

Département d'Architecture



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :
MASTER ACADEMIQUE

Filière :
ARCHITECTURE

Spécialité :
ARCHITECTURE ET TECHNOLOGIE

Présenté par :
Razika BENGUESSOUM

THEME :
POUR UNE RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE DU PARC
IMMOBILIER SCOLAIRE EN ALGÉRIE
CAS DU LYCÉE ZINE MOHAMED BEN RABAH À KAOUS, JIJEL

Date de la Soutenance : 26/10/2020.

Composition du Jury :

Nafila SMAKDJI
Hocine TEBBOUCHE
Ghofrane BENKECHKECHE

MCB, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Présidente du jury
MAA, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Encadrant de mémoire
MCB, université Mohamed Seddik BENYAHIA - Jijel, Membre du Jury

Remerciement

Tout d'abord, je remercie DIEU Allah le Tout Puissant, de m'avoir donné la volonté et le courage et la patience afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement mon encadreur Mr. Hocine Tebbouche pour m'avoir encadrée et qui m'a aidé à développer des capacités de recherche, et qui m'a toujours amené à pousser ma réflexion de plus en plus loin.

Je tiens à associer à ces remerciements les membres du jury Mme Nafila Smakdji et Mme Ghofrane Benkechkeche d'avoir accepté de juger et examiner ce travail.

Je tiens aussi à remercier profondément Mr. Ouahid Halloufi de son aide pour le logiciel CTBAT, et pour ces aides à la compréhension de certains phénomènes du physique du bâtiment.

Mes remerciements vont également à mes très chers parents, à mes sœurs mes frères (surtout mon cher frère Mohamed) pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour me permettre de continuer mes études dans les meilleures conditions possibles.

Je remercie particulièrement Mme Khaoula Djaballah et Mme Hanane Aiouache pour leur encouragement.

Des remerciements tous particuliers à mes proches, en particulier à Abir et Kenza pour tout le moment que nous avons passé ensemble.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

Merci à toutes et à tous

TABLE DES MATIÈRES

Dédicaces et remerciements.....	I
Table des matières.....	II
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	X
Liste des abréviations.....	XI
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Problématique.....	2
Questionnement.....	3
Hypothèses de la recherche.....	4
Objectif général de la recherche.....	4
Démarche méthodologique.....	4
Structure du mémoire.....	5
<u>Chapitre 1 : concepts et notions</u>.....	6
1.1 Introduction.....	6
1.2 Maitrise énergétique dans le bâtiment	6
1.3 Sobriété énergétique.....	6
1.4 Efficacité énergétique dans le bâtiment	6
1.5 Performance énergétique dans le bâtiment	7
1.6 Bilan énergétique.....	7
1.7 Audit énergétique	7
1.8 Étiquette énergétique.....	7
1.8.1 Définition.....	7
1.8.2 Classes énergétiques	8
1.9 Diagnostic de performance énergétique (DPE)	8
1.10 Labels énergétiques.....	9
1.10.1 Définition.....	9
1.10.2 En France	9
1.10.3 En Suisse.....	10

1.10.4 En Allemagne.....	10
1.10.5 Aux États-Unis	11
1.11. Consommation énergétique dans le bâtiment	11
1.11.1. Consommation d'électricité.....	12
1.11.2. Consommation de GAZ	13
1.12. Réhabilitation énergétique dans le bâtiment.....	13
1.12.1 Définition	13
1.12.2 Les enjeux de la réhabilitation énergétique.....	13
1.12.3 Les différents niveaux de la réhabilitation énergétique.....	14
1.12.4 Réhabilitations énergétiques et le confort thermique.....	15
1.12.5 Confort thermique.....	16
1.12.5.1 Confort d'été	16
1.12.5.2 Confort d'hiver.....	17
1.12.6 Techniques et méthodes de réhabilitation énergétique	17
1.12.6.1 Éclairage.....	17
1.12.6.2 Chauffage.....	18
1.12.6.2.1 Réhabilitation thermique de l'enveloppe.....	18
A. Isolation des planchers	18
B. Isolation des parois opaques.....	20
a. Par l'intérieur.....	20
b. Par l'extérieur	21
C. Isolation des parois vitrées	22
D. Isolation de la toiture.....	24
E. Protection solaire	25
1.12.6.2.2 Réhabilitation de système de chauffage	25
1.12.6.3 Ventilation	25
A. Définition de VMC	26
B. Composantes de VMC.....	26
C. VMC dans les établissements scolaires.....	26
a. VMC simple flux.....	26
b. VMC double flux.....	28
1.12.6.4 Climatisation	31

1.12.6.5 Intervention sur les abords.....	31
1.13.Conclusion.....	31
<u>Chapitre 2</u> : la consommation énergétique dans le bâtiment en Algérie	32
2.1 Introduction.....	32
2.2 La stratégie de maîtrise de l'énergie en Algérie.....	32
2.3 Les programmes nationaux de développements énergétiques en Algérie.....	33
2.3.1 Programme national d'efficacité énergétique.....	33
2.3.1.1 Les axes d'intervention.....	34
2.3.1.2 Le développement des capacités industrielles.....	34
2.3.1.3 Cadre Juridique et réglementaire et mesures incitatives.....	34
2.3.1.4 Étiquetage énergétique.....	34
2.3.1.5 État du programme.....	35
2.3.2 Programme Eco bat.....	36
2.3.2.1 Objectifs du programme.....	37
2.3.2.2 Stratégie de conception adoptée pour le projet éco bat.....	37
2.3.2.3 Consistance du programme.....	37
2.3.3 Programme national de développement des énergies renouvelables.....	38
2.3.3.1 Objectifs.....	38
2.3.3.2 Mécanismes d'encouragement.....	38
2.3.3.3 État du programme.....	38
2.4 La réglementation thermique algérienne du bâtiment.....	40
2.5 Institutions nationales de la maîtrise de l'énergie en Algérie.....	41
2.5.1 Le Comité intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME).....	42
2.5.2 L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE).....	42
2.5.3 Le Centre de développement des énergies renouvelables (CDER).....	42
2.6 Conclusion.....	4
<u>Chapitre 3</u> : le parc immobilier scolaire en Algérie	43
3.1 Introduction.....	43

3.2 Définition	43
3.3 Historique du parc immobilier scolaire	44
3.4 Évolution du parc immobilier scolaire.....	47
3.5 Classification des établissements scolaires.....	47
3.6 Normes.....	49
3.7 Consommation énergétique dans le parc immobilier scolaire en Algérie	52
3.8 Usage des énergies consommées dans les établissements scolaires.....	53
3.8.1 Chauffage	53
3.8.2 Éclairage	53
3.8.3 Climatisation.....	54
3.9 Conclusion.....	54
<u>Chapitre 4</u> : Étude des exemples.....	55
4.1 Introduction.....	55
4.2 Exemple international: Réhabilitation du Lycée polyvalent Jean Baptiste Colbert, établissement Public de Lorient (56). Bretagne – France.....	55
4.3 Présentation du projet.....	55
4.4 Fiche technique.....	55
4.5 Étude architecturale.....	55
4.5.1 Situation géographique	55
4.5.2 Limite et accessibilité.....	56
4.5.3 Orientation et ensoleillement	57
4.5.4 Système constructif et matériaux de construction.....	57
4.6 Réhabilitation énergétique	58
4.6.1 Les enjeux de réhabilitation énergétique	58
4.6.2 Technique de réhabilitation énergétique.....	58
4.7 Synthèse.....	64
4.8 Conclusion.....	65

<u>Chapitre 5 : Cas d'étude – lycée Zine Mohamed ben Rabah a kaous</u>	66
5.1 Introduction.....	66
5.2 Présentation du projet.....	66
5.3 Fiche technique	66
5.4 Étude architecturale.....	67
5.4.1 Situation géographique	67
5.4.2 Limitée et accessibilité.....	67
5.4.3 Orientation et ensoleillement	68
5.4.4 Systèmes constructifs et les matériaux de construction.....	69
5.5 Bilan énergétique de l'état actuel.....	69
5.6 technique de réhabilitation (les scénarios proposés)	69
5.7 Simulation par logiciel CT-BAT.....	71
5.8 Interprétation des résultats de la simulation	73
5.8.1 Avant réhabilitation énergétique	73
5.8.2 Apres réhabilitation énergétique	74
5.10.Recommandations	81
5.10.1 Éclairage	81
5.10.2 Chauffage	82
5.10.3 Climatisation	82
5.10.4 Appareillage	83
5.11 Conclusion	83
CONCLUSION GÉNÉRALE	84
Références bibliographiques.....	85
Annexes.....	I
ملخص.....	X
Résumé	X
Abstract	XI

Liste des figures :

Figure 1.1:exemple avec les composants d'une étiquette énergie	08
Figure 1.2:évolution de la consommation énergétique dans le bâtiment	10
Figure 1.3:consommation annuelle d'énergie finale.....	11
Figure 1.4:comparaison entre bâti ancien et moderne.....	12
Figure 1.5:caractéristiques structurelles d'un modèle du confort thermique.....	15
Figure 1.6: évolution du cout global et de ses différentes Composantes en fonction des Options de réhabilitations.....	17
Figure 1.7: les déperditions thermiques.....	18
Figure 1.8: complément sur sol existant.....	19
Figure 1.9: sur les planchers en maçonnerie.....	19
Figure 1.10: sur les planchers en bois.....	19
Figure 1.11:l'isolation intérieure des murs extérieurs.....	20
Figure 1.12 : Schématisation des ITE sous enduit, sous bardage.....	21
Figure1.13 : schématisation des ITE sous vêtture/vêlage.....	22
Figure 1.14: renforcement du vitrage.....	23
Figure 1.15:doube fenêtre.....	23
Figure1.16:double vitrage.....	24
Figure1.17:protection fixe par une avancée de toit en façade sud.....	25
Figure1.18:VMC simples flux.....	27
Figure1.19: les composants de VMC simple flux.....	28
Figure 1.20:le système simple flux avec extraction sanitaire.....	28
Figure 1.21 : les différents composants de VMCDF.....	29
Figure 1.22:principe de fonctionnement de VMC DF.....	29
Figure 1.23: ventilation double flux centralisé avec extraction sanitaire.....	30
Figure 1.24: VMC décentralise.....	30
Figure 1.25: VMC décentralise.....	30
Figure 2.1:emissions évitées (en millions de tonnes CO ₂)	32
Figure 2.2: le potentiel d'économie d'énergie estimé à plus de 10 millions de tep à l'horizon 2030 soit plus de 15%.....	33
Figure 2.3:etiquette énergétique.....	35
Figure 2.4:répartition des logements (projet ECO-BAT)	36

Figure 2.5 : électrifications au solaire photovoltaïque.....	39
Figure 2.6:énergie renouvelable en 2015.....	44
Figure 3.1:Zaouïa, environs de Bougie.....	44
Figure 3.2 :M'Dersa Tachfinia à Tlemcen, elle fut détruite par le pouvoir colonial en 1872-1874.....	45
Figure 3.3:enseignement A. Collège de Mostaganem, 1913, photographie Tourte et Petitin, Rouen	45
Figure 3.4: enseignement B. Travail de tannerie et dinanderie, école indigène Saïda, 1906.....	45
Figure 3.5:bâtiment principal, lycée de Ben Aknoun1924	45
Figure3.6:une école des Pères blancs à Ghardaïa dans les années 1920, Carte postale, collections.....	45
Figure 3.7:exemple d'une salle ordinaire.....	49
Figure 3.8: orientation sud dans la zone I et II, S-SE la zone III.....	50
Figure 3.9: répartition de la consommation du secteur du secteur tertiaire par branche.....	52
Figure 3.10 : répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie.....	52
Figure 3.11: Coefficients de réflexion.....	54
Figure 4.1 : vue sur le lycée.....	55
Figure 4.2 :situation géographique du lycée	56
Figure 4.3: environnement de lycée.....	56
Figure 4.5: orientation et ensoleillement des bâtiments.....	57
Figure 4.6:plan étage bâtiment (B).....	57
Figure 4.7:système constructif.....	58
Figure 4.8:bâtiment B avant la réhabilitation.....	59
Figure 4.9:bâtiment C avant réhabilitation.....	59
Figure 4.10: les travaux de réhabilitation.....	60
Figure 4.11 : fixation des caissons.....	60
Figure 4.12:bardage.....	60
Figure 4.13: la mise en place de bardage	60
Figure 4.14 : façade du bâtiment B après les travaux.....	61
Figure 4.15: traitement de RDC en bois.....	61
Figure 4.16 : détaille des fenêtres a près réhabilitation.....	62
Figure 4.17: anciennes menuiseries à venir	62
Figure 4.18:habillage intérieur en médium	62

Figure 4.19:consommation de chauffage a près réhabilitation.....	63
Figure 4.20:la consommation énergétique	64
Figure 4.21:etiquette énergétiques de lycée avant et après la réhabilitation.....	65
Figure 5.1:vue sur le lycée.....	66
Figure 5.2 : la situation géographique.....	67
Figure 5.3:plan de masse.....	68
Figure 5.4:ensoleillement et vent dominant de lycée.....	68
Figure 5.5: la consommation énergétique de 2019 du lycée Zine Mohamed.....	69
Figure 5.6:le positionnement de l'échantillon d'étude.....	70
Figure 5.7:vue extérieure et intérieure de la classe.....	70
Figure 5.8: isolation par l'extérieur proposé	71
Figure 5.9: l'interface de CTBAT.....	72
Figure 5.10: échantillon d'étude (salle de classe)	72
Figure 5.11: profil de température de mur 1 (l'état actuel)	73
Figure 5.12: profil de température de mur 6 (l'état actuel)	74
Figure 5.13: Profil de température de mur 01(scénario1).....	74
Figure 5.14: profil de température de mur 01(scénario4).....	75
Figure 5.15: profil de température de mur 06 (scénario4).....	76
Figure 5.16:déperdition thermique(DT)	77
Figure 5.17: les Apport de chaleur à travers les Parois opaques et vitrées.....	78
Figure 5.18: consommation énergétique suivant les scénarios.....	78
Figure 5.19: la consommation énergétique avant et après les travaux de réhabilitation.....	78
Figure 5.20: consommation énergétique en : kWh/m2.an.....	78
Figure 5.21: le montant de la facture avant et après réhabilitation.....	79
Figure 5.22: étiquette énergétique de lycée avant et après réhabilitation.....	79

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : Enjeux moteurs de la réhabilitation énergétique.....	14
Tableau 1.2 : isolation des planchers	19
Tableau 1.3: recommandation avant l’installation de VMC	26
Tableau 2.1: Coefficients de référence	41
Tableau 3.1: dimension des ouvertures (surf vitrée/surf plancher)	50
Tableau 3.2: Besoins en chauffage par élève.....	53
Tableau 4.1: les enjeux de réhabilitation énergétique.	58
Tableau 4.2 : technique de réhabilitation de lycée	59
Tableau 5.1:Conductivité et résistance thermiques de mur1 (composition de l'extérieur vers l'intérieur) scénario1	75
Tableau 5.2:Conductivité et résistance thermiques de mur1 (composition de l'extérieur vers l'intérieur) scénario 4.....	76
Tableau 5.3:Conductivité et résistance thermiques de mur5 (composition de l'extérieur vers l'intérieur) scénario 4.....	77
Tableau 5.4: Les caractéristiques des différentes lampes	81
Tableau 5.5 : caractéristique des fenêtres et des vitrages	82

Liste des abréviations :

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.
AIE	Agence Internationale de l'Énergie
APRUE	Agence National pour la Promotion et la Rationalisation d'Utilisation de l'Énergie.
BBC	Bâtiment Basse Consommation.
CTBAT	Calcul thermique en Bâtiment.
CVC	Chauffage, Ventilation et Climatisation.
CDER	Centre de développement des énergies renouvelables.
DPE	Diagnostic de Performance énergétique.
DT	Déperdition par Transmission.
DTR	Document Technique Règlementaire.
ECS	Eau Chaude Sanitaire.
EnR	Énergie Renouvelable.
GES	Gaz à Effet de Serre.
HQE	Haute Qualité Environnementale.
HPE	Haute Performance énergétique.
ITE	Isolation thermique par l'Extérieur.
ITI	Isolation thermique par l'Intérieur.
Metp	Million de Tonnes Equivalent de Pétrole.
ONU	Organisation des Nations Unies.
PMNE	Programme National de Maîtrise de l'énergie.
SHON	Surface Hors Œuvre Nette.
VIR	Vitrage a Isolation Renforcée.
VMC	Ventilation Mécanique Contrôlée.
VMC DF	Ventilation Mécanique Contrôlée Double Flux.
VMR	Ventilation Mécanique Répartie.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La consommation énergétique dans le secteur du bâtiment est l'un des sujets souvent le plus abordé dans la recherche scientifique actuelle, vu que le parc immobilier est le plus gros consommateur d'énergie (gaz, électricité) en régime d'utilisation, mais aussi en cour du processus de construction. Il représente 32% de la consommation totale (djaffar semmar et al., 2012) (le résidentiel et le tertiaire sont à eux seuls responsables de 44% de la consommation énergétique (Lucas, 2014).

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), la consommation mondiale d'énergie va augmenter de 50 % entre 2004 et 2030 (kharchi, 2013), pour pouvoir accompagner la croissance démographique et économique. Le taux de consommation diffère d'un pays à un autre, il est déterminé par les conditions climatiques, le taux de croissance économique et le développement technologique. Mais la question de la consommation énergétique dans le monde en général et dans le secteur du bâtiment en particulier, n'a été abordée qu'après les années soixante-dix (choc pétrolier), en vue de protéger les ressources naturelles de l'épuisement, et n'a vu le jour que dans les années quatre-vingt-dix, avec l'émergence du la notion de développement durable.

On sait aujourd'hui que pour atteindre l'objectif du développement durable (lutte contre le réchauffement climatique et la réduction d'émission de GES), il est nécessaire de traiter la maîtrise de l'énergie dans les constructions anciennes, parce qu'elles constituent la majeure partie du parc immobilier d'un côté, et de l'autre côté ces bâtiments consomment plus d'énergie que ceux qui respectent les normes actuelles (ils consomment cinq fois plus que les nouveaux (platzer, 2009)), la démolition de l'ancien bâti et le remplacer par de nouveaux bâtiments qui respectent les règlementations thermiques ne peut se justifier sur le plan économique à cause de la consommation des énergies primaires, pour la démolition et la reconstruction. Sur le plan social, la majorité des constructions anciennes sont considérées comme un héritage familial ou patrimoine de l'humanité. Pour cela l'adaptation possible des bâtiments à la nouvelle exigence énergétiques exige l'utilisation des méthodes (solutions) efficaces et actuelles. Parmi ces méthodes, la réhabilitation énergétique.

À travers le monde, que ce soit dans les pays développés ou en voie de développement les équipements scolaires sont des leviers essentiels pour construire la société de demain. L'école est d'abord un lieu d'ouverture au monde à l'apprentissage des savoirs et à la socialisation des

usages. Ce rôle est vital au sein de nos sociétés, mais pour jouer ce rôle les établissements scolaires doivent offrir des lieux de l'enseignement et d'apprentissage confortable, et un lieu de travail fonctionnel à adapter aux évolutions de la pédagogie. La plupart des équipements scolaires sont anciens, vétustes et inconfortables, le système de chauffage est également ancien (énergivore). Cet état d'inconfort a des conséquences négatives sur la concentration et le rendement des élèves.

En matière d'infrastructure éducative, on remarque qu'au Maghreb en générale et en Algérie en particulier, après l'indépendance, l'aspect quantitatif a prévalu sur la qualité. Le parc immobilier scolaire en Algérie se caractérise par des projets prototypes à adapter aux différents sites, sans tenir compte du paramètre climatique de celui-ci. En matière d'économie d'énergie ; le parc immobilier scolaire est responsable de 8% de la consommation énergétique totale du secteur tertiaire (APRUE, 2015).

Notre travail est centré sur la consommation d'énergie dans le parc immobilier scolaire existant en Algérie, qui se caractérise par l'absence des normes, des règles thermiques, et aussi par l'introduction massive des équipements de chauffage et climatisation.

Problématique :

La consommation d'énergie en Algérie a considérablement augmenté ces dernières années, ceci, dû à la croissance démographique d'une part et de sa gestion irrationnelle d'autre part. Le secteur du bâtiment est l'un des secteurs les plus énergivores en Algérie. Il est à l'origine de 37% de la consommation d'énergie finale (APRUE, 2019) ,le secteur résidentiel et tertiaire représente 41 % de la consommation énergie, la performance énergétique du parc est de $E_{cons} = 156,36 \text{ kWh/m}^2.\text{an}$ (kharchi, 2013).

Afin d'améliorer la consommation énergétique dans les constructions et réduire l'émission de GES. L'Algérie a développé plusieurs dispositifs règlementaires visant la promotion de l'efficacité énergétique dans la construction tout en répondant aux exigences de sécurité, de stabilité, d'hygiène et de confort compatible avec les exigences sociales et environnementales. Dans tous ces programmes, le gouvernement a accordé la priorité au logement par rapport aux autres secteurs, surtout le secteur éducatif qui est marqué par une grande marginalisation, toutes les lois sont dirigées pour améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel (éco bat, DTR C3-2.....).

Depuis l'indépendance et jusqu'aujourd'hui, le secteur de l'éducation en Algérie a connu une croissance significative avec un, taux de scolarisation des enfants (6 – 16 ans) 95,00%,alors qu'il n'était que de 43,5% en 1965 (Ministère de l'education nationale, 2008), le nombre d'établissements dans la rentrée scolaire (2014/2015) a atteint 25 859 établissements scolaires dont : 18 459 écoles primaires, 5 253 collèges, 2 147 lycées (Ministere de l'education nationale, 2015). Malgré cette évolution considérable, l'état n'a pas accordé un degré de priorité suffisant l'aspect qualitatif des établissements scolaires, la majorité des écoles en Algérie ont été construites en fonction des besoins liés à la croissance démographique. Ce type de bâti se caractérise par une très forte consommation énergétique, parce qu'il ne respecte pas les spécifications techniques de l'isolation thermique, le climat de la zone, et l'orientation... entre autre, le résultat donc est des classes inconfortables pour l'éducation, de sorte que nous sommes tenus d'utiliser plus d'électricité et de gaz pour réunir les conditions favorables à la scolarité des élèves.

Le problème qui se pose est l'absence des méthodes et de programmes suffisamment conviviaux pour améliorer cette situation. L'intervention de l'état dans le parc immobilier scolaire existant a porté sur des programmes sous le nom de réhabilitation et de restructuration qui reste toujours axée sur l'intervention au niveau de; l'étanchéité, rénovation de la menuiserie et la peinture ou bien et l'achèvement de toutes les actions de raccordement aux réseaux de GAZ, sans prendre en compte l'amélioration de la performance énergétique du bâtiment.

Questionnement :

1. Comment peut-on améliorer la consommation énergétique du parc immobilier scolaire existant en Algérie ?
2. Quels sont les avantages de la réhabilitation énergétique du bâtiment scolaire en Algérie ?
3. Comment mettre en œuvre une réhabilitation énergétique des établissements scolaires en Algérie ?

Hypothèse de la recherche :

Le parc immobilier scolaire existant en Algérie joue un rôle très important dans la dépense énergétique, pour cela nous devons orienter notre réflexion aux techniques permettant la réduction de cette dépense énergétique. Les hypothèses suivantes ont été formulées dans le but de répondre aux questions précédentes :

- La réhabilitation énergétique pourrait être une des solutions les plus adéquates pour améliorer la performance énergétique du parc immobilier scolaire existant en Algérie.
- L'adaptation de bâtiment scolaire existant en Algérie aux nouvelles exigences thermiques pourrait réduire considérablement la consommation énergétique et contribuer à la protection de l'environnement.

Objectif général de la recherche :

L'objectif de notre recherche est d'étudier les moyens de réduire la consommation énergétique, en examinant l'impact des techniques de réhabilitation sur la demande énergétique. Dans ce contexte notre travail aspire les objectifs suivants :

- Identifier les différentes solutions techniques pour améliorer la performance énergétique du bâtiment existant de façon générale et des établissements scolaires en particulier.
- Déterminer les avantages : économiques, sociaux et culturels de la réhabilitation énergétique du bâtiment scolaire.

Démarche méthodologique :

Afin de bien guider cette recherche, et pour répondre aux objectifs fixés et vérifier nos hypothèses, nous avons suivi une démarche méthodologique qui organise notre travail de recherche :

- Recherche bibliographique : (Livres, articles, revues, site internet, mémoire) concernant le principe de contexte énergétique, pour une bonne compréhension du thème réhabilitation énergétique d'une construction scolaire existante, et ses techniques de réalisation.
- Calcul de la consommation énergétique à partir des factures d'électricité et de gaz.
- Simulation par le logiciel de calcul thermique (CTBAT) pour calculer la consommation énergétique.

