- [18] : [p04-acoustique-sommaire.pdf \(over-view.fr\)](#)
- [19] : [Les bases acoustiques : Notions - Majorcom](#)
- [20] : [Diffraction sonore: qu'est-ce que c'est, exemples, applications - Science - 2023 \(warbletoncouncil.org\)](#)
- [21] : [Qu'est-ce que l'Absorption - l'Absorption - Définition \(thermal-engineering.org\)](#)
- [22] : [qu'est ce que la capacité d'isolation acoustique d'un matériau - Nosdevoirs.fr](#)
- [23] : [L'isolation acoustique dans le bâtiment : Les grands principes et solutions \(isover.fr\)](#)
- [24] : [Notions d'acoustique dans le bâtiment - Siniat France](#)
- [25] : [Notions d'acoustique dans le bâtiment - Siniat France](#)
- [26] : Roulet Claude-Alain. THERMIQUE DU BÂTIMENT TOUT LE CONFORT AVEC PEU D'ÉNERGIE, Privatdocent LAUSANNE, 29 août 2000
- [27] Gallauziaux T et Fedullo D., (2010). « Le grand livre de l'isolation ». Ed Groupe Eyrolles. Paris. 683 p.
- [28] : John Dulac, Thibaut Abergel. Énergie et bâtiments : regards sur le reste du monde. Dans Annales des Mines - Responsabilité et environnement 2018/2 (N° 90), pages 17 à 21
- [29] : PNUE et AIE (2017), Vers un secteur des bâtiments et de la construction à émission zéro, efficace et résilient, Paris, Global Status Report Series.
- [30] : Horst Herr, Génie énergétique et climatique. Collection Dunod Tech.2020/8

[31] : <https://www.renovationettravaux.fr/isolation>. Isolation Thermique, Isolation Acoustique

[32] : Blokker, M., & van Leeuwen, K. (Eds.). (2009). Rainwater harvesting: potential, implementation and impacts. UNESCO-IHE Institute for Water Education.

[33] : Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. Metcalf & Eddy, Inc.

[34] : Wanielista, M., Yousef, Y., & Chandramouli, B. (2012). Stormwater management. John Wiley & Sons.

Références des figures:

- Figure 1 <https://picbleu.fr/les-articles/consommation-energie-des-batiments-habitation>
- Figure 2 [reglementation thermique algérien - Bing images](#)
- Figure 3 [Principe Isolation Acoustique - Bing images](#)
- Figure 4 [Site d'hameçonnage signalé : navigation bloquée \(fierymusic.net\)](#)
- Figure 5 [: isolation acoustique - Bing images](#)
- Figure 6 [Site d'hameçonnage signalé : navigation bloquée \(fierymusic.net\)](#)
- Figure 7 <https://wikiwater.fr/e4-la-recuperation-de-l-eau-de>
- Figure 8 <https://www.acteurdurable.org/eau-pluie/>
- Figure 9 <https://www.monamenagementmaison.fr/installation-de-traitement-des-eaux-grises-250l-interieur.html>
- Figure 10 <https://conseils-thermiques.org/contenu/images/polystyrene-expanse.png> polystyrène expanse
- Figure 11 <https://conseils-thermiques.org/contenu/images/guide-achat-laine-verre.png>
- Figure 12 <https://conseils-thermiques.org/contenu/images/laine-de-bois.png>
- Figure 13 <https://www.isolation-france.fr/wp-content/uploads/rouleau-laine-de-roche.jpg>
- Figure 14 <https://www.lisolation.fr/wp-content/uploads/2015/04/Prix-de-ouate-de-cellulose.jpg>
- Figure 15 <http://www.lamy-expertise.fr/>
- Figure 16 https://static2.solutions-elastomeres.com/105036-thickbox_default/se25m1-pu.jpg
- Figure 17 <https://www.isolationmarket.fr/wp-content/uploads/nc/p/3/7/4/374.jpg>

- Figure 18 <https://materiaux-techniques.fr/wp-content/uploads/2022/03/Membrane-insonorisante.png>
- Figure 19 <https://www.fenetre24.com/fileadmin/images/fr/cta-header/devis-double-vitrage.jpg>
- Figure 20 <https://calorifugeur-avise.com/wp-content/uploads/2017/10/Kit-mousse-PU.jpg>
- Figure 21 <https://www.leguieduchauffage.com/photogallery/chauffage-central/chauffage-central-cheminee.jpg>
- Figure 22 <https://www.lepetitelectricien.fr/wp-content/uploads/2020/04/modeles-chauffage-electrique.jpg>
- Figure 23 https://taksit.dz/media/images/produits/Sans_titre_17_PmmMONK.png
- Figure 24 <https://www.ikonet.com/fr/ledictionnairevisuel/images/qc/installation-a-air-chaud-pulse-63660.jpg>
- Figure 25 <https://www.totalenergies.fr/fileadmin/Digital/Illustrations/Parlons-Energie/497-le-chauffage-radiant-2.jpg>
- Figure 26 <https://www.garonablog.fr/wp-content/uploads/sites/3/2020/01/plancher-chauffant-a-eau-chaude.jpg>
- Figure 27 <https://www.solisart.fr/wp-content/uploads/2019/07/schema-chauffage-solaire-solisconfort.jpg>
- Figure 28 <https://adenr.com/wp-content/uploads/2019/07/PAC-ge%CC%81othermique.png>
- Figure 29 <https://arts-et-cheminees.com/images/chem.ouvertes.mode.fonc.jpg>
- Figure 30 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f9/Air_conditioning_unit-fr_V2.svg/220px-Air_conditioning_unit-fr_V2.svg.png
- Figure 31 <https://www.thorens-energies.com/assets/img/schema-fonctionnement-climatiseur.jpg>
- Figure 32 <https://www.energie-online.fr/schemas/clim/fonctionnement-mobile.jpg>
- Figure https://cdn.futura-sciences.com/sources/images/QR_Climatiseur_reversible_3.jpg

- 33 <https://media.xpair.com/redac/climatisation/principe-naturel-simple.jpg>
- Figure
- 34 https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2019/03/RTEmagicC_33_bon_01.png.png
- Figure
- 35 <https://bo.quelleenergie.fr/sites/default/files/2021-05/schema%20photovoltaique.jpeg>
- Figure
- 36 https://cdn.futura-sciences.com/sources/images/QR_Solaire_thermique_2.png
- Figure
- 37 <https://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/wp-content/uploads/2018/01/Credit-M-A-Guichard-ObservER.jpg>
- Figure
- 38 https://cdn.futura-sciences.com/sources/images/QR_PAC_geothermique-2.jpg
- Figure
- 39 <https://energieplus-lesite.be/wp-content/uploads/2016/04/cogen-intro-principeCogen.png>
- Figure
- 40 <https://blogpeda.ac-poitiers.fr/developpement-durable-5-1/files/2017/01/breve15758c.jpg>
- Figure
- 41 https://www.researchgate.net/figure/4-Schema-de-fonctionnement-de-la-recuperation-de-chaaleur-sur-eaux-usees-source-auteur_fig20_342493020
- Figure
- 42 <https://www.acteurdurable.org/eau-pluie/>
- Figure
- 43 <https://wikiwater.fr/e4-la-recuperation-de-l-eau-de>