Structure du Mémoire :

Notre travail de recherche est organisé en cinq chapitres : nous commençons tout d'abord par une introduction générale.

1^{ère} chapitre : dans ce chapitre nous essayons d'aborder les concepts et les notions liés au thème de recherche, avec une connaissance approfondie des différentes techniques pour améliorer la consommation énergétique du parc immobilier existant en général et les établissements scolaires en particulier.

2^{ème} chapitre : nous allons aborder la maîtrise énergétique en Algérie, les programmes et les stratégies de sa maîtrise.

3^{ème} chapitre : dans ce chapitre nous allons étudier le parc immobilier scolaire en Algérie, son évolution et sa consommation énergétique, ainsi que les normes.

4^{ème} chapitre : nous avons présenté une étude détaillée des techniques utilisées pour la réhabilitation énergétique, d'un exemple international.

5^{ème} chapitre : dans ce chapitre nous allons faire une simulation de réhabilitation énergétique sur un bâtiment scolaire par à l'aide de logiciel (CTBAT), après nous citons quelques recommandations pour une meilleure gestion de consommation énergétique. Enfin nous achevons par une conclusion générale.

Chapitre 1 : Concepts et notions.

« La maîtrise de l'énergie n'est pas un médicament que l'on prend en période de crise, de maladie, mais une hygiène de vie qui permet de rester en bonne santé ».

Pierre Radanne, ancien directeur de l'ADEME

1.1 Introduction.

Le parc immobilier scolaire existant joue un rôle très important dans la dépense énergétique, pour cela nous devons réfléchir aux méthodes qui permettront la réduction de cette dépense énergétique.

Dans le premier chapitre de recherche on s'intéresse au contexte de la réhabilitation énergétique dans le bâti existant en général et dans les établissements scolaires en particulier. Nous allons aborder les notions liées à la maîtrise énergétique dans le bâti existant (DPF, bilans énergétiques ...), et aussi identifier les techniques et solutions modernes et efficaces de la réhabilitation énergétiques des équipements scolaires existants, pour une consommation rationnelle en énergie

1.2 Maîtrise énergétique dans le bâtiment :

Le terme de maîtrise de l'énergie (energy conservation) désigne la recherche conjointe d'efficacité et de sobriété énergétiques, visant à maximiser les économies d'énergie par rapport à une situation de référence (Giraudet, 2011).

1.3 Sobriété énergétique :

La sobriété énergétique est une démarche volontaire et organisée de réduction des consommations d'énergie (électricité et GAZ) par des changements de pratique, de comportements, de modes d'organisation de collective et en générale changement de mode de vie.

1.4 Efficacité énergétique dans le bâtiment : Il existe plusieurs définitions de l'efficacité énergétique :

L'efficacité énergétique (energy efficiency), définie comme le ratio entre le service énergétique produit et la quantité d'énergie utilisée pour le produire, ou le rendement de conversion de l'énergie finale en énergie utile, le paramètre d'efficacité correspond à la nature du matériau (laine de verre, fibres végétales, etc.) et son épaisseur (Giraudet, 2011).

Un bâtiment efficace qui vise l'équilibre entre production et consommation d'énergie (réduction de la durée d'éclairage, modération de la température de chauffage. Optimisation des flux...).

1.5 Performance énergétique dans le bâtiment :

Le terme de performance énergétique est utilisé pour caractériser énergétiquement les performances de tous produits, ce terme a vu son champ d'application s'étendre quand on a voulu caractériser les bâtiments en vente ou en location, pour déboucher à une démarche réglementaire (Cadiergues, 2016).

Nous désignons un bâtiment de performant lorsque les mesures prises relèvent une réduction presque systématique de la consommation énergétique par rapport à l'objectif calculé. C'est une capacité de limiter au maximum la consommation à l'intérieur de construction, compte tenu de la qualité de ses équipements (chauffage, climatisation, ventilation...).

1.6 Bilan énergétique :

Le bilan énergétique est une comptabilité des entrées et des sorties d'énergie du bâtiment pendant une période de temps donnée. Ce bilan doit évidemment être équilibré, par conservation de l'énergie. Le bilan énergétique détaille donc toutes les pertes et tous les gains. Avant de calculer le bilan, il convient de délimiter le système étudié dans l'espace et dans le temps, et de définir les utilisations de l'énergie et les vecteurs énergétiques que l'on va considérer (roulet, 1987).

1.7 Audits énergétiques :

Procédure visant à évaluer les consommations énergétiques d'un bâtiment, définir et quantifier les économies d'énergie potentielles et rendre compte des résultats (advize, 2019).

L'audit énergétique vise à l'étude de l'ensemble des postes consommateurs d'énergie dans un bâtiment, orienter les propriétaires et les usagers vers des actions permettant une réduction de leurs consommations, donc en peut dire un outil d'aide à la décision pour permettre une planification des travaux visant à améliorer l'efficacité énergétique.

1.8 Étiquette énergétique :

1.8.1 Définition : L'étiquette-énergie est une fiche destinée au consommateur qui résume les caractéristiques d'un produit, en particulier ses performances énergétiques, afin de faciliter le choix entre différents modèles. Introduit en 1992 pour la plupart des appareils électroménagers, le principe a depuis été étendu à d'autres domaines comme l'automobile et l'immobilier pour permettre au consommateur le choix le plus performant (Wikipédia, 2019).

Donc L'étiquette énergétique est utilisée pour caractériser la performance de bâtiment. Actuellement elle représente la carte d'identité des bâtiments.

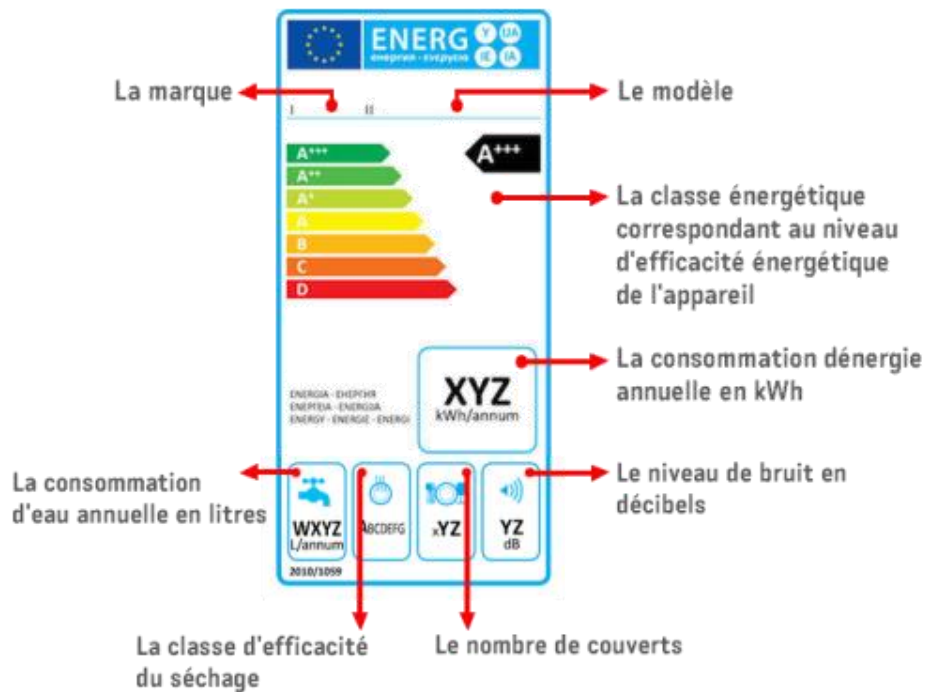


Figure 1.1: exemple avec les composants d'une étiquette énergie.

Source : (Texier, 2015).

1.8.2 classe énergie :

1.8.2.1 Étiquette énergétique du bâtiment : Le (DPE) français importe la méthode qui caractérise la consommation grâce au système des classes.

- Dans le cas des bâtiments à usage d'habitation il est prévu sept classes allant de A (bâtiment économe) à G (bâtiment dit énergivore).
- Dans le cas des bâtiments à usage principal autre que d'habitation, il est également prévu neuf classes - allant de A (bâtiment économe) à I (bâtiment dit énergivore), mais avec des définitions particulières.

1.8.2.2 Étiquetage des produits : repose sur la même convention, de définition des classes (exemple : A à G), ce classement ayant été parfois trop pessimiste (dans le domaine du froid en particulier) il faut alors faire intervenir des classes «A+», ou même «A++» (Wikipédia, 2019).

1.9 Diagnostics de performance énergétique (DPE) :

Le diagnostic de performance énergétique (DPE) renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, en évaluant sa consommation d'énergie et son impact en termes

d'émissions de gaz à effet de serre. Le DPE décrit le bâtiment ou le logement (surface, orientation, murs, fenêtres, matériaux, etc.), ainsi que ses équipements de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de refroidissement et de ventilation (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018). La lecture du DPE est facilitée par deux étiquettes :

- **l'étiquette énergie** : pour connaître la consommation d'énergie primaire.
- **l'étiquette climat** : pour connaître la quantité de gaz à effet de serre émise.

1.10 labels énergétiques :

1.10.1 Définition :

Selon Larousse : label est une étiquette ou marque spéciale créée par un syndicat professionnel et apposée sur un produit destiné à la vente, pour en certifier l'origine, en garantir la qualité et la conformité avec les normes de fabrication.

Un label est une démarche volontaire qui permet d'aller plus loin que la réglementation thermique en vigueur. Des aides financières, fiscales ou urbanistiques y sont généralement attachées (Romani, 2015).

1.10.2 En France :

1.10.2.1 Label Bâtiment Basse Consommation (BBC+) : vise à identifier les bâtiments neufs, dont les très faibles besoins énergétiques contribuent à atteindre les objectifs de 2050 : réduire les émissions de gaz à effet de serre en 4. à savoir un objectif de consommation maximale pour les constructions résidentielles neuves fixé à **50 kilowatt/heure énergie primaire m²/an** (effinergie, 2012).

1.10.2.2 Label HQE: Le label HQE cible quatre aspects de la construction et de la gestion d'immeuble :

- ✓ **L'éco-construction** : avec le choix des matériaux, systèmes de conception, harmonisation du bâtiment avec son environnement, et la réduction des nuisances.
- ✓ **L'éco-gestion** : au niveau des énergies, gestion de l'eau, déchet d'activités, entretien et maintenance globale.
- ✓ **Le confort global de l'occupant** : physiologique (T° et HR%), mais également acoustique, visuel et olfactif.
- ✓ **La santé** au niveau de la qualité de l'air intérieur, de la qualité des espaces, et de la qualité de l'eau (dossier technique gratuit, 2016).

1.10.2.3 HPE Rénovation: Ce label sanctionne la démarche de réaliser une opération

de rénovation performante du point de vue énergétique et permet l'obtention des aides financières. Il s'applique uniquement aux bâtiments achevés après le 01 janvier 1948 (Romani, 2015).

1.10.2.4 BBC rénovation ou effinergie- rénovation : Ce label s'applique uniquement pour les bâtiments construits après 1948.

Cas particulier : Pour les bâtiments à usages autres que d'habitation, la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, le refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et de l'éclairage des locaux doit être inférieure de 40% à la consommation conventionnelle de référence définie dans la réglementation thermique dite globale (Romani, 2015).

1.10.3 En Suisse : le label Minergie : Minergie est un label de qualité destiné aux bâtiments neufs et rénovés. À l'origine, il portait surtout sur l'habitat, et en particulier sur les maisons individuelles, mais il a évolué et s'applique aujourd'hui à tous les bâtiments. Minergie définit 5 exigences pour un bâtiment :

- ✓ Exigences primaires pour l'enveloppe afin d'assurer une technique de construction durable
- ✓ valeurs limites Minergie de l'indice de dépense d'énergie thermique.
- ✓ Renouvellement d'air au moyen d'une installation mécanique.
- ✓ Exigences supplémentaires, en fonction de la catégorie du bâtiment, concernant l'éclairage et la production de froid et de chaleur industriels.
- ✓ Investissement supplémentaire de 10 % au maximum par rapport aux objets conventionnels comparables (platzter, 2009).

Il existe plusieurs labels disponibles en fonction des objectifs de performance.

- **minergie – Standard :** Dans le neuf: 38 kWh/m² an. Dans la rénovation: 60 kWh/m² an
- **minergie – P (passif) :** 30 kWh/m² an avec un besoin de chauffage inférieur à 15kWh/m²/an
- **minergie ECO – minergie P ECO :** Ce label est destiné à l'évaluation de la performance écologique (Certification depuis la Suisse)(Peycru, 2012).

1.10.4 Label habitat passif : en Allemagne : d'origine allemande a été développé en 1996 (PASSIVHAUS, 2015). Ce label est destiné aux bâtiments résidentiels et tertiaires. Pour atteindre le standard Passivhaus, il est nécessaire d'avoir :

- ✓ **15kwh/m²/an** pour le chauffage (énergie finale).

- ✓ **120kwh/m²/an** pour l'ensemble de la consommation d'énergie primaire.
- ✓ Étanchéité de l'enveloppe : $n_{50} < 0.6 \text{m}^3/\text{h}/\text{an}$ (Romani, 2015).

Le bâtiment de Passivhaus est basé essentiellement sur la combinaison de trois éléments essentielle : enveloppe avec isolation thermique très performante, d'une étanchéité à l'air, de la récupération d'énergie sur la ventilation (double flux ...).

1.10.5 label LEED : aux États-Unis : Association dédiée à la promotion des bâtiments rentables, agréables à vivre, et affichant une bonne performance environnementale. Aujourd'hui la méthode d'évaluation environnementale des bâtiments de référence aux États-Unis, et devient le standard du marché. Le système LEED utilise 34 critères qui peuvent au maximum donner une note de 69 points .ces critère se répartissent dans les thèmes suivants : Chantier propre, économies d'eau, efficacité énergétique, sélection des matériaux, qualité environnementale des intérieurs, innovation (platzler, 2009).

1.11 Consommation énergétique dans le bâtiment : L'enjeu dans le secteur de bâtiment est d'améliorer ou d'assurer le confort des citoyens (la sensation de satisfaction) tout en réduisant la consommation de l'énergie. Surtout avec l'évolution technologique.

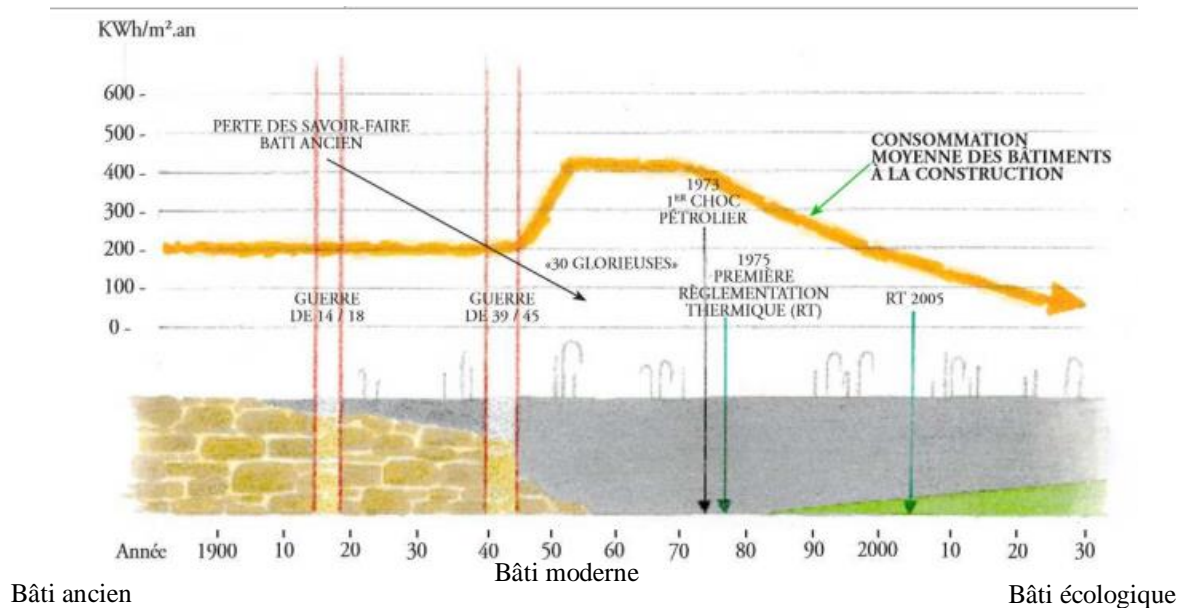


Figure 1.2 : évolution de la consommation annuelle énergétique dans le bâtiment.

Source : (ATHEBA, 2010b).

L'étude rédigée par l'agence internationale de l'énergie, ONU Environnement et l'Alliance mondiale pour les bâtiments et la construction, a souligné que le secteur des bâtiments, qui est un énorme moteur de l'économie mondiale, représente 38% des émissions totales de CO₂

liées à l'énergie et 35% de la consommation d'énergie finale, par contre la consommation d'énergie dans le monde par les équipements de CVC(chauffage, ventilation et climatisation) dans les bâtiments varie de 16 à 50 % de la consommation totale d'énergie (Cheikh, 2019).



Figure 1. 3: consommation annuelle d'énergie finale.

Source :(Giraudet, 2013).

La consommation d'énergie finale dans le monde en 2030 selon scénario de référence de l'AIE est 32 % (Touzani, 2017) .

1.11.1 La consommation d'électricité : Une grande partie de l'énergie consommée provient des installations électriques mises à disposition du personnel (ordinateur, téléphone, photocopieur, etc.), ainsi que les systèmes énergétiques mal utilisés (groupe de ventilation), l'électricité consommée pour l'éclairage du bâtiment et également pour tous les appareils concernaient la formation à la construction (de la perceuse jusqu'à l'engin de chantier). Pour un bâtiment de bureaux types, l'éclairage représente souvent 40% de la consommation électrique totale (Karti Moncef and Marchio, 2016).

En Algérie l'utilisation de l'électricité représente 19 % de la consommation d'énergie, le secteur de l'habitat représente 40% de la consommation nationale totale d'électricité (Radio algérienne, 2015).

1.11.2 La consommation de gaz : Le gaz est utilisé essentiellement pour le chauffage, la production d'eau chaude qui utilise en grande partie pour l'eau sanitaire, mais également pour les circuits radiateurs, et au plancher chauffant.

En Algérie la consommation du chauffage vient en tête de liste avec 46% de la consommation totale dans le secteur du bâtiment, suivi par la cuisson des aliments (22%), la production de l'eau chaude (13%)(Radio algérienne, 2015).

le secteur résidentiel consomme 67% du gaz naturels (APRUE, 2017) .

1.12 Réhabilitation énergétique dans le bâtiment :

1.12.1 Définition : D'après Joffroy, la réhabilitation est définie comme étant l'action d'améliorer un édifice en conservant sa fonction principale et en prolongeant sa durée de vie. En fait, elle ne concerne pas seulement le patrimoine historique connu, mais aussi le patrimoine immobilier ordinaire méconnu, c'est-à-dire les bâtiments sans qualités au quels il faudra en donner(Kadrie and Mokhtari, 2011).

Concernant les bâtiments de plus de 1 000 m² pour lesquels la valeur des travaux réalisés est égale ou supérieure à 25 % de la valeur totale du bâtiment : il s'agit de réhabilitation lourde (daniel montharry and platzter, 2009). Et si le site à potentielle EnR, l'étude sur la réhabilitation doit intégrer une étude sur la mise en place d'énergie renouvelable (platzter, 2009).

La réhabilitation énergétique est caractérisée par une démarche globale visant à améliorer la performance énergétique et à réaménager un état existant.il peut y avoir une partie de réfection rénovation à l'identique, de réparation, mais aussi d'extension, de réaffectation.

1.12.2 Les enjeux de la réhabilitation énergétique : La performance globale est une notion subjective donnant lieu à des interprétations différentes selon les préférences, pas toujours exprimées, des décideurs. Ces préférences peuvent être rendues conscientes en traduisant puis pondérant les enjeux associés à un projet de réhabilitation (Thorel et al., 2013).

La réhabilitation énergétique des bâtiments anciens se retrouve confrontée à la problématique de la préservation et de la protection des identités historique et architecturale (Dugué et al., 2010).

La réhabilitation des constructions existantes représente un enjeu tout aussi important, sur le plan économique, social, culturel et environnemental. Elle a des impacts sur la sauvegarde et la valorisation du bâti existant, et sur le confort d'utilisateur.

Tableau 1.1 : Enjeux moteurs de la réhabilitation énergétique.

Source : (Thorel et al., 2013).

Objectifs principaux	Contraintes externes
Réduction des charges d'exploitation, notamment liées aux postes énergétiques	Importance du respect de l'enveloppe budgétaire
Remplacement d'un équipement ou composant d'enveloppe défectueux.	Respect des détails et possibilité de rénovation en site occupé
Résolution de pathologies.	
Amélioration du confort.	
Augmentation de la surface habitable.	
Modernisation du bâti.	
Responsabilité écologique	
Mise en conformité avec les réglementations	

1.12.3 Les différents niveaux de la réhabilitation énergétique :

1.12.3.1. La rénovation énergétique : La rénovation correspond à une remise à neuf des éléments. Avec l'évolution des technologies et des techniques, il est naturel et parfois plus économique d'employer des éléments couramment utilisés dans le neuf. L'opération a alors de grandes chances de produire une amélioration des performances initiales. Cette démarche est réglementairement imposée depuis 2008 via la RT2005Ex élément par élément. Celle-ci impose, pour toute opération sur un bâti existant, des caractéristiques minimales à respecter sur les éléments visés (Rabouille, 2014a).

La rénovation énergétique des bâtiments existants est un outil important pour la réduction de la consommation d'énergie dans le secteur de la construction, l'amélioration des conditions de confort thermique intérieur ainsi que l'amélioration des conditions environnementales dans les zones urbaines (N. Bouarroudj and k. Imessad, 2016).

1.12.3.2. La réhabilitation : La réhabilitation énergétique est l'amélioration énergétique qui doit être accompagnée d'une amélioration qualitative du logement et du bâtiment, en associant la problématique de l'énergie à celle de la qualité d'usage du logement : confort, santé, réduction des charges locatives, image du bâtiment ou son insertion dans le quartier. (C.Charlot-Valdieu et P.Outrequin,2011, p. 11 ;(manaouri asma and nawel, 2017) .

1.12.3.3. L'entretien : D'après la définition de l'AFNOR l'entretien maintenance vise à maintenir ou à rétablir un bien dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer un service déterminé. La maintenance regroupe les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels ou même immatériels (Nobatek, 2012) .

1.12.4 La réhabilitation énergétique et le confort thermique : Le confort thermique est le sujet de deux approches différentes et chacune trouve son domaine d'application selon le contexte climatique et le mode de fonctionnement du bâtiment (Moujalled bassam et al., 2010).

Le bâtiment moderne (bien conçu) fournit un confort nettement supérieur, il ne surchauffe pas en été et profite des gains solaires pendant l'hiver. Tandis que le bâtiment ancien inadapté à son climat comme le montre la (figure 04) a tendance de surchauffer en saison chaude et être glacial en saison froide.

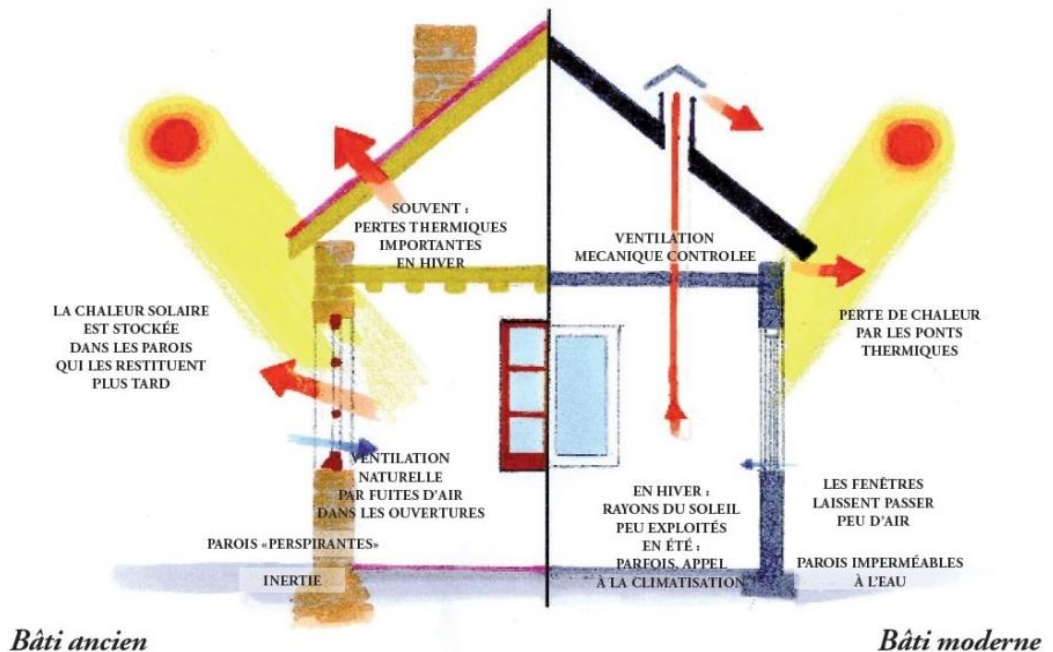


Figure 1.4: comparaison entre bâti ancien et moderne.

Source :(ATHEBA, 2010b).

D'après Vitruve, toute construction doit être confortable et saine. C'est en fait sa raison d'être. Elle doit protéger les occupants de l'environnement extérieur, de même assurer un équilibre et une qualité agréable à l'intérieur qui dépend peu des conditions extérieures.

1.12.5 Confort thermique : Le confort est donc une sensation physiologique faisant intervenir plus d'un paramètre. Le confort thermique ne tient compte que des paramètres suivants:

- Les facteurs liés à l'individu: Son activité et le rendement de cette activité et son habillement.
- Les facteurs liés à l'environnement:
 - ✓ Températures de l'air et des surfaces environnantes.
 - ✓ Vitesse relative de l'air et le degré de turbulence.
 - ✓ Pression de vapeur d'eau ou humidité relative (Roulet et al., 1987).

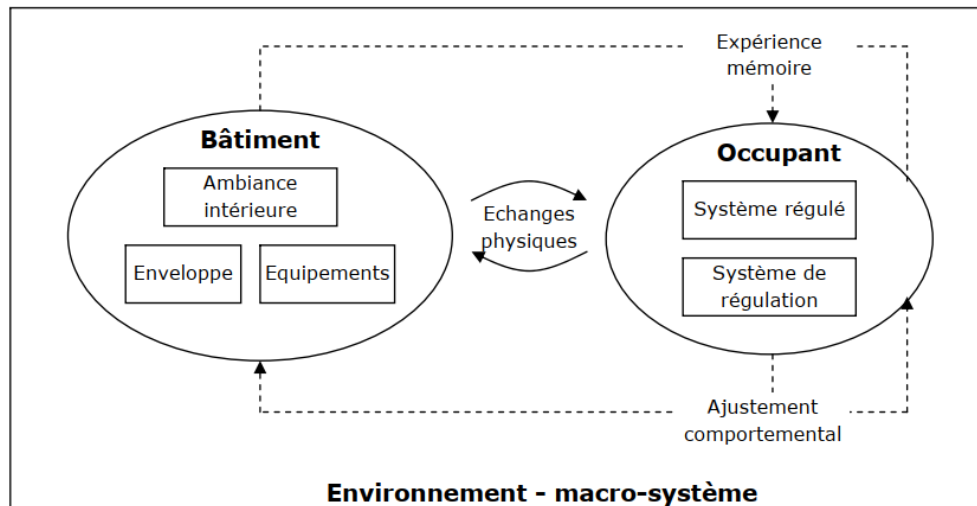


Figure 1.5 : Caractéristiques structurelles d'un modèle du confort thermique.

Source : (Moujalled et al., 2008).

Nous ne pouvons pas donner une définition absolue du confort thermique, qui est un état d'esprit qui exprime une sensation de satisfaction de son environnement, il est subjectif et se diffère d'une personne à une autre.

1.12.5.1 Le confort d'été : Pour assurer le confort d'été tout en garantissant un éclairage naturel suffisant, il faut contrôler l'ensoleillement grâce à des débords de toiture et à des brise-soleil extérieurs, fixes ou mobiles. On peut également disposer des ouvertures de manière à créer par convection des courants d'air frais (muller, 2001).

1.12.5.2 Confort d'hiver : en hiver, la température extérieure est pratiquement toujours en dessous des températures de confort. Les parois en contact avec l'air extérieur sont froides, l'effet de paroi froide généré par les murs non isolés peut être source d'inconfort et d'augmentation des besoins de chauffage. Surtout lorsque l'écart de température dépasse 3°C (Agence locale de l'énergie et du Climat de l'Eure, 2016).

L'isolation doit être optimisée en fonction de la construction et du climat local. Chaque cas est particulier (Rabouille, 2014b).

1.12.6 les techniques de réhabilitation énergétique :

Les taux de réhabilitation dépendent toujours du coût global, qui permet d'hierarchiser les travaux en fonction de leur efficacité. Sur la (figure 6) on remarque pour une consommation de 115kwh/m² (option technique 1-4).et de 80kwh/m² (option technique 4-8), le coût efficient est atteint pour la technique 6(la courbe arrive au niveau initial).

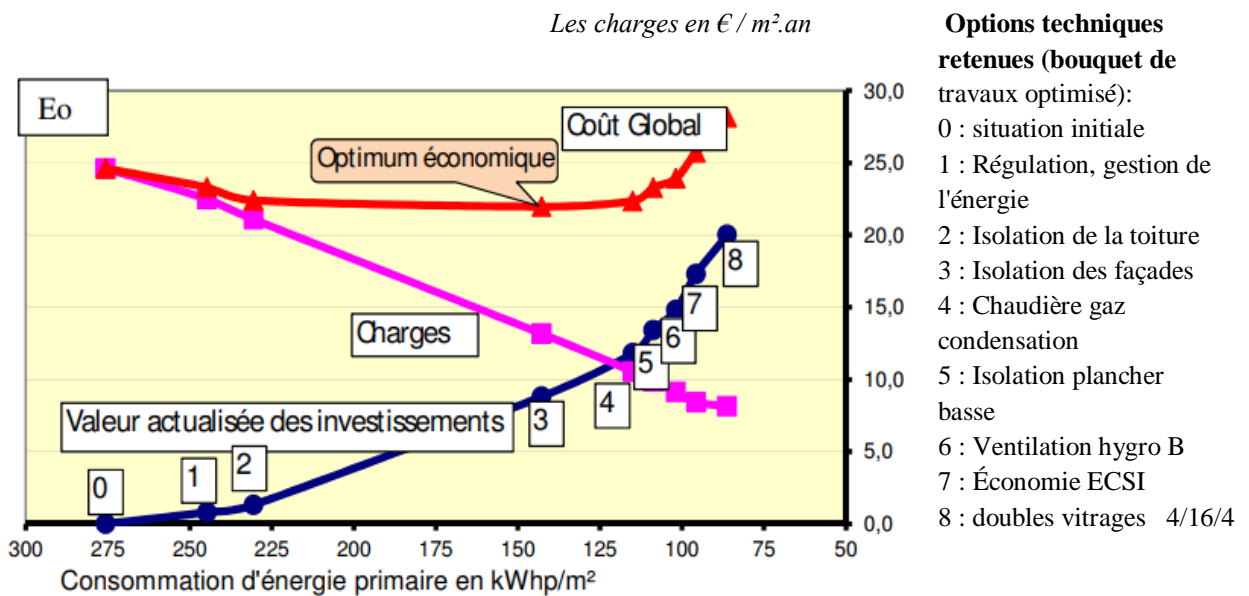


Figure 1.6: évolution du coût global et de ses différentes Composantes en fonction des options de réhabilitations.

Source : (Outrequin, 2013).

1.12.6.1 Éclairage : L'amélioration des performances de l'éclairage est devenue l'un des axes prioritaires pour la transition énergétique, car il est celui qui présente le taux de retour sur investissement le plus rapide estimé entre 3 et 5 ans (20 ans pour l'isolation) dans les cas favorables(afe, 2014).

Donc pour réduire la consommation d'électricité due à l'éclairage artificiel, nous optons pour l'éclairage naturel.

1.12.6.2 Chauffage : La consommation énergétique de chauffage dépend de la performance de l'enveloppe (déperditions thermiques), et la performance de l'équipement utilisé (chaudière...).

1.12.6.2.1 La réhabilitation thermique de l'enveloppe : L'enveloppe joue un rôle clé pour la détermination des niveaux du confort thermique, visuel, acoustique et olfactif. Ainsi, elle est un élément majeur pour améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments et diminuer les émissions des gaz à effet de serre, que ce soit dans le neuf ou dans l'existant (Sadineni et al., 2011;(Rabouille, 2014b).



Figure 1.7 : Les déperditions thermiques.

Source : (Calculeo, 2018).

L'enveloppe de bâtiment est constituée de plusieurs éléments tels que ; les planchers haut et bas, les murs, les ouvertures et les protections solaires. La performance de l'enveloppe est liée aux éléments constructifs de ce dernier.

A. Isolation des planchers : L'isolation de plancher doit d'abord par la vérification du bon état de la structure et sa capacité la supporte la charge supplémentaire par l'isolation.

– **Le plancher bas :** C'est un élément très important pour le confort et la salubrité de l'espace intérieure.il doit être traité avec soin .il repose directement sur terre-plein ou sur espaces non chauffés.

Tableau 1.2: isolation des planchers.

Source : (ATHEBA, 2010a).

Le plancher bas sur espaces non chauffés.

Le plancher bas sur (terre-plein) :
Solution pour les pièces chauffées rapidement ou par intermittence. Ne nécessite pas de réfection lourde du plancher, épaisseur du complément représente une surépaisseur de la valeur d'une marche (environ 16 cm).

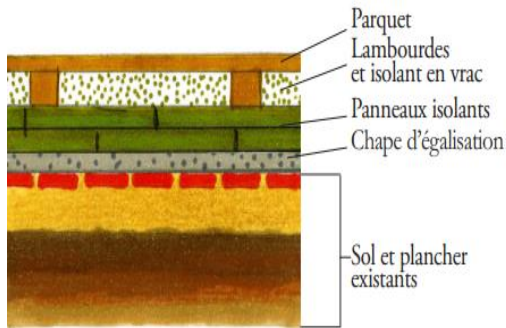


Figure 1.8: Complément sur sol existant.

Le plancher bas sur espaces non chauffés (vide).

Soit un ajout sur le revêtement existant si le niveau du sol l'autorise, soit après suppression du revêtement existant. L'isolation peut être maçonnée ou à sec.

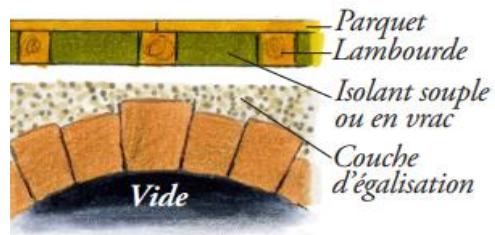
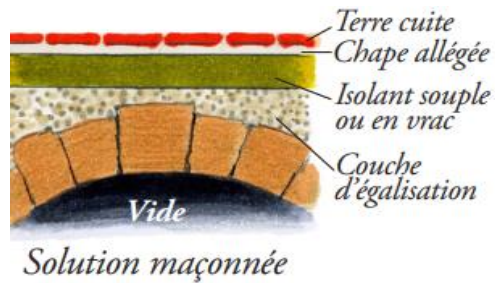


Figure 1.9: Sur les planchers en maçonnerie.

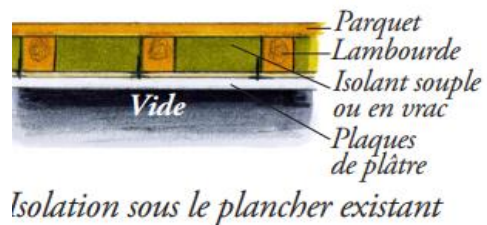
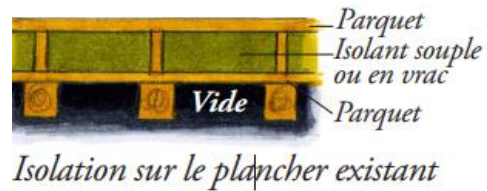


Figure 1.10: Sur les planchers en bois.

- **Les planchers intermédiaires :** L'isolation thermique des planchers intermédiaires ne se justifie que s'il existe des différences de températures souhaitent d'un niveau à l'autre.

A. Isolation des parois opaques: Les parois opaques sont Construites soit avec des murs en béton, en maçonnerie, ou bois..., elles sont caractérisées par un coefficient de transmission thermique. Pour réduire la valeur du coefficient de transmission des parois, la solution le plus évidente ou efficace est d'ajouter des matériaux isolants :

a. Par l'intérieur : L'isolation intérieure des murs extérieurs est réalisée suivant trois méthodes :

- ✓ collage d'un doublage isolant (A).
- ✓ pose d'un isolant sur tasseaux de bois vissés au mur (B).
- ✓ pose d'un isolant (sur rails métalliques) puis réalisation d'une contre-cloison (C) (Pygmalion, 2015).

Il est préférable de prévoir ces travaux au moment où après le changement des menuiseries, et avant le remplacement de la chaudière dont la puissance pourra être abaissé.

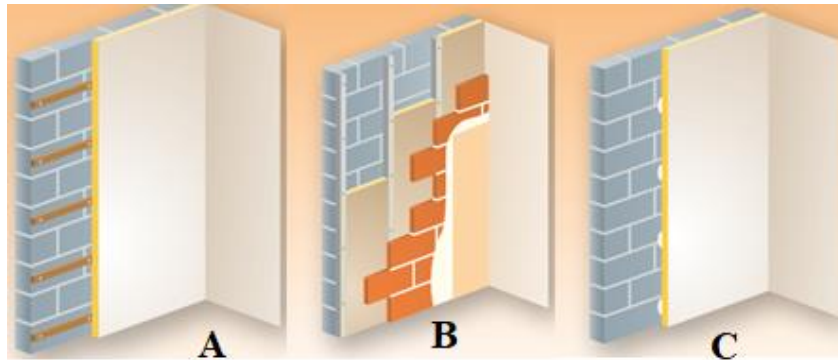


Figure 1.11: l'isolation intérieure des murs extérieurs.

Source : (Pygmalion, 2015).

b. Par l'extérieur : L'isolation par l'extérieur est défectueuse, elle permet de deux opérations en même temps : l'isolation et le ravalement (ADEME, 2008a). Les différents systèmes d'Isolation thermique par l'extérieur (enduit, bardage, vêtur¹, etc.) (fig12).

¹ Une **vêtur** est constituée d'éléments préfabriqués en usine comprenant un isolant et une plaque de parement. L'isolant le plus utilisé est le polystyrène expansé moulé.

- **Avantage :**
 - ✓ traiter un plus grand nombre de ponts thermiques.
 - ✓ Ne pas modifier les surfaces habitables.
 - ✓ Protéger les murs des variations climatiques (ADEME, 2008a).
 - ✓ La pose d'une isolation thermique par l'extérieur permet une requalification de l'image d'un bâtiment ou d'un quartier (Imbert Caroline and djilali, 2011).

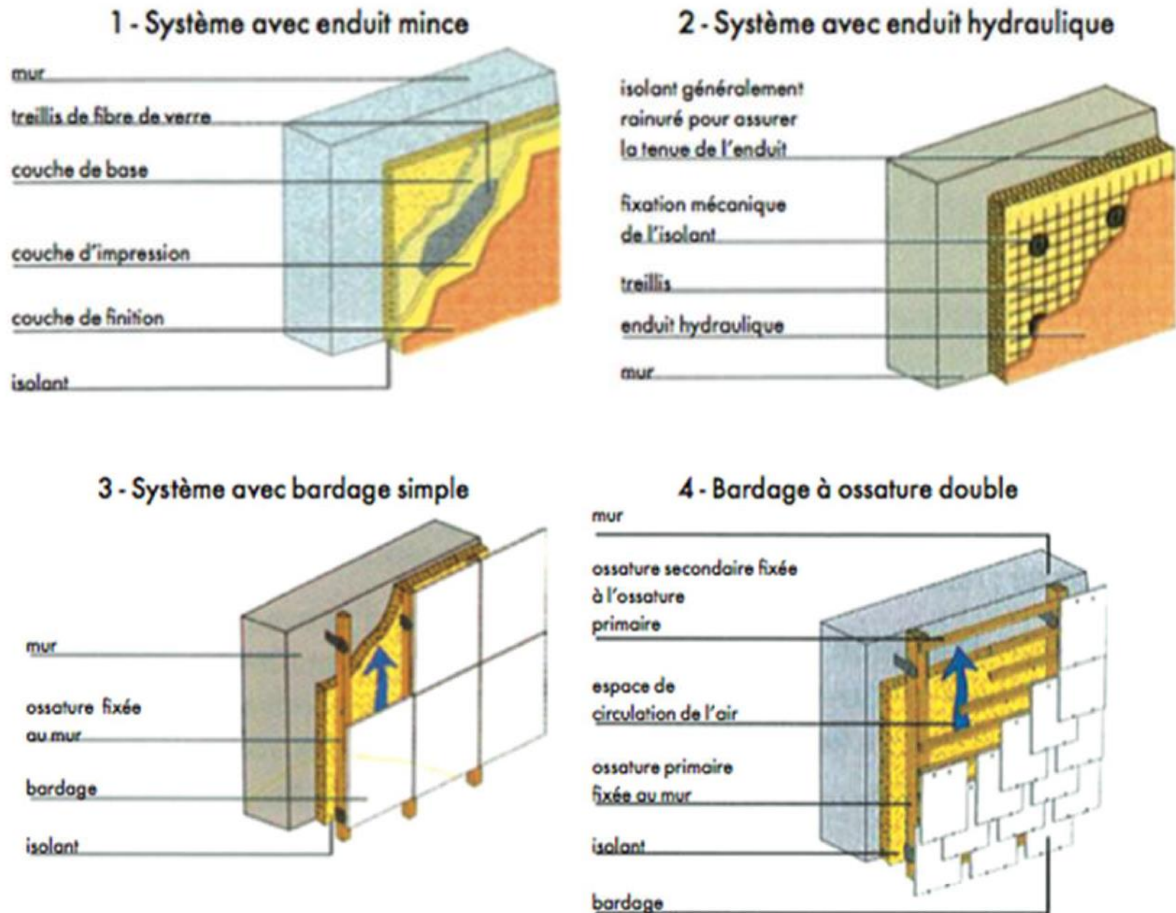


Figure 1.12: Schématisation des ITE sous enduit, sous bardage.

Source : Turenne, 2013 ;(Bendouma, 2018).

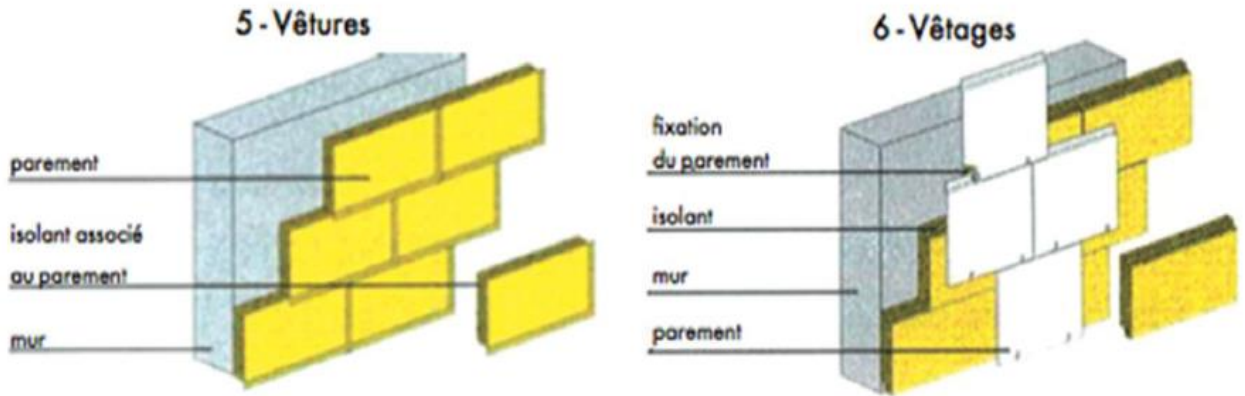


Figure 1.13 : Schématisation des ITE sous vêtture/vêlage.

Source : Turenne, 2013 ;(Bendouma, 2018).

Les revêtements et les peintures peuvent être utilisés pour capter ou non le rayonnement solaire. Ceci est effectué en absorbant le maximum de chaleur dans les climats froids ou en réfléchissant le maximum de rayonnement solaire dans les climats chauds. Dans les climats tempérés, il va falloir chercher un compromis. L'efficacité du mécanisme d'absorption solaire est aussi liée à l'isolation et aux matériaux constitutifs des parois.

Le coefficient d'absorption solaire peut varier de 0.1 à 0.9 selon le type et la couleur du matériau. Un bon choix du coefficient d'absorption des parois opaques et surtout de la toiture peut offrir des économies d'énergie jusqu'à 13% et 45% de réduction de degrés heures d'inconfort d'été (Lapisa et al., 2013) ; (Romani, 2015).

c. Isolation des parois vitrées : La réhabilitation des menuiseries doit faire l'objet d'une réflexion globale (architecturale, acoustique, thermique, aéraulique) et d'un examen attentif des fenêtres et des portes préexistantes (ATHEBA, 2010a).

Elles sont les plus vulnérables aux déperditions calorifiques. Leurs améliorations thermiques permettent des économies d'énergie de l'ordre de 10 à 15 % .Et cela par le remplacement des vitrages simples en vitrages isolants, et le redimensionnement des surfaces vitrées selon l'orientation et la zone climatique (Kadrie and Mokhtari, 2011).

Les solutions pour améliorer la performance des fenêtres existante sont :

- **Le survitrage :** Il s'agit de rapporter un second vitrage sur les ouvrants d'une fenêtre existante(Kadri and Mokhtari, 2012).

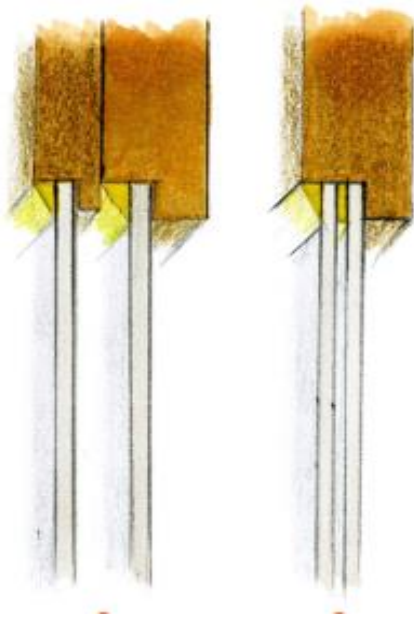


Figure 1.14: renforcement du vitrage.

Source :(ATHEBA, 2010a).

– **Le vitrage à isolation renforcée VIR** : il est constitué généralement de deux lames de verre enfermant un gaz (argon) dont la surface extérieure de la vitre intérieure est revêtue d'un film peu émissif réfléchissant le rayonnement infrarouge(Kadri and Mokhtari, 2012).

– **La pose d'un double fenêtrage** : cette opération consiste à placer une deuxième fenêtre soit en avant ou en arrière de la fenêtre existante (selon sa position par rapport au mur) (Kadri and Mokhtari, 2012).

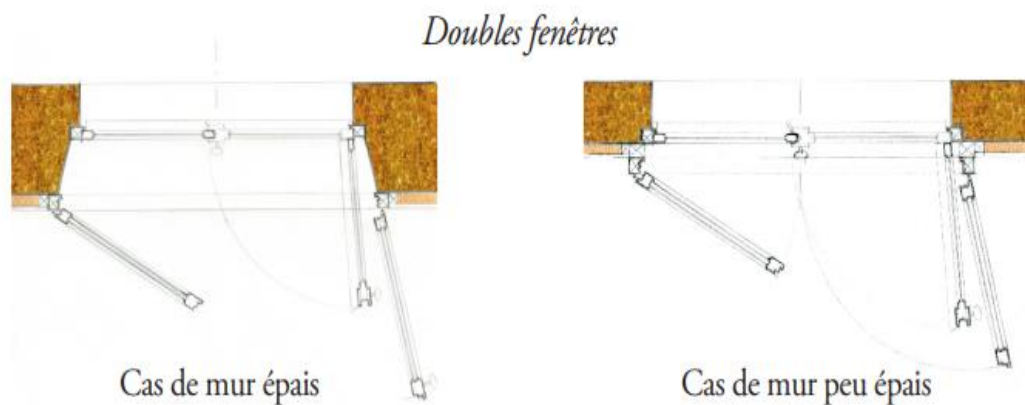


Figure 1.15:double fenêtre.

Source :(ATHEBA, 2010a) .

– **Double vitrage** : constitué de deux feuilles de verre assemblées et scellées en usine, séparées par un espace hermétique clos renfermant de l'air ou un autre gaz déshydraté(Energie+, 2019).

- ✓ Il peut permettre des économies de chauffage de l'ordre de 10 % et améliore fortement les conditions de confort(ADEME, 2008a)
- ✓ La présence de la lame d'air permet de limiter les pertes de chaleur par conduction, la conductivité thermique de l'air (0.025 W/mK (à 10°C) étant nettement inférieure à celle du verre (1 W/mK).
- ✓ Isolation phonique jusqu'à 45 dB (avec vitrage approprié) ,Épaisseur des ouvrants 80 mm(Internorm, 2012/13). C'est la solution la plus performante. Il est recommandé de choisir des fenêtres équipées d'un double vitrage à isolation renforcée (VIR).

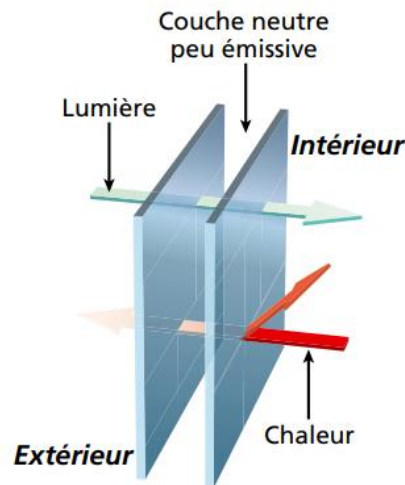


Figure 1.16: double vitrage.

Source : (ADEME, 2008b).

D. Isolation de la toiture : D'après l'ADEME une toiture mal isolée peut être à l'origine de 25 à 30 % des déperditions thermiques d'un bâtiment (Molines Nathalie and Carine, 2017).

Le choix du matériau d'isolation est très important pour réduire les déperditions en même temps respecte les contraintes techniques. On peut utiliser la toiture végétalisée pour améliorer la performance thermique de bâtiment.

E. **Protection solaire** : Protéger les fenêtres par des brises solaires (horizontal ou verticale), fixes ou amovibles. Protections mobiles : elle a une grande flexibilité pour contrôler les apports solaires et moduler la luminosité intérieure (manuel, automatique).

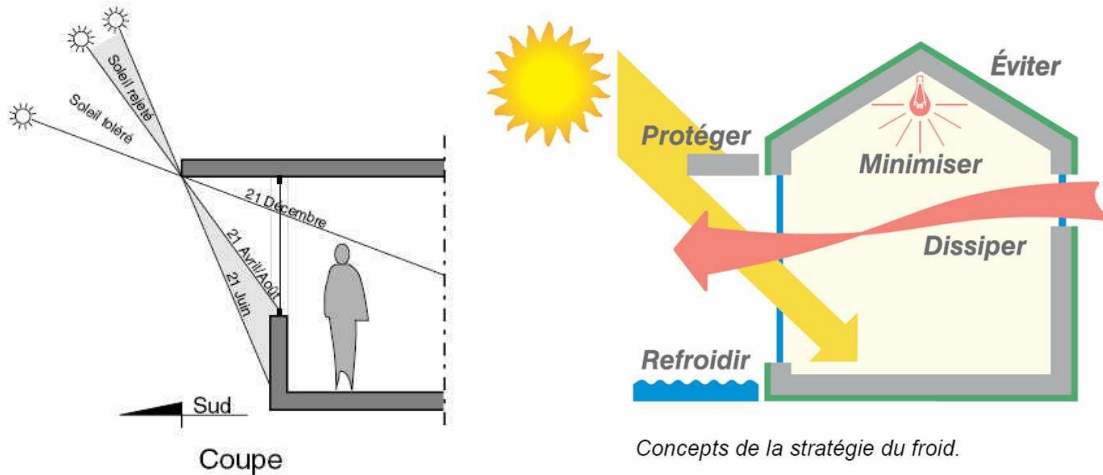


Figure 1.17: Protection fixe par une avancée de toit en façade sud.

Source: (Clara Spitz and Renzi, 2008).

1.12.6.2.2 Réhabilitation le système de chauffage : Selon les données de l'Ademe, le fonctionnement d'une chaudière à condensation est plus économique que celui d'une chaudière classique. Elle consomme 15 à 20 % de combustible en moins que les chaudières standards.

➤ **Principe de bas** : C'est le principe de base de la condensation en chauffage : la récupération de la chaleur latente contenue dans la vapeur d'eau des fumées et restituée au circuit de chauffage permet d'atteindre un rendement supérieur à 100 % (Lucas, 2014).

1.12.6.3 Ventilation : La ventilation dans les bâtiments anciens fait principalement grâce à sa faible étanchéité à l'air. D'un point de vue thermique, ces infiltrations représentent une grande part des déperditions (jusqu'à 30%)(ATHEBA, 2010a).

La conception et l'installation du système de ventilation s'avèrent plus complexes encore que dans le neuf et cela passe forcément par un état des lieux de l'existant et une étude préalable (moniteur, 2010).

Tableau 1.3: recommandation avant l'installation de VMC.

Source : (iDEMU, 2009).

Observation conduite existante	Il faut déterminer si les conduits existants peuvent accueillir les gaines de ventilation (état, nombre, étanchéité, emplacements, etc.).
Prendre en compte le bâti	Il est préférable que le passage à un système de ventilation permettant la maîtrise des débits se fasse parallèlement au traitement de l'isolation des parois (vitrées et opaques) afin d'améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment. Il convient tout particulièrement de vérifier l'étanchéité des portes palières et des coffres de volets roulants, ainsi que l'absence de vides ordures individuelles.
Observation l'environnement	L'exposition de l'immeuble au vent et au bruit doit être étudiée pour choisir le système le plus adapté.

A. Définition de (VMC) : permet de renouveler l'air des locaux tout en maîtrisant le débit d'air nécessaire. L'air est introduit en façade, circule dans les locaux, puis, parvenu dans les pièces humides (cuisine, salle de bain), il est rejet (iDEMU, 2009).

B. Composant de système VMC : entrée d'air par des bouches intégrées en partie hautes des baies (neuves ou pas) des pièces principales, bouches d'extraction dans les pièces humides reliées à un réseau de gaines, extracteur (moteur) suspendu dans les combles perdus, si possible reliées à une sortie de toiture existante pour évacuer l'air extrait.

C. VMC dans l'établissement scolaire : La ventilation dans les bâtiments scolaires répond avant tout à un besoin d'hygiène et de santé des usagers. Le débit minimum hygiénique pour les différents types de bâtiments scolaires est: dans les collèges et lycées: 18 m³/h/élève (soit un débit d'air neuf de 540 m³/h à introduire dans une salle de 30 élèves) (Tomic, 2006).

a. VMC simple flux: L'air neuf est de préférence introduite dans les bureaux au moyen de grilles auto réglables placées en façade dans les menuiseries ou la maçonnerie, Il est possible de rendre le système plus performant en installant des entrées et sorties d'air hygroréglables pour réguler le débit d'air extrait en fonction de l'humidité (ATHEBA, 2010a).



Figure 1.18: VMC simple flux.
Source : (Massart, 2017).

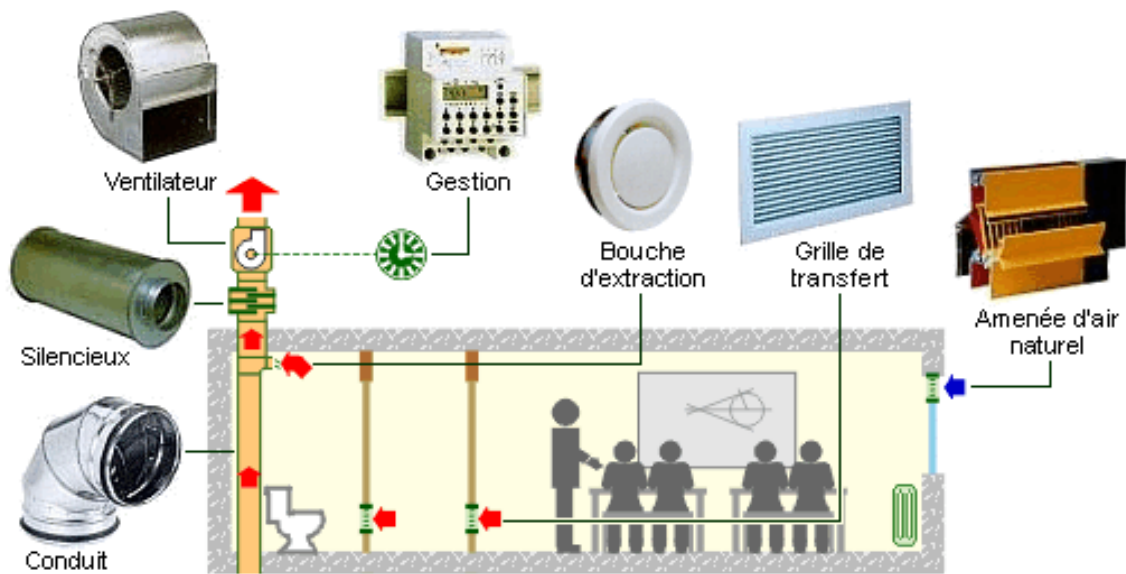


Figure 1.19: les différents composants de VMC simple flux.
Source : (Bertrand, 2012).

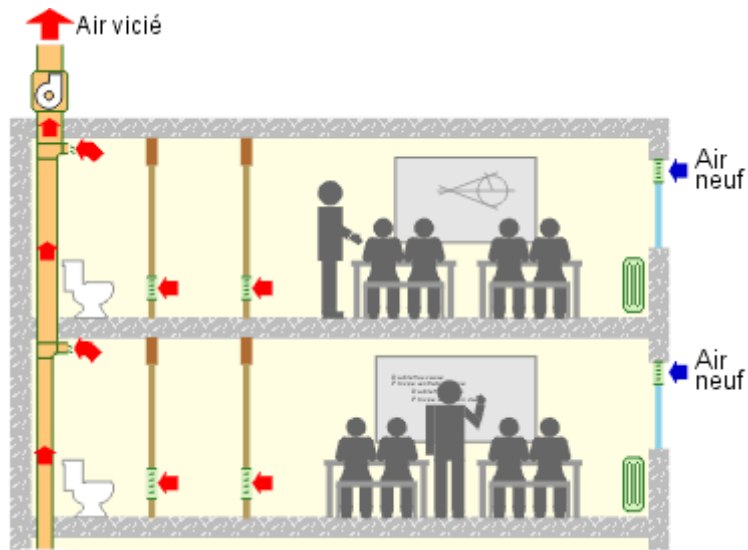


Figure 1.20: le système simple flux avec extraction sanitaire.
Source : (Bertrand, 2012).

b. VMC double flux : permet de renouveler l'air intérieur avec des débits fixes à l'avance, qui correspondent aux besoins des classes. Avec son échangeur thermique, les déperditions de chaleur sont considérablement allégées.

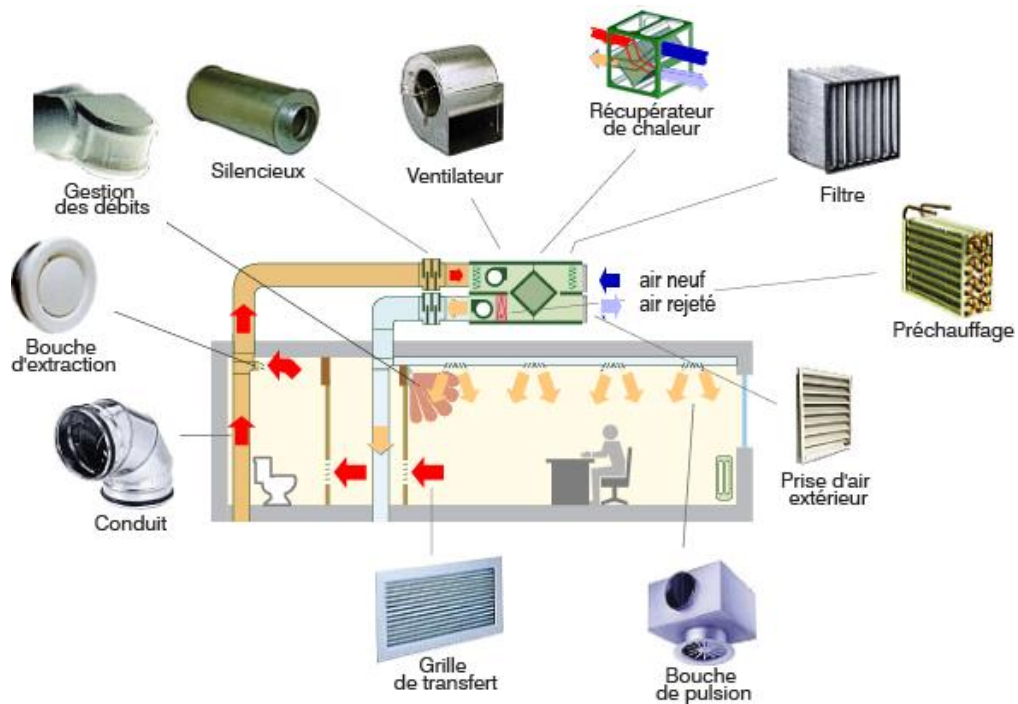


Figure 1.21: les différents composants de VMCDF.
Source : (Bertrand, 2012).

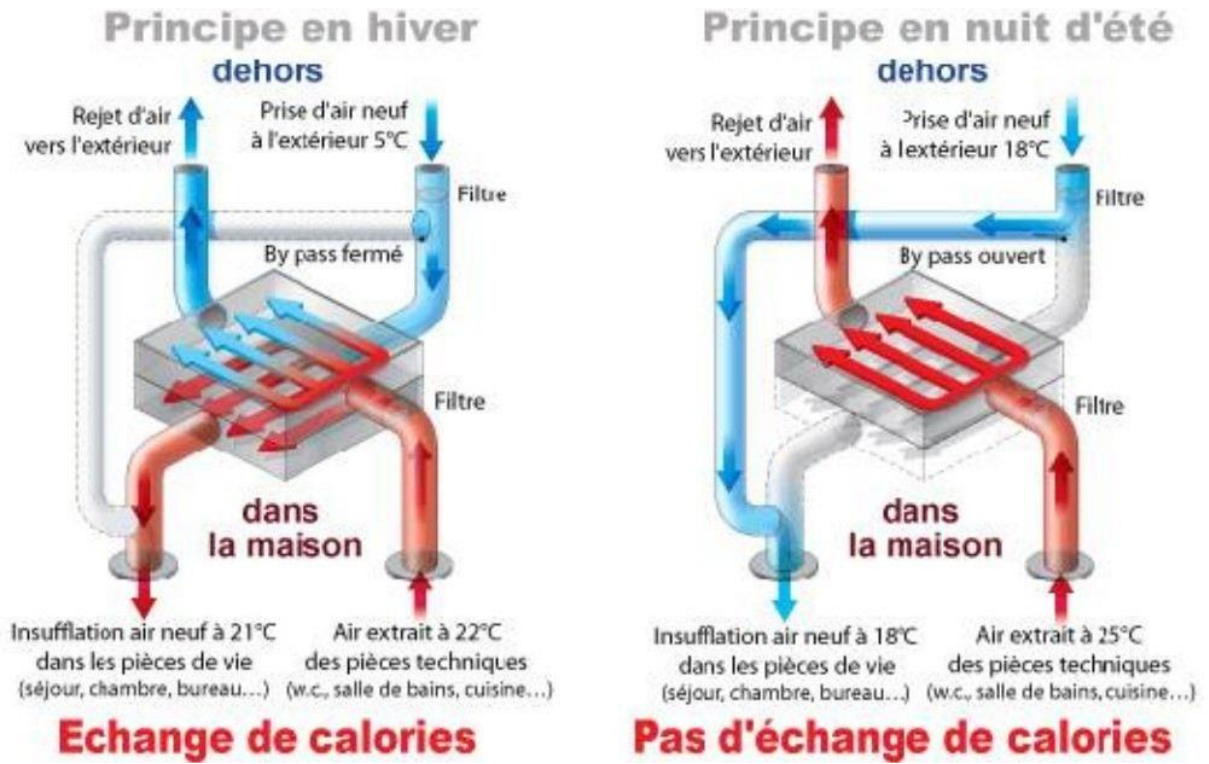


Figure 1. 22:principe de fonctionnement de VMC DF.
source :(Lafond, 2015).

✓ **VMCDF centralisée** : équipe d'une plusieurs entrées d'aire et d'un extracteur mécanique, est le meilleur en termes de maitrise des débits dans les locaux. Les classes sont alimentées en air neuf et l'air vicie des sanitaires est directement évacue vers l'extérieur.

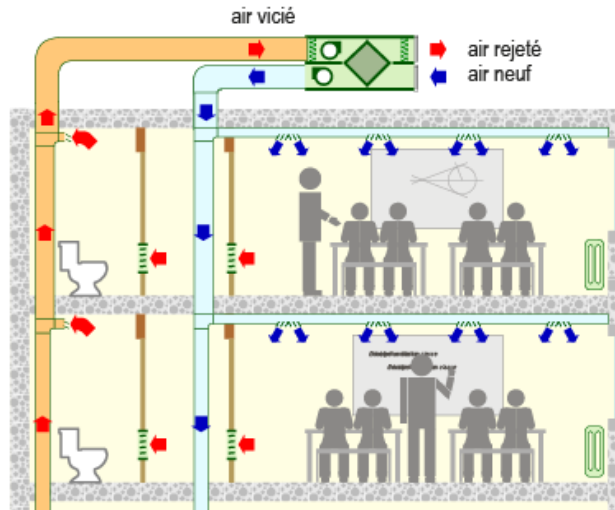


Figure 1.23: Ventilation double flux centralisé avec extraction sanitaire
Source :(Énergie+, 2007).

✓ **VMC décentralisée ou VMR** : Cette ventilation consiste à installer des petits aérateurs assurant l'extraction d'air dans les pièces humides de la même manière que le ferait une VMC, mais sans les gaines. La technologie aujourd'hui permet un choix d'aérateurs à très basse consommation électrique (9 W à 35 m³/h, 18 W à 60 m³/h) et très silencieuse (26 db(A) à 35 m³/h et 35 db(A) à 60 m³/h). L'esthétique n'est pas en reste, car les bouches en façade sont soignées sur le plan de la finition (Bertrand, 2012).

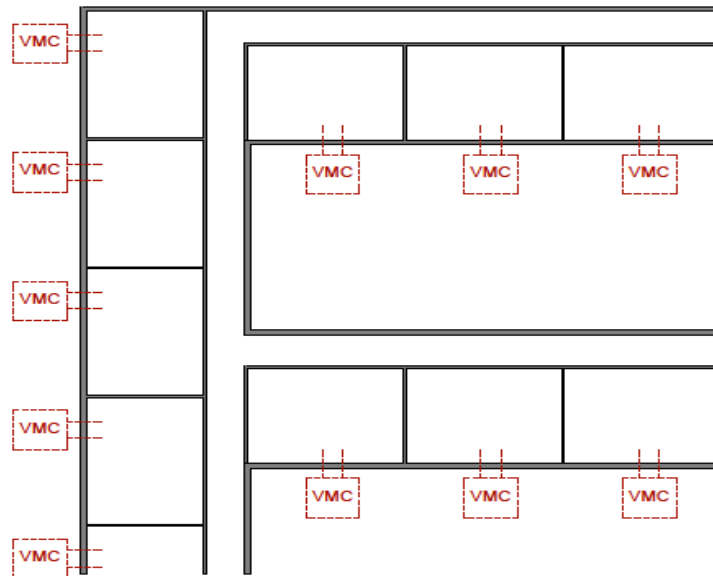


Figure 1.24: VMC décentralisée.

Source : (Massart, 2017).



Figure 1.24: VMC décentralisée.

Source : (Massart, 2017).

1.12.6.4 Climatisation : Selon Suzanne Déoux, médecin ORL, spécialisée en ingénierie de santé dans le bâtiment. "La climatisation peut rendre malade. Premièrement on va faire baisser la température, et quand on climatise on ferme tous les ouvrants, on est dans un espace clôt. Dans les premières minutes où ils arrivent, le taux de CO₂ augmente rapidement et dépasse les seuils souhaités pour les enfants"(iDEMU, 2009).

Donc la climatisation n'est pas saine dans les établissements scolaires (dans les classes).

1.12.6.5 Interventions sur les abords : La végétation et le sol autour de la construction jouent un rôle très important sur le comportement thermique de la construction (micro climat) malgré ça soit très souvent négligée.

- **Drainage autour de la construction** : S'il n'existe pas de pente ou qu'elle est insuffisante, si le terrain est très argileux, il y a lieu de prévoir des regards en plusieurs points, des drains et soit une pompe de relevage, soit un puisard à bonne distance(ATHEBA, 2010b).
- **La végétation** : Elle est la meilleure protection extérieure de la maison à la condition de savoir bien la maîtriser (d'arbres ou de haies feuilles persistantes, du côté du soleil, les arbres pourront être à feuilles caduques) (ATHEBA, 2010a).

1.13 Conclusion

Une bonne connaissance de l'état actuel du parc immobilier existant, permet d'une meilleure évaluation pour une meilleure intervention qui assure les besoins des utilisateurs et aussi qu'une meilleure valorisation du contexte énergétique.

D'après l'étude que nous avons développée dans ce chapitre, nous concluons que ; pour réduire les besoins énergétiques dans les bâtiments scolaires, en même temps rendre plus confortable (assurer un niveau de confort thermique), nous pouvons jouer sur plusieurs paramètres du bâtiment lui-même ; son enveloppe : l'isolation par l'intérieur et l'extérieure, le choix des matériaux isolants le plus performants, types de vitrages, brises soleils, et l'amélioration des performances et du rendement des équipements (chaudières à condensation...).

Une opération de réhabilitation est nécessaire pour sauvegarder ces bâtiments et un outil adéquate pour la l'amélioration de la question énergétique dans les bâtiments scolaires existants.

Chapitre 2 : la consommation énergétique dans le bâtiment en Algérie

«L'énergie la moins chère : celle qu'on ne consomme pas et ne produit pas ».

Par Yannick Jadot.

2.1 Introduction

Le secteur du bâtiment est considéré comme un secteur fortement consommateur d'énergie. Cela impose à tous les pays, y compris l'Algérie de mettre en place les outils et programmes nécessaires afin de réduire leur contribution aux émissions de GES. Donc il est bien placé pour répondre aux enjeux énergétiques et environnementaux.

Dans ce chapitre, nous allons essayer d'avoir une vue générale sur la politique énergétique en Algérie (les stratégies qui sont adoptées par l'état pour améliorer l'efficacité énergétique, les différents programmes, et les réglementations énergétiques et les institutions ...), pour améliorer la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment.

2.2 La stratégie de la maîtrise de l'énergie en Algérie :

Selon le ministre d'énergie Salah Khebri, la stratégie énergétique de l'Algérie à l'horizon 2030 s'articule autour ; l'augmentation de la production et de la rationalisation de la consommation (APRUE, 2016). Pour un objectif de réduire la consommation résidentielle et tertiaire de 10 à 15 % (Zidane, 2019).

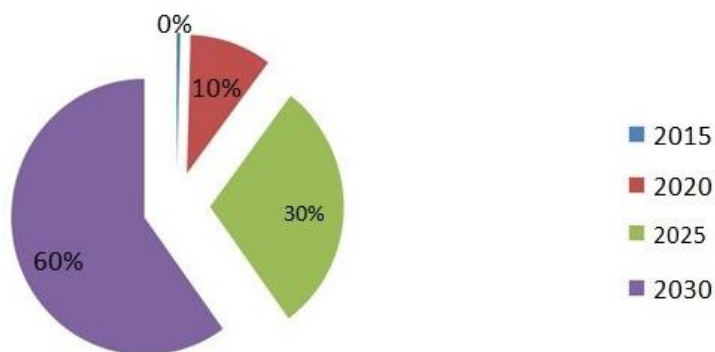


Figure 2.1: Emissions évitées (en millions de tonnes CO₂).

Source : (Ministère de l'énergie, 2019b).

Pour cette stratégie, l'Algérie a adopté en février 2011, un programme ambitieux des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Toute l'attention des pouvoirs publics est mobilisée afin de réussir ce programme basé sur une stratégie verte (Baouchi, 2014).

➤ **Le premier concerne l'application de mesures d'efficacité énergétique** : le programme de l'efficacité énergétique affiche la volonté de l'Algérie de préserver les ressources du pays et optimiser leurs utilisations. À travers ce programme, l'Algérie espère économiser jusqu'à 63 millions de TEP et générer 120.000 emplois à l'horizon 2030-2035 (kharchi, 2019).

➤ **Le second concerne le développement des énergies renouvelables** : Une production d'ici à 2030 de 22.000 MW d'électricité de source renouvelable, notamment solaire et éolienne, destinée au marché intérieur, en plus de 10.000 MW supplémentaires à exporter, le tout pour un investissement de 120 milliards de dollars, et la création de 300.000 emplois (Algérie presse service, 2018).

Les deux programmes, s'ils arrivent à être concrétisés, vont permettre une réduction progressive de la croissance de la demande d'énergie, tout en contribuant à l'effort mondial de lutte contre les changements climatiques.

2.3 Les programmes nationaux de développements énergétiques en Algérie.

2.3.1 Programme national d'efficacité énergétique : Il cible trois secteurs qui impactent fortement sur la demande d'énergie. Il s'agit des secteurs du bâtiment, du transport et de l'industrie. L'isolation thermique de 100.000 logements (APRUE, 2016).

Il vise globalement la réduction de la consommation de 9% à travers la substitution énergétique et l'introduction des équipements et des technologies performantes (APRUE, 2015).

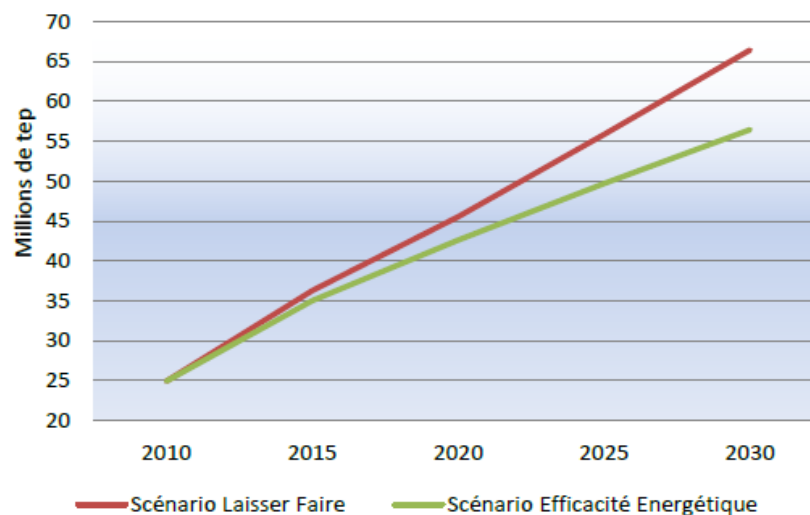


Figure 2.2: Le potentiel d'économie d'énergie estimé à plus de 10 millions de tep à l'horizon 2030 soit plus de 15%

Source : (Baouchi, 2014).

2.3.1.1 Les axes d'intervention :

- L'isolation thermique des bâtiments existants et nouveaux par l'introduction et la diffusion des pratiques et des technologies innovantes.
- Le développement du chauffe-eau solaire : Concernant l'usage (individuel et collectif) de l'eau chaude sanitaire.
- La généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie : Les gains en énergie escomptés, à l'horizon 2030 avoisineraient 19,5 millions de TEP.
- L'introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public : remplacer lampes à mercure (énergivores et nocives) par des lampes plus efficaces (sodium haute pression). Ce qui permettra d'atteindre une économie d'énergie d'un million de TEP.
- La promotion de l'efficacité énergétique dans le secteur industriel : par la généralisation des audits énergétiques et du contrôle des procédés industriels et l'encouragement des opérations de réduction de la surconsommation des procédés industriels, à travers un soutien de l'État financier pour financement de ces opérations.
- La promotion du gaz de pétrole liquéfié carburant (GPL/c) et du gaz naturel carburant (GNc) (APRUE, 2015) .

2.3.1.2 Le développement des capacités industrielles :

- **Isolation thermique** : développant les filières industrielles de fabrication des isolants thermiques de l'enveloppe (murs et toitures) et le double vitrage, en utilisant les matériaux locaux (laine de roche, laine de verre...).

2.3.1.3 Cadre Juridique et Règlementaire et Mesures incitative : L'objectif

de ces mesures est d'encourager les produits locaux et de fournir des conditions avantageuses, notamment fiscales, aux investisseurs désireux de s'impliquer dans les différentes filières d'énergies renouvelables.

2.3.1.4 Étiquetage énergétique : L'étiquetage énergétique est le moyen de

pallier le manque d'information des consommateurs sur les performances énergétiques des appareils électroménagers. Objectif visé est la mise en valeur des performances énergétiques de façon à inciter le consommateur à choisir les appareils le moins (énergivores) et ainsi diminuer le coût global du service rendu (APRUE, 2015).

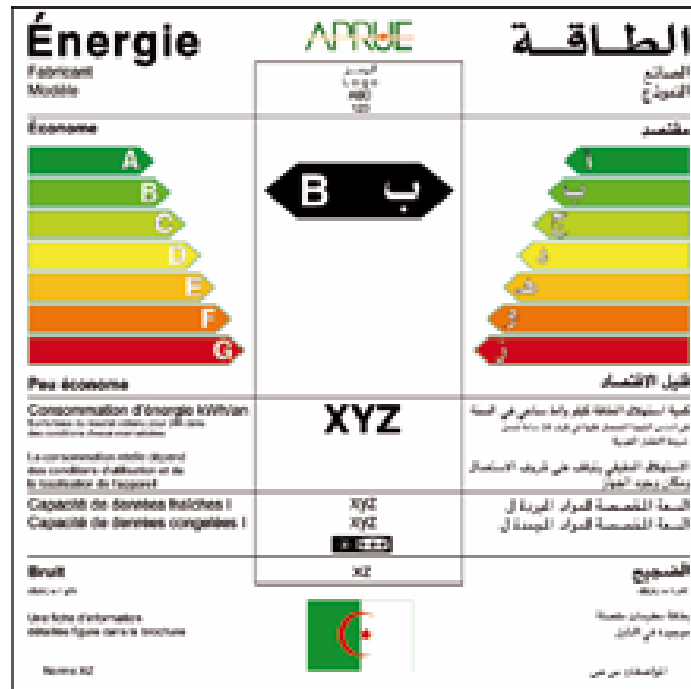


Figure 2.3:etiquette énergétique.

Source :(APRUE, 2009).

2.3.1.5 État de programme :

➤ **Projets réalisés :**

- Isolation thermique de 600 logements neufs :
- Isolation thermique dans les constructions existantes : isolation thermique de 620 m2
- Installation de chauffe-eau solaire individuel et collectif : 407 unités.
- Substitution de lampes à mercure avec des lampes à sodium « Éclairage public » : 10 000 lampes.
- Audits énergétiques : 33 opérations ont été réalisées.
- Aide à l’investissement : 18 opérations ont été réalisées.

➤ **Actions d’accompagnement :**

- Réalisation des formations d’auditeurs énergétiques dans l’industrie.
- Réalisation des formations d’auditeurs énergétiques dans le bâtiment.
- Réalisation des formations d’homme énergie dans l’industrie.
- Réalisation des formations d’homme énergie dans le tertiaire.
- Réalisation d’un état des lieux de la filière de fabrication des matériaux de construction ;

- Réalisation d'un diagnostic sur le transport urbain de la ville d'Alger et évaluation des besoins en infrastructures, et bus dédiés au gaz naturel ;
- État des lieux du parc de l'éclairage public au niveau national.

➤ **Communication** : Des campagnes de communication ont été lancées pour accompagner les projets de l'efficacité énergétique destinés pour le grand public relatif à la sensibilisation sur la réduction de la consommation d'énergie dans les périodes hivernales et estivales (Ministère de l'énergie, 2019a).

2.3.2 Programme Eco bat :

Ce projet vise à apporter le soutien financier nécessaire à la réalisation de logements assurant une optimisation du confort intérieur en réduisant la consommation énergétique liée principalement au chauffage et à la climatisation. L'APURE a lancé dans le cadre du PNME 2007-2011, la réalisation de 600 logements à haute performance énergétique et devrait réaliser 3000 autres pour le PMNE 2010- 2014 (APRUE, 2010a).

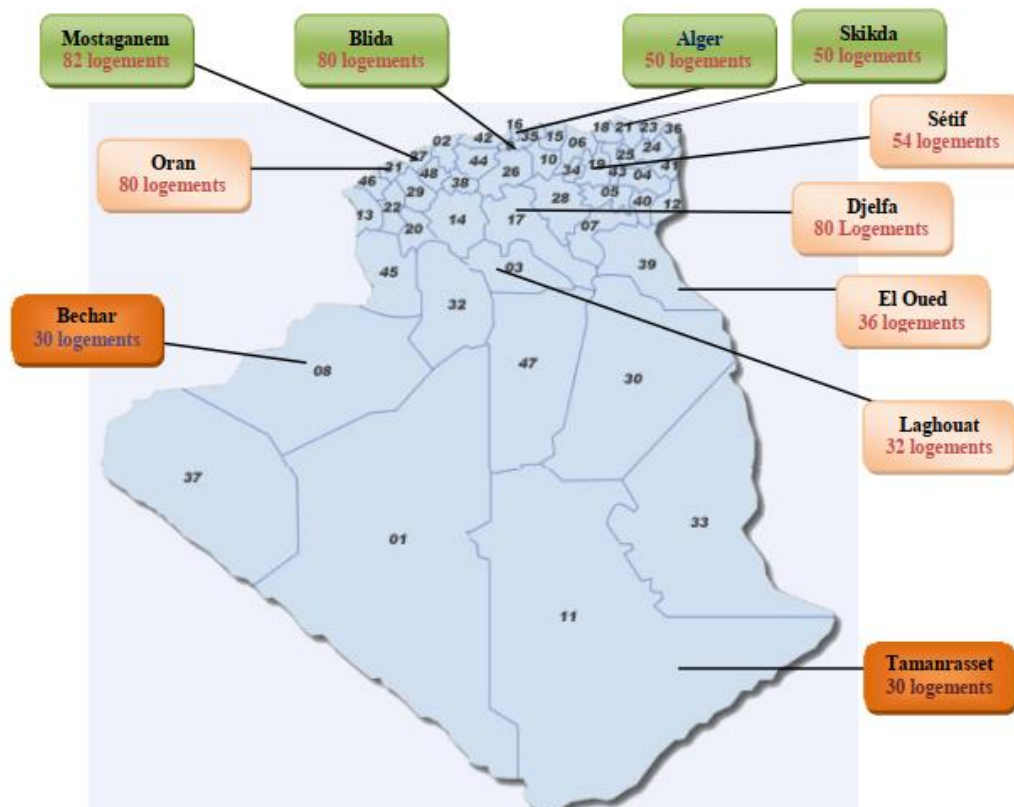


Figure 2.4: Répartition des logements (projet ECO-BAT).

Source : (djaffar semmar et al., 2012).

2.3.2.1 Objectifs : Le programme - Eco-Bât a pour objectif d'apporter un soutien technique et financier afin de réduire les consommations énergétiques liées au chauffage et la climatisation en agissant sur, notamment :

- L'amélioration de l'enveloppe du bâtiment et l'isolation des toitures ainsi que l'utilisation de la menuiserie performante.
- La limitation des transferts de chaleur entre l'intérieur du bâtiment et l'environnement extérieur.
- La mobilisation des acteurs du bâtiment autour de la problématique de l'isolation thermique.
- La formation d'une main-d'œuvre qualifiée.
- La création d'un marché durable et compétitif des matériaux et équipements contribuant à l'isolation thermique.
- La réduction des émissions de CO₂(APRUE, 2019).

2.3.2.2 La stratégie de conception adoptée pour le projet ECO BAT :

➤ **En hiver :**

- Limitation des déperditions thermiques ;
- Orientation et conception adéquates des façades ;
- Emploi des stratégies conceptuelles et de matériaux adéquats

➤ **en été :**

- Contrôle de l'ensoleillement à travers la conception architecturale ;
- Emploi de techniques de rafraîchissement naturel ;
- Emploi de matériaux adéquats(en fonctions des zones climatiques)(djaffar semmar et al., 2012).

2.3.2.3 Consistance du programme : la consistance est déterminée chaque année au niveau du Comité intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie «CIME», en tenant compte du programme de construction et de la disponibilité des matériaux isolants sur le marché national. L'objectif à terme est d'intégrer systématiquement l'efficacité énergétique dans toutes les nouvelles constructions et de généraliser la réhabilitation thermique des constructions existantes(APRUE, 2019).

2.3.2.4 Cibles et bénéficiaires : Tous types de constructions : logements individuels et collectifs, administrations, écoles, mosquée(APRUE, 2019)

2.3.3 Programme national de développement des énergies renouvelable :

programme (en cours de réalisation) relatif à la production de 22 mille mégawatts d'énergie propres à l'horizon 2030, un total de 27% de la consommation énergétique en Algérie proviendra des énergies renouvelables. Un peu plus de 500 mégawatts ont été déjà produits, jusqu'à fin 2017. et 23 centrales photovoltaïques à travers le territoire national (Algérie presse service, 2018).

2.3.3.1 Les objectifs du programme :

- réaliser un gain de 42 milliards de dollars à l'horizon 2030, avec une réduction de consommation de l'ordre de 9%.
- Économie sur la production de gaz avoisinant les 300 milliards de m³, sur la période de 2021 à 2030, qui se transformeront automatiquement en revenus issus l'exportation (APRUE, 2016).

2.3.3.2 Mécanismes d'encouragement : Le régime spécial concerne toute activité de production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable. Le dispositif réglementaire est composé :

- ✓ **Décret exécutif n° 17-98** du 26 février 2017 définissant la procédure d'appel d'offres pour la production des énergies renouvelables.
- ✓ **Décret exécutif n°15-69** du 11 février 2015 fixant les modalités de certification de l'origine de l'énergie renouvelable.
- ✓ **Décret exécutif n°13-218** du 18 juin 2013 fixant les conditions d'octroi des primes au titre des coûts de diversification de la production d'électricité(CERG, 2018)

2.3.3.3 État du programme : La consistance du programme en énergie renouvelable à réaliser pour les besoins du marché national sur la période 2015-2030 est de 22 000 MW, dont plus de 4500 MW seront réalisés d'ici 2020(CERG, 2018).

➤ **En 2015 :** La production d'électricité à partir des sources renouvelables représente **0.03%** du bilan production(APRUE, 2017).

- **Solaire photovoltaïque :** le programme de l'électrification rurale prévoit l'électrification de 500 foyers par an à raison d'une moyenne de 0,75 KW par foyer. La puissance à installer serait en moyenne de 700 kW par an.
 - ✓ Parc solaire en fonctionnement : 108 installations PV.
- **Solaire thermique :** la société Sonelgaz prévoit la construction de 4 centrales hybrides solaire/gaz totalisant une capacité installée de l'ordre de 1350 MW.

- **éolien** : le programme prévoit la construction de 4 fermes éoliennes totalisant une capacité installée 40 MW.
- **Géothermie** : le programme prévoit des applications géothermales pour le chauffage des serres agricoles en 2015, plus de 200 sources chaudes ont été inventoriées dans le nord du pays, soit le gradient thermique dépasse les 5°C/100m, avec le tiers environ ont des températures supérieures à la moyenne de 45°C(APRUE, 2017).

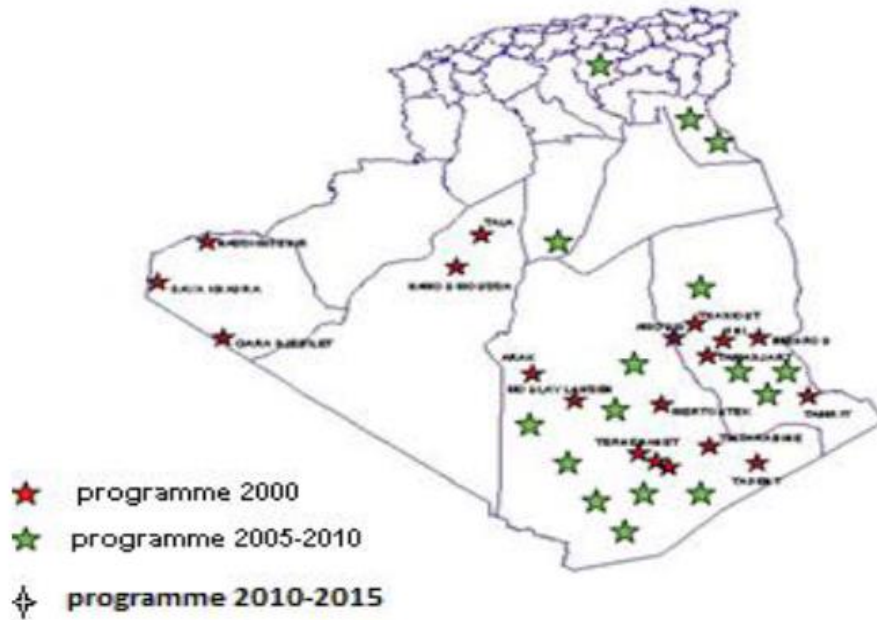


Figure 2.5:électrification au solaire photovoltaïque.

Source :(APRUE, 2017).

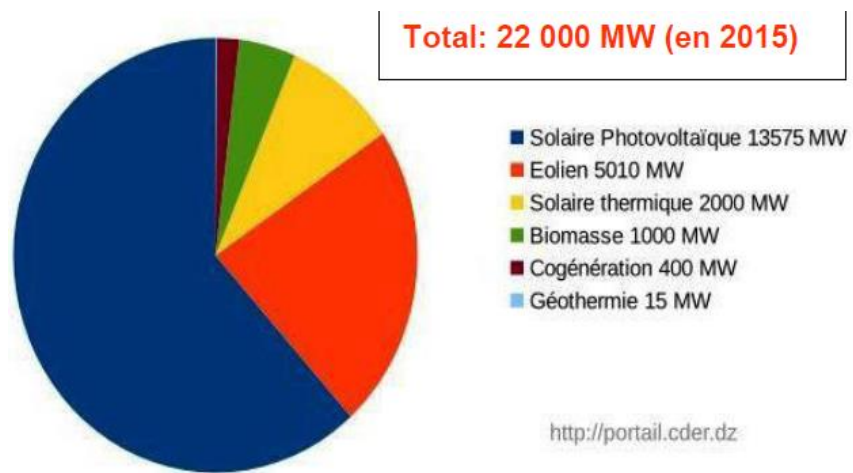


Figure 2.6:énergie renouvelable en 2015.

Source :(Ministère de l'énergie, 2019b).

➤ **En 2017** : production de 5 centrales photovoltaïques, d'une capacité combinée de près de 125 MW ; ce qui a porté la part de production d'origine solaire et éolienne dans la production totale d'électricité primaire à plus de 90%.

La production d'électricité hydraulique a baissé (-22%) à 56 GWh, vu la faible pluviométrie, ramenant sa part à moins de 10% de l'électricité primaire (Ministère de l'Énergie, 2018).

2.4 La réglementation énergétique Algérienne du bâtiment :

Depuis plusieurs années, le gouvernement algérien mène une politique d'amélioration de la gestion des ressources énergétiques. Cette politique se décline à travers la loi N°99-09 du 28 juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie et de ses textes d'application, en autres le décret exécutif N°2000- 90 du 24 avril 2000 portant réglementation thermique dans les bâtiments neufs (Imessad et al., 2017).

Les principales lois algériennes sur la maîtrise de l'énergie sont définies comme suit:

- **Le décret exécutif 04-149 du 19 mai 2004**, fixant les modalités d'élaboration du programme national de maîtrise de l'énergie (PNME) (APRUE, 2010b)
- **La loi n° 04-09 du 14 août 2004**, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable, encourage la promotion des énergies nouvelles et renouvelables non polluantes comme l'énergie solaire (Ménouèr, 2015).
- **En 2008 et 2009** des arrêtés interministériels fixent des catégories d'appareils à usage domestique, et définissent leurs classifications énergétiques, définissent l'étiquetage des réfrigérateurs, des congélateurs et des appareils combinés, des lampes et des climatiseurs à usage domestique.
- **Décret exécutif N° 07-310 du 7 octobre 2007** fixant le niveau de consommation annuelle en électricité et en gaz du client éligible et les conditions de retour du client éligible au système à tarifs.
- **Arrêté du 27 mars 2004** portant approbation du DTR E 4.4 intitulé «Travaux d'isolation thermique et d'étanchéité des toitures en tôles d'acier nervurées» (Ménouèr, 2015).
- **Document technique réglementaire (DTR)** : Le (DTR) est un document qui traite les problèmes liés à la thermique de bâtiment. Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermiques des logements pour le problème d'hiver et d'été.

En 1999, le Ministère du Logement et de l'Urbanisme élabore le premier code énergétique algérien du bâtiment. Ce document qui se présente sous forme de deux fascicules:

DTR C3.2 : pour l’hiver et **DTR C3.4** : pour l’été.

➤ **L’objectif** de réduire la consommation énergétique destinée au chauffage de 20% à 30%. Plus de 16 années après, une version révisée de cette réglementation est élaborée, avec comme principales modifications:

- ✓ Rassemblement des deux fascicules en un seul document.
- ✓ Renforcement des exigences.
- ✓ Définition d'un nouveau zonage.

➤ **Vérification d’hiver** : Le DTR stipule que pendant la période de chauffage, les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois doivent être inférieures à une valeur de référence. $DT < 1.05 D_{ref}$

$$D_{ref} = a.S_1 + b.S_2 + c.S_3 + d.S_4 + e.S_5$$

a, b, c, d, e représentent les coefficients de transmission thermiques des différentes parois (respectivement le toit, le plancher, les murs, porte et fenêtres). S1, S2, S3, S4, S5 représentent la surface de ces parois.

➤ **Vérification d’été** : Pour la période d’été, les apports de chaleur à travers les parois opaques (APO) et vitrées (AV) calculés à 15 h du mois de juillet (considéré comme le mois le plus chaud de l’année) doivent être inférieurs à une limite appelée 'Apport de Référence (Aréf)'. $A_{po}(15h) + A_{v}(15h) < 1.05 A_{réf}(2)$ (Imessad et al., 2017).

Tableau 2.1: Coefficients de référence.

Source :(Imessad et al., 2017).

Zone	Bâtiment individuel					Bâtiment passif				
	a	B	c	d	e	a	b	c	d	e
A	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
Al	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
B	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8
C	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8
D	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8

2.5 Institution nationale de la maîtrise de l'énergie en Algérie :

De nombreux institutions ont été mises en place dans l’objectif de concevoir et de mettre en œuvre cette politique. Il s’agit notamment de l’APRUE, du CIME, du CDER.

2.5.1 Le Comité intersectoriel de la Maîtrise de l'Énergie (CIME) :

Le CIME est un organe consultatif placé auprès du ministre de l'énergie chargé d'organiser la concertation et le développement du partenariat public/privé. Il émet des avis sur :

- toute question liée à l'évolution de la politique de maîtrise de l'énergie et des moyens qui lui sont consacrés.
- Les travaux d'élaboration, de mise en œuvre et de suivi du Programme national de Maîtrise de l'Énergie (APRUE, 2009).

2.5.2 L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie (APRUE) :

L'APRUE, créée par décret présidentiel en 1985, est la principale institution nationale chargée de la promotion de la mise en œuvre des politiques nationales de maîtrise de l'énergie. Cette agence est placée sous la tutelle du ministère de l'Énergie. Elle a pour mission première la mise en place de la politique nationale de la maîtrise de l'énergie, et ce par la promotion de l'efficacité énergétique. Cet établissement public est également chargé de missions d'information, de communication et de formation en direction de tous les professionnels publics et privés, ainsi que de la sensibilisation de tous les citoyens (Ménouèr, 2015).

2.5.3 Le Centre de développement des énergies renouvelables (CDER) : est un centre de recherche, créé le 22 mars 1988, chargé d'élaborer et de mettre en œuvre les programmes de recherche et de développement, scientifique et technologique, des systèmes énergétiques exploitant l'énergie solaire, éolienne, géothermique et l'énergie de la biomasse (Ménouèr, 2015).

2.6 Conclusion

Au rythme de la croissance démographique actuelle, et la hausse continue de la consommation domestique en énergie, surtout dans le secteur du bâtiment, et pour résoudre ce problème l'état a mis en œuvre de nombreux programmes pour améliorer la performance énergétique, et en même temps réduire les besoins énergétiques dans les bâtiments.

À lumière de cette étude que nous venons d'étaler dans ce chapitre, nous concluons que malgré la mise en place de la réglementation et des moyens financiers pour le développement de ces programmes, les loi restent des objectives de l'état à atteindre, vu que la réglementation énergétique est peu appliquée.

Chapitre 3 : le parc immobilier scolaire en Algérie

« La sauvegarde de notre monde humain n'est nulle part ailleurs que dans le cœur humain, la pensée humaine, la responsabilité humaine » Václav Havel.

3.1 Introduction

L'éducation est considérée comme l'un des piliers du développement humain et social, et la reprise économique. Pour cela l'état accorde une grande importance à ce secteur sensible par la définition d'une nouvelle politique de l'éducation en mesure de répondre aux ambitions de la nation et s'adapte au développement technologique.

Dans ce troisième chapitre, nous nous intéresserons au parc immobilier scolaire en Algérie. Présentation du système éducatif national, son historique, évolution, ainsi que les réglementations et les normes qui sont destinées à orienter les autorités vers des techniques et des solutions architecturales bien adaptées aux exigences de la pédagogie. Ensuite nous nous intéresserons également au contexte énergétique dans les bâtiments scolaires existants, sa performance énergétique et l'influence de celui-ci sur les besoins énergétiques.

3.2 Définition :

3.2.1 Éducation : Art de former une personne, spécialement un enfant ou un adolescent, en développant ses qualités physiques, intellectuelles et morales, de façon à lui permettre d'affronter sa vie personnelle et sociale avec une personnalité suffisamment épanouie (cnrtl, 2012).

Donc l'éducation est une action de former un enfant, de développer ses facultés intellectuelles et morales. Elle est la base d'une société, une étape qui ne cesse jamais.

3.2.2 Enseignement : l'enseignement, est l'activité de communication impliquant un échange d'information pour un but d'apprentissage et de maîtrise d'un contenu.

Selon l'**art 27** du système éducatif national comprennent les niveaux suivants :

- L'éducation préparatoire.
- L'enseignement fondamental.
- L'enseignement secondaire général et technologique (Journal officiel de la république algérienne, 2008).

3.2.3 Établissement scolaire : L'école constitue la cellule de base du système éducatif national.

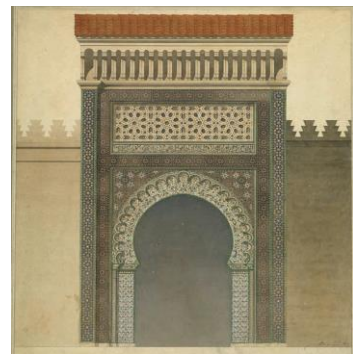
D'après le dictionnaire Larousse, « l'établissement scolaire est l'ensemble des locaux où se donne un enseignement (école, collège ou lycée).

3.3 Historique du parc immobilier scolaire en Algérie :

3.3.1 Période précoloniale (avant 1830) : Quand les Français entreprennent la conquête de l'Algérie en 1830, ils découvrent un système d'enseignement coranique, qui dispense aux jeunes garçons une alphabétisation à base religieuse, dans les msids des villes et dans les tentes-écoles des tribus. Quelques milliers d'autres élèves reçoivent dans les médersas ou dans les zaouïas un enseignement plus élaboré, notamment en grammaire et en arithmétique. Ce système, qui s'était dégradé au cours des siècles (Binet, 2017).



*Figure 3.1: Zaouïa, environs de Bougie
Elle fut détruite par le pouvoir colonial en 1872-1874
Source : (Ferrandez, 2017)*



*Figure 3.2: M'Dersa Tachfinia à Tlemcen,
source : (Ferrandez, 2017).*

3.3.2 L'époque coloniale (1830 à 1962) : L'histoire de l'école dans l'Algérie coloniale est celle d'une cohabitation complexe, difficile et souvent conflictuelle entre plusieurs systèmes d'enseignement (Ferrandez, 2017).

1852-1870, les colons voulaient promouvoir une mixité ethnique et linguistique par le développement d'un enseignement arabo-français.

Après **1870**, le système éducatif métropolitain est étendu à l'Algérie : les élèves européens et assimilés ont à leur disposition des écoles publiques de tous niveaux et de grandes qualités, ainsi que des écoles confessionnelles. Des lycées sont créés à Alger, Oran, Constantine, département de Bône..., tandis qu'une université se constitue progressivement à partir de 1879 jusqu'au 1949. le système divis :

- ✓ **Enseignement A** : pour les élèves européens



Figure 3.4: Enseignement A. Collège de Mostaganem, 1913.

Source : (Ferrandez, 2017).

- ✓ **Enseignement B :** plus général réservé à une minorité .Cette division de l'enseignement public perdurera jusqu'en 1949(est un moyen pour la conquête morale des indigènes).



Figure 3.5: Enseignement B. Travail de tannerie et de dinanderie, école indigène Saïda, 1906 .

Source : (Ferrandez, 2017).

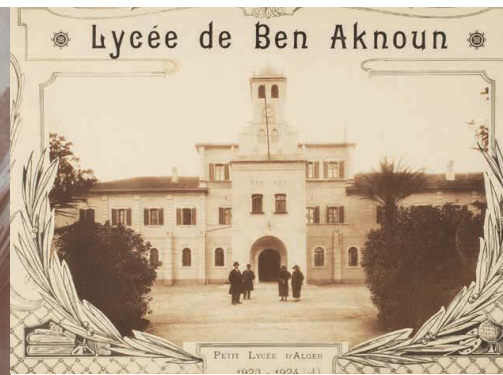


Figure 3.6: Bâtiment principal, lycée de Ben Aknoun 1924.



Figure 3.7: Une école des Pères blancs à Ghardaïa dans les années 1920,

Carte postale, collections.

Source : collection Musée d'histoire de France et d'Algérie (Ferrandez, 2017).

En 1955. Réforme et modernisation de l'enseignement traditionnel : cet enseignement réformé, soumis aux tracasseries administratives, accueille 45 000 élèves, dont la moitié suit en même temps les cours de l'école française. Les petites écoles coraniques, mieux tolérées par l'administration, reçoivent de leur côté environ 100 000 enfants.

3.3.3 Période postcoloniale (1962 à 2008) :

3.3.3.1 première période (1962 à 1976) : C'est une période très importante pour mettre en place la base d'un système éducatif national qui répond aux objectifs de l'état les principaux. Les éléments qui caractérisent cette période sont :

- ✓ l'arabisation de l'enseignement à partir de 1970.
- ✓ À partir de 1973, les écoles primaires tenues par les Pères blancs sont progressivement fermées.
- ✓ l'ordonnance du 16 avril 1976 sur la refonte du système éducatif vient achever la nationalisation de tous les enseignements privés, y compris celui des Oulémas (Ferrandez, 2017).

3.3.3.2 Deuxième période (1976 à 2008) : Du 23 février 1989 a été beaucoup plus libéral en assurant le droit à l'enseignement ainsi que sa gratuité à toute personne et non seulement au citoyen (hamli, 2018).

Il s'agit de l'ordonnance n° 76-35 du 16 avril 1976. Cette dernière a considéré que l'éducation est une œuvre d'intérêt national et constitue une priorité d'État. Dans ce sens, elle a garanti le droit à l'éducation et à la formation à tout algérien, en assurant la généralisation de l'enseignement fondamentale, et en imposant l'obligation de l'enseignement en faveur de tous les enfants âgés de six (6) à seize (16) ans. Mais aussi, en garantissant la gratuité de l'enseignement à tous les niveaux.

- ✓ Le décret n° 76-66 relatif au caractère obligatoire de l'enseignement fondamental.
- ✓ À travers le décret n° 76-67. Ce dernier a assuré la gratuité de l'enseignement à tous les élevés y compris les adultes régulièrement inscrit dans les établissements d'éducation et de formation.
- ✓ Révision qui a eu lieu en 2003, en introduisant le "Tamazight" comme une langue nationale dans le système éducatif algérien.

3.3.3.3 Troisième période (à partir de 2008) : Le régime socialiste fut abandonné par le pays depuis l'adoption de la constitution du 23 février 1989. Alors, il a fallu attendre l'an 2008 qui a connu la promulgation de la loi d'orientation sur l'éducation nationale pour que l'expression "*conscience socialiste*" soit définitivement enlevée des textes régissant le système éducatif algérien (hamli, 2018).

- ✓ Considérer l'éducation nationale comme un investissement productif et stratégique (la première priorité de l'État).
- ✓ Développer les compétences et les moyens nécessaires pour la prise en charge de la demande sociale d'éducation et à la réponse aux besoins du développement national
- ✓ suppression de l'école fondamentale et retour à l'ancien système d'organisation (primaire, moyen, secondaire).
- ✓ Possibilité de création d'établissements d'éducation et d'enseignement privé et le développement des lois.
- ✓ Obligation de cycle préparatoire.

3.4 Evolution du parc immobilier scolaire en Algérie :

Avant 1830 : Alger compte 80 écoles primaires qui scolarisaient environ 20% de la jeunesse urbaine, soit 1200 élèves.

1860: 01 lycée à Alger, 01 Institut d'enseignement secondaire à Constantine, 04 collèges : Oran, Mostaganem, Philippeville, Bône.

1887 : 03 lycées : Alger, constantine. Oran, -7 collèges : Mostaganem. Philippeville, Bône, Blida, Médéa, Tlemcen. Sétif. -4 élargissements privés (hamli, 2018).

1961 : 109 000 élèves européens et 735 474 musulmans, dont 37 % de filles (Dechavanne, 2012).

2015/2016 : Cycle primaire 18.350, Cycle moyen : 5.346, Cycle secondaire : 2.250 nombres des cantines scolaires ; 14.160, et nombre des unités de santé scolaire ; 1.322 (hamli, 2018)..

3.5 Classification des établissements scolaires :

Selon l'Art.81. — L'enseignement est dispensé dans les établissements publics d'éducation et d'enseignement énumérés ci-après

3.5.1 École préparatoire : Le préscolaire fonctionne comme un espace de socialisation et d'apprentissage, dont l'objectif majeur est de préparer l'enfant à la scolarité. Il s'agirait, selon les différents acteurs pédagogiques de ce système, d'offrir à l'enfant les moyens de

développer ses capacités. Permettre à chaque enfant une première expérience scolaire réussie est un objectif formulé par l'ensemble des acteurs interrogés (Benamar, 2010/2).

3.5.2 École primaire : L'école primaire se présente, partout dans le monde, comme le fondement sur lequel se bâtissent les systèmes éducatifs. Partout, on y retrouve le même enracinement dans l'histoire et la culture. Partout lui sont dévolues des missions identiques d'alphabétisation et d'identification nationale. (Gauthier, 2006)

3.5.3 Collège : Le collège est l'établissement de niveau secondaire qui, à l'issue de l'école élémentaire, accueille tous les enfants scolarisés. Ils y suivent quatre années de scolarité (Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse, 2020).

3.5.4 Lycée : selon encyclopaedia universalis : le lycée est un établissement du second cycle du second degré, de la seconde à la terminale.

3.5.4.1 Classification typologique des lycées : Il est classé en trois types :

- Lycées d'enseignement général.
- Lycées d'enseignement technique (techniques)
- Lycées polyvalents (enseignement général et technologique).

Ils sont classés selon leurs capacités d'accueil, et le budget de l'état à : 800 places - 800 places avec demi-pension, 1000 places - 1000 places avec demi-pension (la direction de l'éducation, 2020).

3.5.4.2 Programme : Les dimensions des locaux

- Salle ordinaire : 57- 62 m²
- Salle de géographie : 65 - 70 m²
- Salle de sciences naturelles 40 places : 65 - 70 m²
- Salle de sciences naturelles 20 places : 40 - 52 m²
- salle d'enseigne. Artistique et manuel : 65-78 m²
- Salles de préparation :
 - ✓ géographie/enseignement général : 15 - 25 m²
 - ✓ Sciences naturelles 25 - 35 m² (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

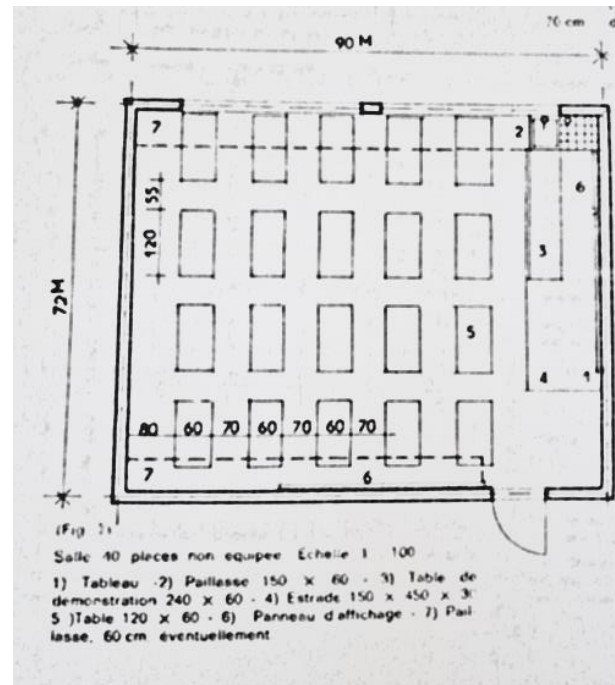


Figure 3.8: exemple d'une salle ordinaire.

Source : (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

3.6 Normes : Les normes des établissements scolaires en Algérie sont définies depuis les années soixante-dix, suivant les zones climatiques.

3.6.1 Conception de bâtiment : Plusieurs facteurs influencent sur la température intérieure d'une salle de classe

- ✓ Chaleur humaine (enfants) 40 %.
- ✓ Transmission par des ouvertures équipées d'une protection empêchant totalement l'ensoleillement 20 %.
- ✓ Ensoleillement et transmission par des ouvertures non protégées ; 80 %.
- ✓ Transmission par la ventilation et les courants d'air 20%.
- ✓ Transmission à travers la toiture au dernier étage 15 %.
- ✓ Transmission à travers les murs extérieurs 5% (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

Donc pour assurer le confort intérieur d'une salle de classe un ensemble des éléments dont nous tenons en compte lors de concept d'un bâtiment scolaire. Le plus important est :

3.6.2 Le choix de site : le site doit être choisi, en fonction des possibilités d'accès, de la proximité de transport public.

3.6.3 Orientation des locaux : les conditions de confort dans les locaux dépendants grands parties de l'orientation du bâtiment. L'orientation favorable :

- **Zone I : Sud (SSO-SSE) :** L'orientation des locaux au sud est très favorable. Les protections mobiles sont nécessaires. Même en hiver.
- **Zone II : Sud (SSO-SSE)** Groupement autour d'une cour (zone II b) dans ce cas. Il faut prévoir le maximum de verdure plantation d'arbres et fontaines pour obtenir la fraîcheur nécessaire.
- **Zone III : Sud/Sud-Est (SSO-SE).**
- **Zone IV : Sud (SSO-SSE)** Groupement autour d'une cour, dans ce cas. Il faut prévoir le maximum de verdure plantation d'arbres et fontaines pour obtenir la fraîcheur nécessaire (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

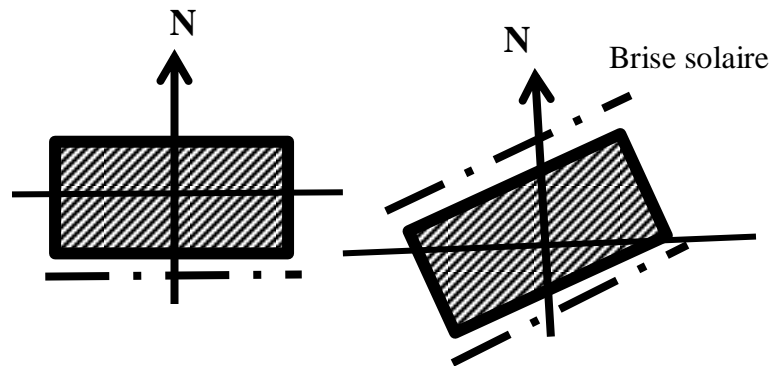


Figure 3.9: orientation sud dans la zone I et II, S-SE la zone III.

Source : (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

3.6.4 Dimension des ouvertures : Les dimensions des fenêtres dépendant de l'exigence qui on cherchera.

Tableau 3.1: dimension des ouvertures (surf vitrée/surf plancher)

Source : (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971)

orientation	zone I-III	zone IV
sud (SSE-SSO)	12-15%	8-12%
Autre orientation	15-17%	12-15%

3.6.5 Protections solaires : La protection solaire a une influence prépondérante sur le confort. En fonction de l'orientation des ouvertures des différents types de protections peuvent être employés en tenant compte de trois facteurs: la température, Trajectoire du soleil et Caractéristiques géométriques des protections.

3.6.5.1 Caractéristiques géométriques des protections : Le choix de type de brise solaire et la géométrie même de protection solaire est définie par les angles de protection qui calcule sur la limite de la surface vitre.

➤ **Protection horizontale :** justifier pour l'orientation sud

- ✓ Angle de protection en coupe : min=45°.
- ✓ Angle de protection en façade : min=45°.

➤ **Protection vertical :**

- ✓ Angle de protection en coupe : min=30°.
- ✓ Angle de protection en façade : min=45°.

On peut aussi utiliser des protections solaires mobiles (efficaces). Les écrans peuvent être groupés en trois catégories suivant leur taux de transmission. Protection efficace lorsque le taux de transmission est entre 0-15% (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

3.6.6 Ventilation : La ventilation est nécessaire dans les bâtiments scolaires pour l'entrée de l'air frais, évacuer l'air pollué (les odeurs), régler l'humidité et diminuer la température. Le volume d'air souhaitable par élève et par heure : **salle de classe : 15m³** (ARENE and ICEB, 2012), **Dortoirs : 10 m³** (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

➤ Ventilation naturelle (par l'ouverture, châssis...), n'est pas efficace pendant le vent fort ou la pluie (l'exigence de renouvellement de l'air est facile à satisfaire, car il suffit d'ouvrir les fenêtres un ou deux fois par heure)

- l'abaissement de la température du corps humain par ventilation naturelle ne dépasse pas 2°C la vitesse souhaitée est de 1 m/sec. Et la vitesse maximum 2 m/sec.
- Le changement du volume d'air dans une classe par effet thermique est de **5-10m³** ce qui n'est pas tout à fait suffisant.

➤ **VMC simples flux ou double :** plus efficace assurer bien le renouvellement de l'air et récupération de la chaleur surtout VMC double flux. Aussi pendant la conception d'un bâtiment scolaire on prend en considération l'effet de rafraîchissement ou humidification par des fontaines, bassin ... dans la zone IV.

3.7 Consommation énergétique dans le parc immobilier scolaire :

Le bâtiment scolaire doit répondre aux différentes exigences, qui peuvent être de nature et de degrés différents, tels que le confort hygrothermique, acoustique, éclairage, accessibilité, sécurité, pureté de l'air...etc. Certaines ou la majorité de ces exigences ne sont pas discutables comme, le renouvellement d'air (taux d'oxyde de carbone dans l'air des classes). Pour assurer où essaient d'assurer ces exigences, les bâtiments éducatifs en Algérie consomment une part importante d'énergie. Par tranche d'activité, le secteur de l'éducation est utilisé environ 8% de la consommation de secteur tertiaire (40), avec un taux de croissance annuel moyen du résidentiel tertiaire de 6.28% (APRUE, 2017).

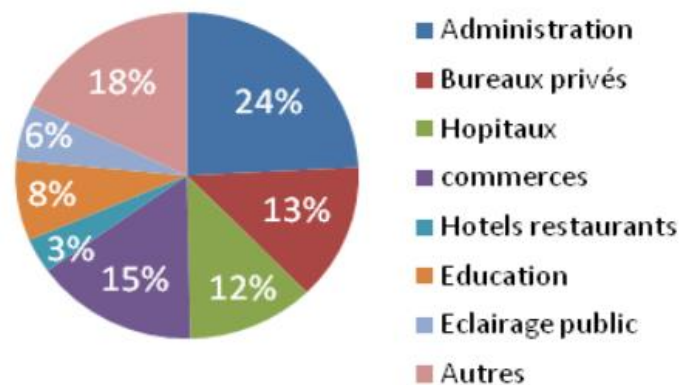


Figure 3.10: Répartition de la consommation du secteur tertiaire par branche.

Source : (APRUE, 2017).

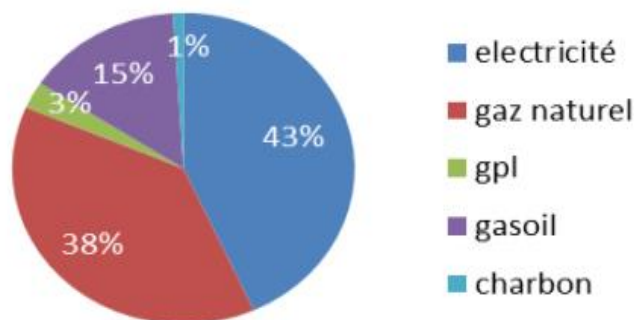


Figure 3.11 : Répartition de la consommation du secteur tertiaire par types d'énergie.

Source : (APRUE, 2017).

La consommation énergétique du bâtiment éducatif par produit montre que l'électricité est prédominante. Cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de

climatisation et de la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques (modernisation de secteur).

3.8 Usage des énergies consommées dans les établissements scolaires :

L'énergie est employée principalement dans les établissements scolaires pour l'éclairage, chauffage, et le rafraîchissement. Toutefois, en raison de développement technologique on assiste à la croissance des besoins énergétiques

3.8.1 Chauffage : la consommation d'énergie pour le chauffage est vraisemblable suivant la conception architecturale de l'établissement, la performance des équipements utilisées et les besoins en chauffage. En Algérie il n'y a pas des statistiques montrant l'exacte le pourcentage de la consommation de gaz. Mais en général le secteur tertiaire consomme 872019 tep qui représentent 7% de la consommation nationale (APRUE, 2017).

Tableau 3.2: Besoins en chauffage par élève.

Source : (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

Locaux	Zones				Unité
	I	II	III	IV	
Education	125	175	210	175	Kcal/h. élève
Restauration	30	40	45	40	Kcal/h. rationnaire
Hébergement	220	280	360	360	Kcal/h. interne
Logement	3000	4000	4500	4500	Kcal/h.logement

3.8.1 Eclairage : La consommation d'électricité par le secteur tertiaire est 988235 tep qui représentent 20% de la consommation nationale (APRUE, 2017).

En Algérie, la lumière naturelle présente des avantages très appréciables, mais elle n'est pas exploitée. L'éclairage naturel est la source principale d'éclairage des bâtiments scolaires. La puissance de l'installation d'éclairage artificiel doit être inférieure à 15 watt/m². pour assurer une bonne réflexion dans les salles.

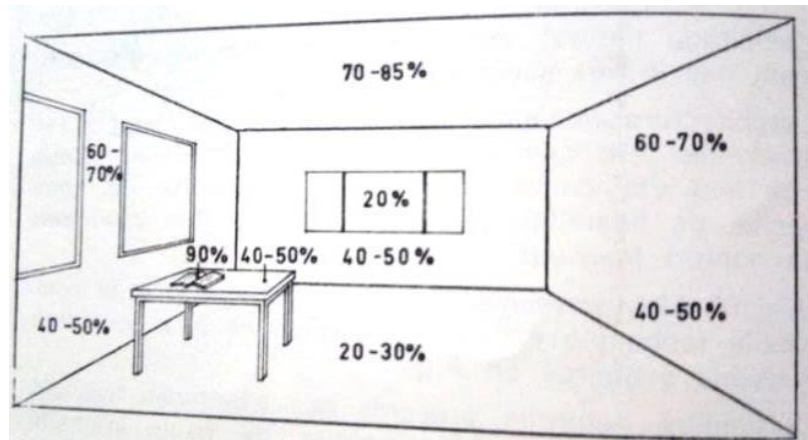


Figure 3.12: Coefficients de réflexion.

Source : (Ministère de l'éducation nationale algérien, 1971).

3.8.2 Climatisation : Représente une part non négligeable de la consommation d'électricité parce que la majorité des bâtiments scolaires n'utilise pas les climatiseurs dans les classes sauf à la zone saharienne où la température est très élevée, mais reste utile dans les bureaux.

3.9 Conclusion

Depuis l'indépendance, l'état Algérien a fait des efforts considérables pour promouvoir le secteur de l'éducation. Mais elle n'a pas atteint l'objectif souhaité ; chaque année un nouveau programme diffère de celui qui la précédait. Cette situation a une incidence négative sur la performance du système éducatif (le secteur en dégradation).

D'après l'étude que nous avons fait, nous constatons que les critères sont pas présents et s'ils existent, ils ne sont pas appliqués, et aussi l'absence totale de contexte énergétique dans ces réformes, qui influe directement sur l'augmentation de la consommation énergétique des bâtiments scolaires. Une politique basée sur l'aspect pédagogique, et n'accordant pas d'importance à la qualité des bâtiments scolaires, malgré l'influence de celle-ci sur le rendement éducative, cependant la majorité des établissements scolaires sont construits pour répondre au besoin démographique, sans tenir compte du contexte énergétique, soit pendant la conception (non respecte des normes et des caractéristiques des zones climatiques) et aussi pendant la réalisation (le choix des matériaux le plus performants, et l'exécution).

Chapitre 4 : Etude des exemples

« Élèves de la génération Internet peuvent transformer n'importe quel espace hors de la salle de classe en un espace informel d'apprentissage » [MAZALTO, 2007].

4.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est de recenser les nouvelles techniques de réhabilitation énergétique qui est adapté au bâtiment scolaire existant, en matière de choix de technique, des matériaux et de la performance des équipements utilisées. À travers une étude d'un exemple internationale, situé en France : le Lycée polyvalent Jean Baptiste Colbert, établissement Public de Lorient en Bretagne.

4.2 Exemple international: Réhabilitation du Lycée polyvalent Jean Baptiste Colbert, établissement Public de Lorient (56). Bretagne – France.

4.2.1 Présentation du projet : Le lycée est un établissement d'enseignement secondaire (générale, technologique et professionnel) et supérieur (BTS), il s'étend sur près de 7,7ha pour une surface de plancher de 35000m², accueillent 1343 élèves, dont 890 demi-pensionnaires. Il est composé de trois blocs (A, B, C) de R+3.



*Figure 4.1 : vue sur le lycée.
Source : (Lycée Colbert l'orient, 2019).*

4.2.2 Fiche technique :

- Architecte : Georges Tourry.
- L'Année de construction : la période d'après-guerre 1959.

4.2.3 Étude architecturale :

4.2.3.1 Situation géographique : le lycée se situe au nord-ouest de la France à

La partie ouest de la ville de Lorient, dans le département Morbihan (56). 117 boulevard Léon Blum.

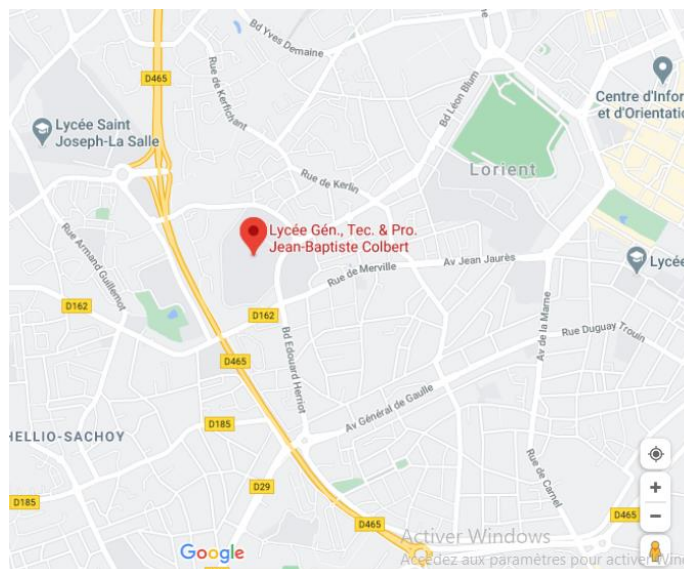
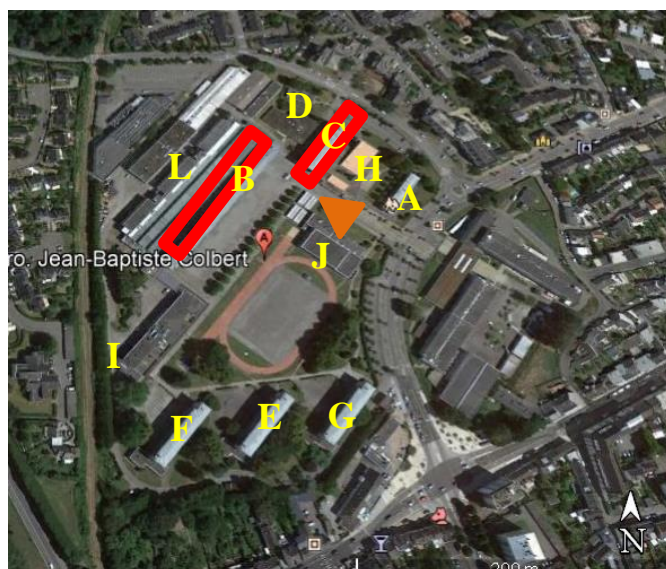


Figure 4.2: situation géographique du lycée.

Source : Google maps, 2020.

4.2.3.2 Limitée et accessibilité : le Lycée est situé dans un quartier résidentiel, il est desservi par 14 lignes de bus différentes, urbaines et périurbaines. Il fait face à un autre lycée (Anthracite architecture 2.0, 2015).



À : B : C : les classes

D : logement de fonction

J : le GRETA et l'infirmerie.

H : l'administration incluant un amphithéâtre

E, F, G : internats

I : réfectoire

L : ateliers

Figure 4.3: environnement de lycée.

Source : (Google earth ,2020) traité par l'auteur.

4.2.3.3 Orientation et ensoleillement : Les bâtiments sont orientés vers ;

Nord-ouest et sud- est.

- ✓ Les bâtiments B et C sont bien ensoleillés, surtout la façade sud-est et sud.
- ✓ Le positionnement des bâtiments a évité l'exposition directe aux vents dominants de sud- ouest en hiver.

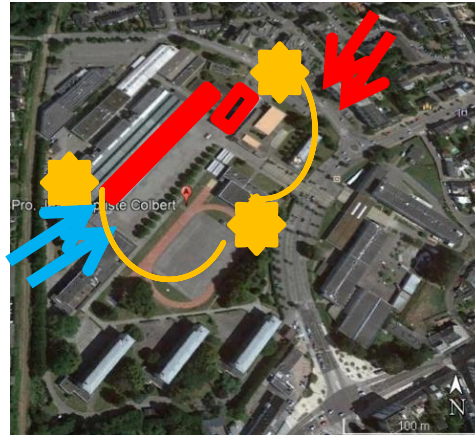


Figure 4.4 orientation et ensoleillement des bâtiments.

Source : (Google earth ,2020) traité par l'auteur.

4.2.3.4 Système constructif et les matériaux de construction : les bâtiments

représentent l'architecture des années 50, se distinguant par leurs linéarités (les classes sont desservies par un couloir latéral), les façades au calepinage régulières. On note la trame de 1,75 m rythme les façades, 5 trames équivalentes à une classe de 40 élèves. Le bâtiment principal (B) est l'une des barres scolaires les plus longues de la région(300m) (Goyet, 2018) ,le poteau-poutre c'est le système constructif ,panneau de remplissage béton en allèges, et menuiseries simples avec vitrage peu étanche.

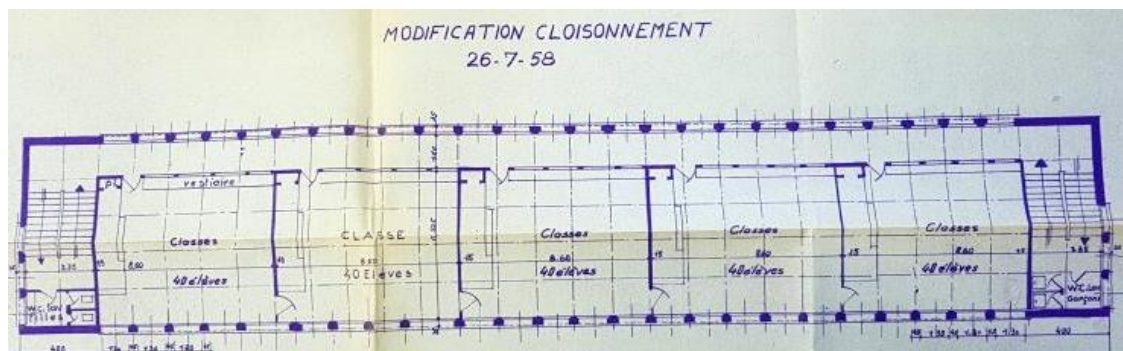


Figure 4.5:plan étage bâtiment (B).

Source :(Goyet, 2018).

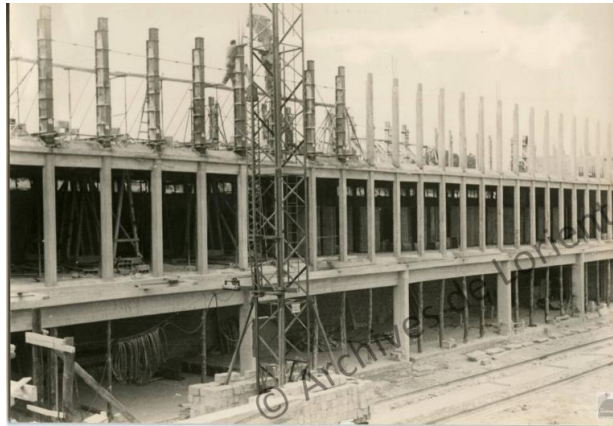


Figure 4.6 : système constructif.

Source :(Goyet, 2018).

4.2.4 réhabilitations énergétique : C'est une opération d'ITE avec remplacement des menuiseries et la mise en place d'une ventilation simple flux, intervention concerne deux bâtiments (C et B). Le délai d'exécution est de 10 mois (janvier 2015- octobre 2015), la durée des travaux en façade est estimée à 9 mois pour une surface de 6352m² SHON. Plus huit intervenants pour réaliser cette opération, avec un cout de 4 930 000 € TTC.

4.2.4.1 enjeux de réhabilitation :

Tableau 4.1 les enjeux de réhabilitation énergétique.

Source :(Objectif réhabilitation, 2017).

objectifs	Contraintes
<ul style="list-style-type: none"> – Requalifier l'extérieur du bâtiment – Diminuer les consommations énergétiques – Réaliser une opération à forte valeur environnementale 	<ul style="list-style-type: none"> Gérer la présence d'amiante – Réaliser les travaux sur une durée limitée (été, congés, scolaires) – S'adapter à la structure du bâtiment – Intervenir sur un site occupé – Problème d'accessibilité des engins de levage

4.2.4.2 Technique de réhabilitation : Utiliser le système de la préfabrication comme bases de l'esthétique générale, et la monochromie pour renforcer la lecture de la forme urbaine (ligne noire dans le site) des bâtiments dans leur environnement (RDVPBD, 2017).

Tableau 4.2: technique de réhabilitation de lycée

Source : (Objectif réhabilitation, 2017, DELTA, 2016) (Le Télégramme, 2015) (Anthracite, 2016), (Richard, 2019), (RDVPBD, 2017), (Anthracite architecture 2.0, 2015).

Réhabilitation thermique de l'enveloppe des bâtiments (B et C)	
Isolation par l'extérieure	
Avant les travaux	Après les travaux
<p>Mur extérieur : poteau pour béton, panneaux de remplissage béton en allèges.</p>  <p style="text-align: right; font-size: small;">16.10.2008</p> <p><i>Figure 4.7: bâtiment B avant la réhabilitation</i></p>  <p><i>Figure 4.8: bâtiment C avant réhabilitation</i></p>	<p>Isolation des murs extérieurs : isolation extérieure en caissons préfabriqués à ossature bois. Les 150 caissons de 8 m sur 4, remplissent trois fonctions : isolation des murs extérieurs, étanchéité à l'air de la façade, support de menuiseries performantes (650 fenêtres des deux bâtiments), ces caissons faits au moyen d'épicéa² de Sitka breton, l'isolant d'épaisseur de 40cm. Chaque caisson comprend ;</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ deux épaisseurs d'isolant en laine de verre de 120mm. ✓ Un pare-pluie étanche à l'air : de passer d'une consommation énergétique annuelle de 179 kW/m²/an à 60 kW/m²/an. – Une fois posés, les caissons sont recouverts d'un bardage métallique et de caillebotis à lames horizontales qui limitent l'entrée du rayonnement solaire. <ul style="list-style-type: none"> – La façade est ensuite peinte d'un bois noir satiné qui donne de la modernité à l'ensemble (<i>plus de détail</i>

² L'épicéa de Sitka : est une espèce de bois en Bretagne, elle est utilisée en construction, mais aussi en lutherie, ses qualités acoustiques et esthétiques étant appréciées pour réaliser en particulier les tables d'harmonies des guitares.



Figure 4.9: les travaux de réhabilitation.

sur ITE voir l'annexe 01).



Figure 4.10: fixation des caissons.



Figure 4.11: bardage.

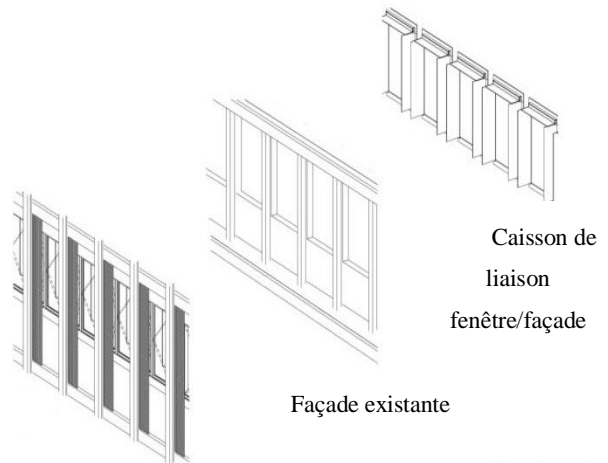


Figure 4.12: la mie en place de bardage.



Figure 4.13: façade du bâtiment B après les travaux.

- ✓ **Le rez-de-chaussée** : traite en bois (il agit comme un socle) en prise directe avec la cour (RDC récréative).



Figure 4.14 : traitement de RDC en bois

Planchers bas : $u_{initial} = 1,47 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$

Toiture : $u_{initial} = 4,67 \text{ w/m}^2 \cdot \text{k}$

Planchers bas : $\text{Projet} = 0,42 \text{ W/tm}^2\text{K}$ (Isolation des préaux).

Menuiseries : menuiseries simple vitrage peu étanche.



Menuiseries : mise en œuvre de 667 menuises mixte bois et aluminium. (Vitrée et bardée), elles sont en bois à l'intérieur et en aluminium laqué noir à l'extérieur.

- ✓ **Au sud** : les vitrages ont un facteur solaire de 0,40 (transmission de 40 % du rayonnement thermique).
- ✓ **Au nord** : ce sont des vitrages clairs (facteur solaire de 0,60). Tous deux limitent fortement les déperditions thermiques (U_g de 1,0 et 1,1 $\text{W/m}^2\text{K}$).

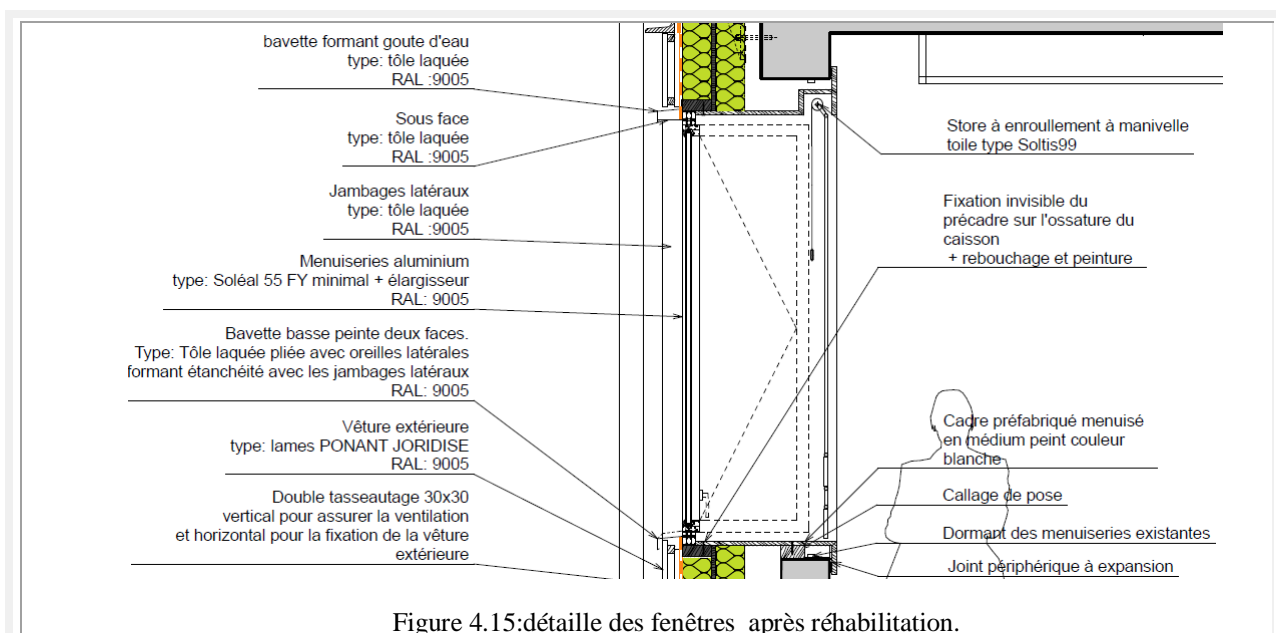


Figure 4.15:détaille des fenêtres après réhabilitation.

Isolation par l'intérieure



Figure 4.16: anciennes menuiseries.



Figure 4.17:Habillage intérieur en médium

Mise en place de la finition intérieure (salle par salle). Habillages intérieurs en panneau MDF³ écologique (15 mm) à base de liant sans formaldéhyde, ayant une émission de formaldéhyde comparable à celle du bois naturel, ils sont pré peint et reçoivent une couche de finition de peinture blanche en

³ Le MDF est un panneau de fibres de bois collées et pressées qui se travaille aussi facilement que le bois massif. Le panneau MDF Pure est principalement utilisé en décoration intérieure et se peint ou se laque très facilement.

phase aqueuse.

Chauffage

Chauffage : chaufferie gaz radiateurs à eau chaude /Cep Init : 161 et 178 kWh / (m² an).Consommations conventionnelles de chauffage.

Chauffage : chaufferie gaz, radiateurs à eau chaude. Ajout de robinets thermostatiques.

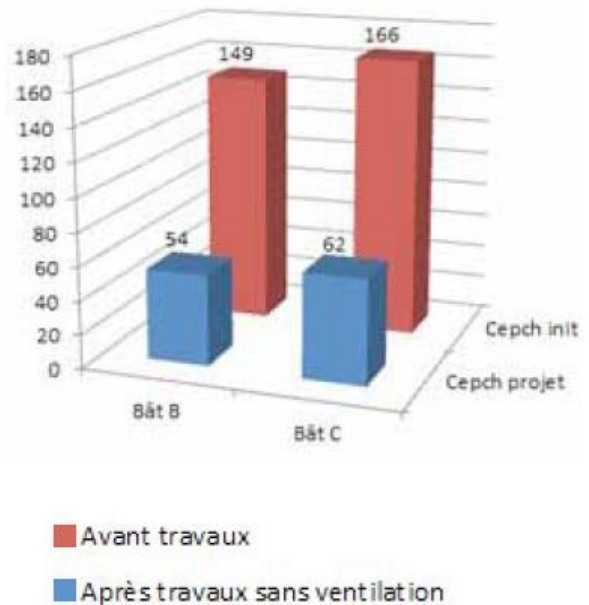


Figure 4.18: consommation de chauffage a près réhabilitation.

VMC simple flux.

VMC : naturel par les défauts d'étanchéité des menuiseries et ouverture des fenêtres.

Mise en œuvre d'une ventilation simple flux, en termes de concentration de CO₂ dans les classes on est passé d'une concentration de près de 500 ppm à un peu plus de 100 ppm avec ventilation associée.

4.2.5 Synthèse :

- Éco matériaux : Construction en caissons bois (épicéa) dont bois breton.
- Concentrations simulées de CO₂ en intérieur : 1468 ppm.

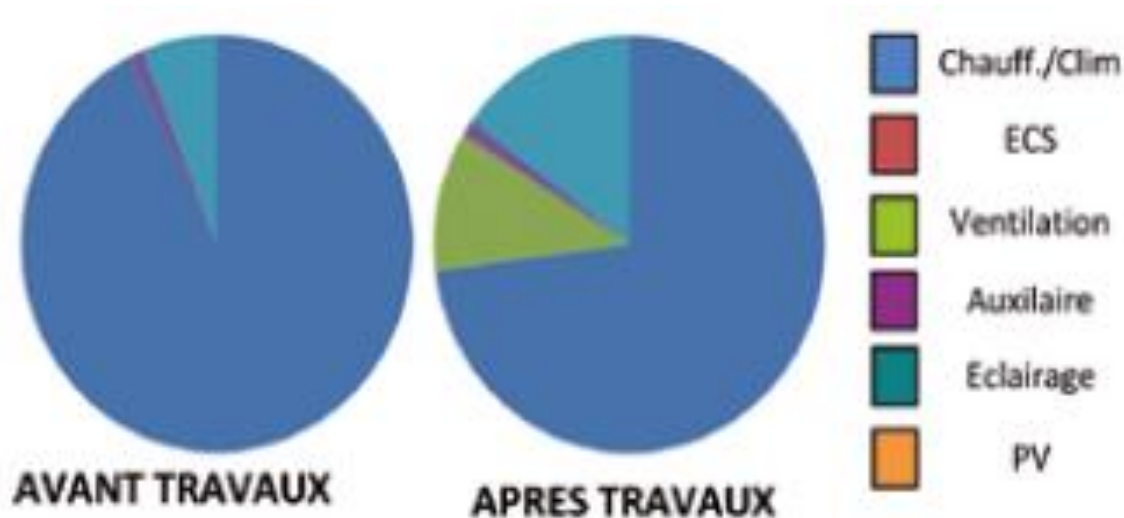


Figure 4.19: la consommation énergétique.

Source : (Objectif réhabilitation, 2017).

- **La performance thermique : E= 74kwh/m²/an.** : Cette réhabilitation tant esthétique qu'énergétique aura valu le Prix Architecture Bretagne (PAB) dans la catégorie "Réhabiliter un équipement" à l'agence anthracite Architecture 2.0.
- Le lycée a fait peau neuve sans rien retirer de son ancienne façade.
- Le gain d'énergie grâce à cette mue est estimé à plus de 56 % (DELTA, 2016).
- Les performances énergétiques imposent un coefficient de consommations.

conventionnelles Cep < 90 kWhEP/m²/an — soit la **classe B** de l'étiquetage énergétique des bâtiments (Anthracite, 2016).

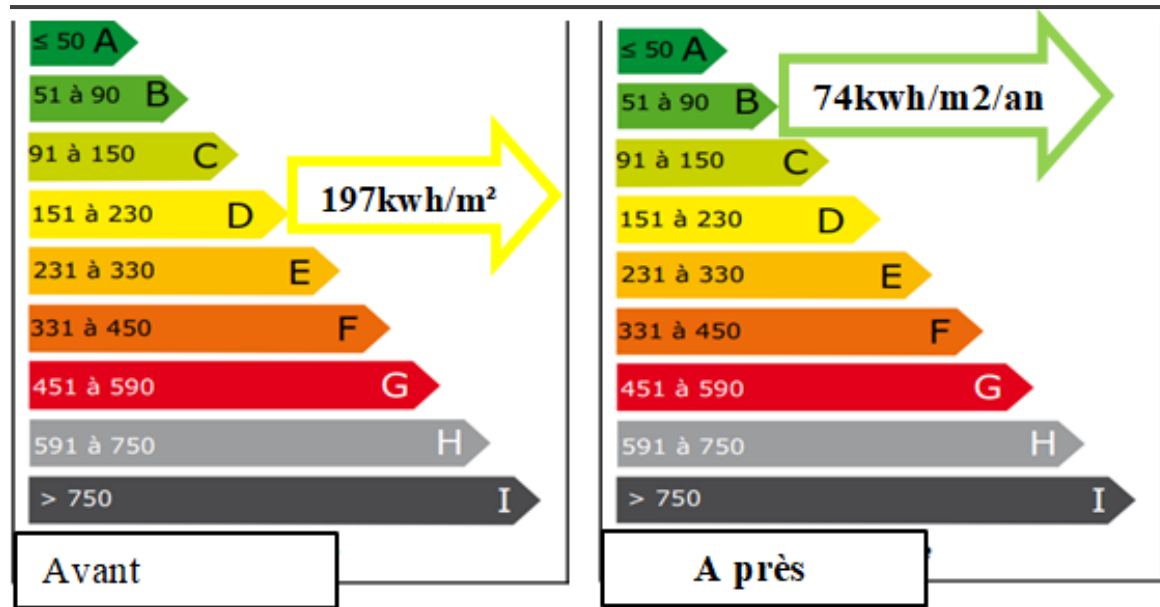


Figure 4.20: étiquette énergétique de lycée avant et après la réhabilitation.

Source : (Cadiergues, 2010) traité par l'auteur.

4.3 Conclusion

Les bâtiments scolaires consomment une partie de l'énergie non négligeable, la réhabilitation énergétique assure le confort thermique dans les classes, crée une ambiance favorable qui convient aux besoins des occupants et réduit en même temps les besoins énergétiques. À travers plusieurs techniques (ITE, ITI, amélioration de la performance des équipements énergétique ; chauffage, climatisation...).

D'après l'étude de ce lycée, nous avons conclu que celui-ci est un bon exemple de la réhabilitation énergétique, les deux techniques de réhabilitation au niveau de l'enveloppe (ITE par des panneaux préfabriqués et l'installation de VMC simple flux) ont réduit la consommation énergétique plus de la moitié dans une courte durée, et en même temps préserver l'identité architecturale du projet.

Chapitre 5 : Cas d'étude – lycée Zine Mohamed ben Rabah.

«Quand on affronte les réalités de demain avec les représentations mentales et les organisations d'hier, on a les drames d'aujourd'hui»

Hervé Sérieyx.

5.1 Introduction.

Dans les chapitres précédents nous avons essayé de sélectionner les différentes techniques qui contribuent à améliorer les besoins énergétiques dans les bâtiments existants, et en particulier dans les établissements scolaires. Dans ce chapitre nous proposons l'application des techniques de la réhabilitation énergétique (simulation par le logiciel CTBAT) pour confirmer l'hypothèse de recherche (l'influence de la performance du bâtiment sur les besoins d'énergie de chauffage, et climatisation) en même temps assurant le confort thermique.

Nous prenons comme cas d'étude, un établissement d'enseignement secondaire (lycée), qui est situé dans la ville de Jijel.

5.2 Présentation du projet : le lycée Zine Mohamed Ben Rabah est un établissement d'enseignement secondaire. Il s'étend sur une superficie totale de 1648.04m² et s'élève sur trois niveaux. Les principaux composants sont : Bloc d'enseignement et administration, salle d'éducation physique et sportive, logement de fonction, terrain de sports.



Figure 5 .1: vue sur le lycée.

Source : (l'auteur, 2020).

5.3 Fiche technique :

- **Nom** : lycée 1000 places avec salle de sport à kaous.
- **Maitre d'ouvrage** : direction locale des équipements publics. JIJEL.

- **Maitre d'œuvre** : BET LARABA & BOUHOUHOU.
- **L'entreprise de réalisation** : ADOUANI AMMAR.
- **Surface bâtie** : 1648.04m².

5.4 Étude architecturale:

5.4.1 Situation et limite : le projet lycée Zine Mohamed ben Rabah est situé à la commune de kaous à l'est de la wilaya de Jijel. Il est facilement accessible par la RN77.

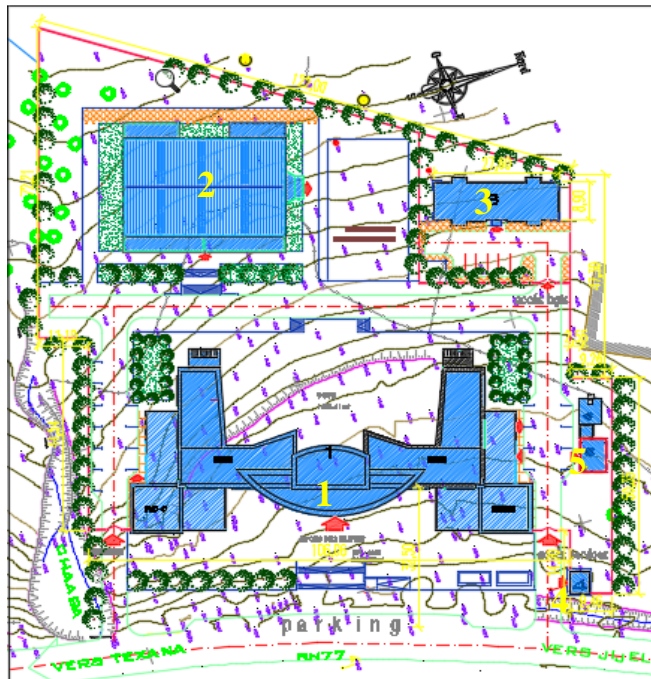


Figure 5.2 :la situation géographique

Source : Google maps, 2020

5.4.2 Limites et accessibilité : le lycée est limité par :

- RN77 a l'est.
- Terrain vierge à l'ouest et sud.
- l'habitat individuel au nord.



- 1 : bloc d'enseignement
+administratif.
- 2 : éducatif physique et sportive.
- 3 : logement de fonction.
- 4 : poste transfo.
- 5 : chaufferie.

Figure 5.3:plan de masse.

Source :(BET, 2007).

5.4.3 Orientation et ensoleillement du bâtiment : Le lycée a quatre façades :

- l'une principale orientée vers l'est.
- L'autre latérale orientée vers l'ouest.
- Et les deux autres orientées vers le nord et le sud.

Le bâtiment est bien ensoleillé, le positionnement du bâtiment a évité l'exposition directe aux vents dominants de nord- est en hiver.

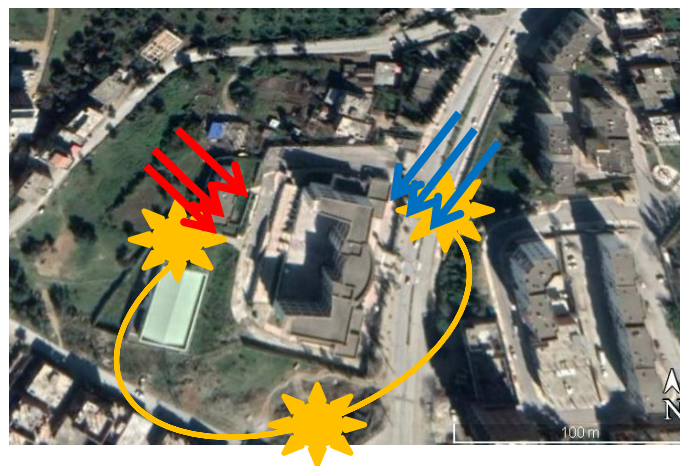


Figure 5.4 ensoleillement et vent dominant de lycée.

Source : (Google earth ,2020) traité par l'auteur.

5.4.4 Système constructif et matériaux de construction : le poteau-poutre c'est le système constructif du lycée, les matériaux qui constituent l'enveloppe du bâtiment sont :

- Mur doubles parois en brique creuse avec l'âme d'air de 5cm d'épaisseur revêtus d'un enduit mixte en intérieur, et enduit en ciment coté extérieur.
- Vitrage simple de 6mm d'épaisseur.
- Plancher en corps creux (hourdis) de 25cm d'épaisseur.
- Les cloisons en brique creuse de 15 et 10 cm (*Pus de détail sur la structure voir l'annexe02*).

5.5 Bilan énergétique de l'état actuel :

D'après l'analyse des factures de GAZ et d'électricité de l'année 2019, la consommation énergétique est présentée dans la figure (66).

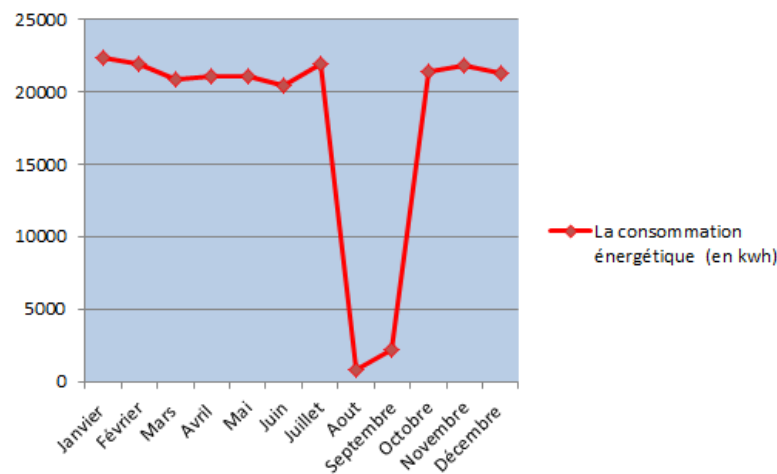


Figure 5.5: la consommation énergétique de 2019 du lycée Zine Mohamed.

Source : (l'auteur, 2020).

Nous remarquons que de mois janvier à juin la consommation d'énergie est presque de 25000 KW. Après elle descend au mois de juillet, août et septembre, elle atteint environ 100 kw (vacances d'été), et elle remonte en octobre, novembre et décembre Donc : $E = 165.47 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$.

5.6 Technique de réhabilitation (Scénario proposé) : Dans ce travail nous nous interrogeons sur la quantité énergétique consommée par ce lycée afin d'évaluer le confort thermique et la consommation d'énergie avant et après la réhabilitation énergétique. L'étude est faite sur une classe de 2^{ème} étage, elle est la plus défavorable (orientation NE), exposé sur les trois façades aux conditions climatiques.

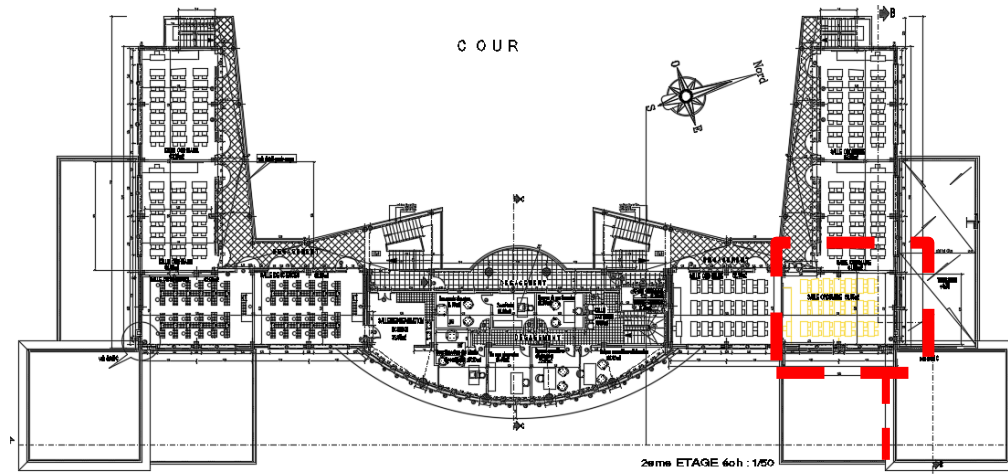


Figure 5.6: le positionnement de l'échantillon d'étude

Source : BET,2007

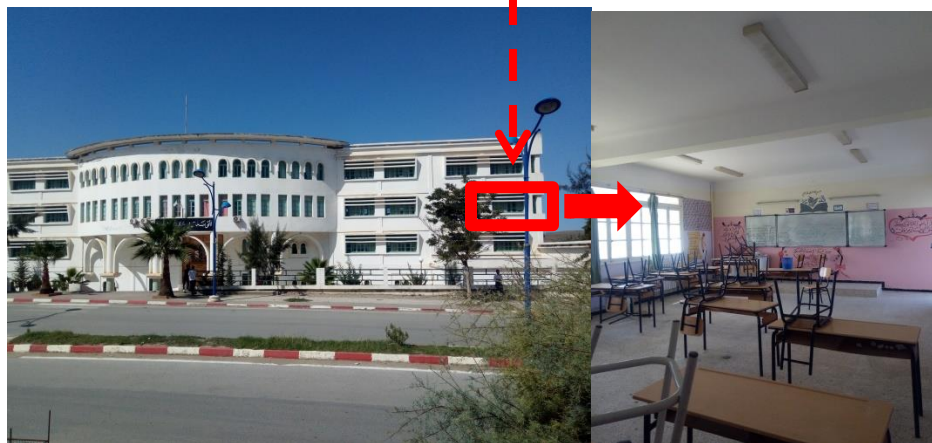


Figure 5.7:vue extérieure et intérieure de la classe.

Source : (l'auteur,2020).

Pour réduire les déperditions thermiques, nous avons intervenus sur les éléments de l'enveloppe par la proposition des quatre scénarios :

5.6.1 Scénario 01 :

- ✓ **Parois verticales** : isolations des parois par l'extérieur ; collage de panneaux de polystyrène expansé de 15 cm revêtus d'un enduit en ciment extérieur de 2 cm.

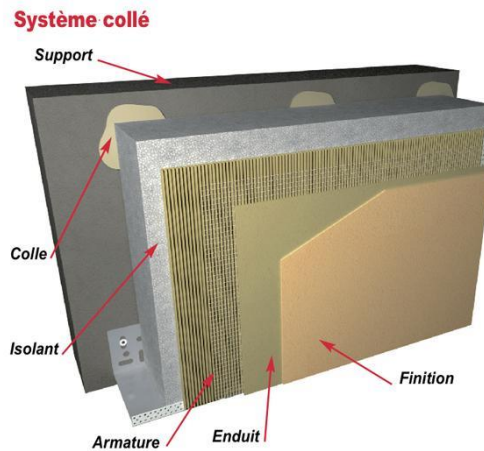


Figure 5.8 : isolation par l'extérieur proposé.
Source : (Batirama, 2014).

- ✓ **Isolation par l'intérieur** : isolation de mur en béton par la mousse polyuréthane de 14cm.
- ✓ **Type de vitrage** : remplacement des fenêtres en simple vitrage par des fenêtres en doubles vitrages de 6mm avec une lame d'air de 12mm (6/12/6).
- ✓ **Faux-plafond** : hauteur 3.00 m.

5.6.2 Scénario 02 : c'est le scénario(01) on ajoute la mousse polyuréthane dans la lame d'aire.

5.6.3 Scénario 03 : C'est le scénario (02), on Change l'épaisseur de l'isolant extérieur (Polystyrène expansé) ; 40 cm et le type de vitrage : 8/14/10

5.6.4 Scenario04 : C'est le scénario (03) nous remplaçons l'isolant extérieur . (polystyrène expansé) par la Laine de roche d'épaisseur 20 cm. Isolation par l'intérieur : pose une couche de mousse polyuréthane de 10cm.

5.7 Simulation par le logiciel CT-BAT.

5.7.1 Application CTBAT : Est un programme de calcul thermique pour une Construction éco-énergétique en Algérie. Il a mis point par l'APRUE, en collaboration avec l'agence allemande pour la coopération et le développement (giz) pour objectif de vérifier la conformité des projets de construction existants, aux normes algériennes décrites dans les DTRC3-2et C3-4.



Figure 5.9: l'interface de CTBAT.

Source : (l'auteur, 2020).

5.7.2 La première étape : concerne le calcul des déperditions thermiques de l'enveloppe de référence, afin de vérifier s'il est conforme à la réglementation thermique algérienne(DTR).

5.7.3 La deuxième étape : nous appliquons des modifications sur l'enveloppe du lycée, et lançons une nouvelle simulation sur CTBAT pour voir leurs impacts sur l'efficacité énergétique du lycée (l'influence sur DT, AOP et AV).

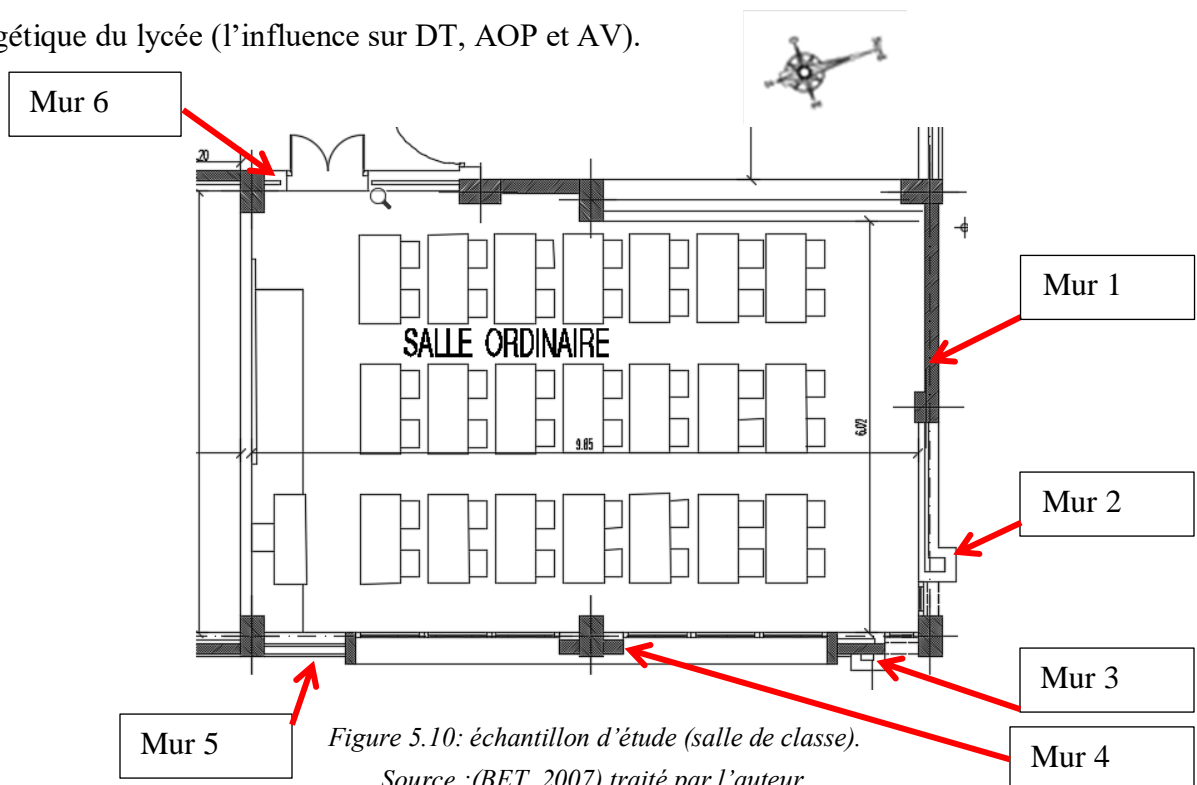


Figure 5.10: échantillon d'étude (salle de classe).

Source : (BET, 2007) traité par l'auteur.

5.8 Interprétation des résultats de la simulation : Sur la base des résultats obtenus, nous avons testé l'effet des éléments constituant l'enveloppe avant et après la réhabilitation sur la température de l'ambiance intérieure d'un côté, et les besoins énergétiques de chauffage, de climatisation et d'éclairage d'un autre côté.

5.8.1 Avant réhabilitation : Le résultat de référence montre que le bâtiment est non conforme aux normes de la réglementation thermique algérienne. Avec une consommation de : $E= 291.8\text{kwh/m}^2.\text{an}$ (le détail de calcul voir l'annexe n 3).

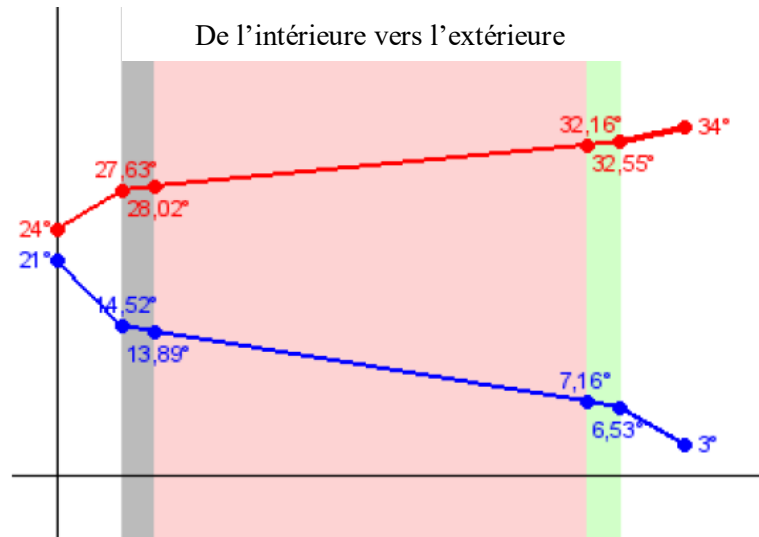


Figure 5.11: Profil de température (mur 1 de l'état actuel).
Source : (l'auteur, 2020).

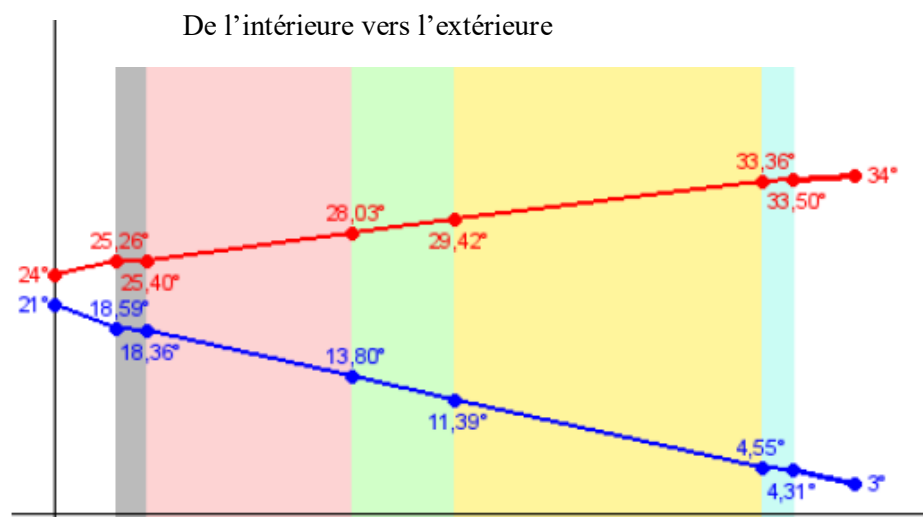


Figure 5.12: Profil de température de mur 6 (l'état actuel).
Source : (l'auteur, 2020).

De ces deux figures (fig5.11 et fig 5.12) Nous remarquons, la variation de température est linéaire dans l'épaisseur des matériaux considérés. Donc la pente dépend du caractéristique de chaque matériaux (conductivité thermique) .Plus la conductivité thermique sera faible plus la pente sera forte.

5.8.2 Après réhabilitation : Le résultat montre que le bâtiment est devenu conforme aux normes de la réglementation thermique algérienne DTRC3-2 et C3-4.

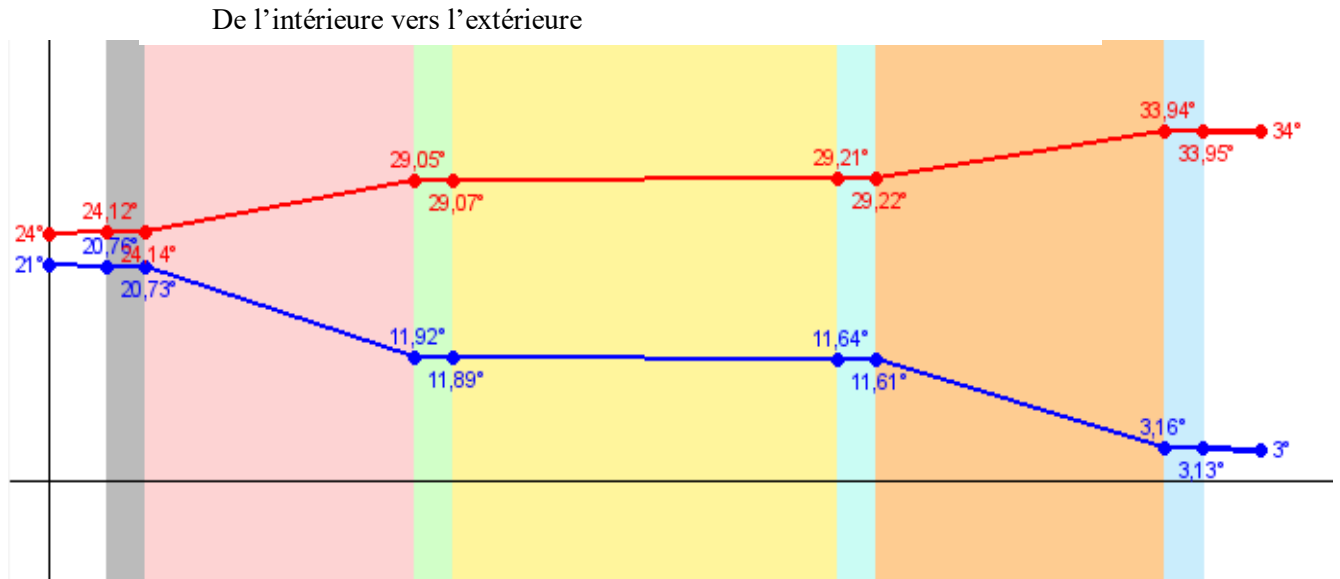


Figure 5.13: Profil de température de mur 01(scénario1).

Source : (l'auteur, 2020).

De la figure (fig5.13) nous remarquons que la variation de la température est linéaire dans l'épaisseur du chaque couche, mais la pente de la ligne varie d'une couche a une autre.et cela résulte de la différence de la conductivité thermique de chaque matériau (tableaux5.1), plus la conductivité thermique est haute plus la pente sera faible, surtout dans les isolants qui freinent la déperdition de la chaleur provenant de l'intérieur en hiver, et vice versa en été.

Tableau 5.1: Conductivité et résistance thermiques de mur1
(composition de l'extérieur vers l'intérieur) scénario1.

Source : (l'auteur, 2020).

Matériau	Conductivité	Épaisseur	Résistance
Mortier de ciment	1.4 W/m.°C	0.02 m	0.01m ² .°C/W
Polystyrène expansé	0.04W/m.°C	0.15 m	3.94m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40 W/m.°C	0.02m	0.01 m ² .°C/W
Béton armé standard	1.75 W/m.°C	0.20m	0.01 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Mousse de polyuréthane	0.03W/m.°C	0.14 m	4.11 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Total		0.57 m	8.24m ² .°C/W

De l'intérieure vers l'extérieure

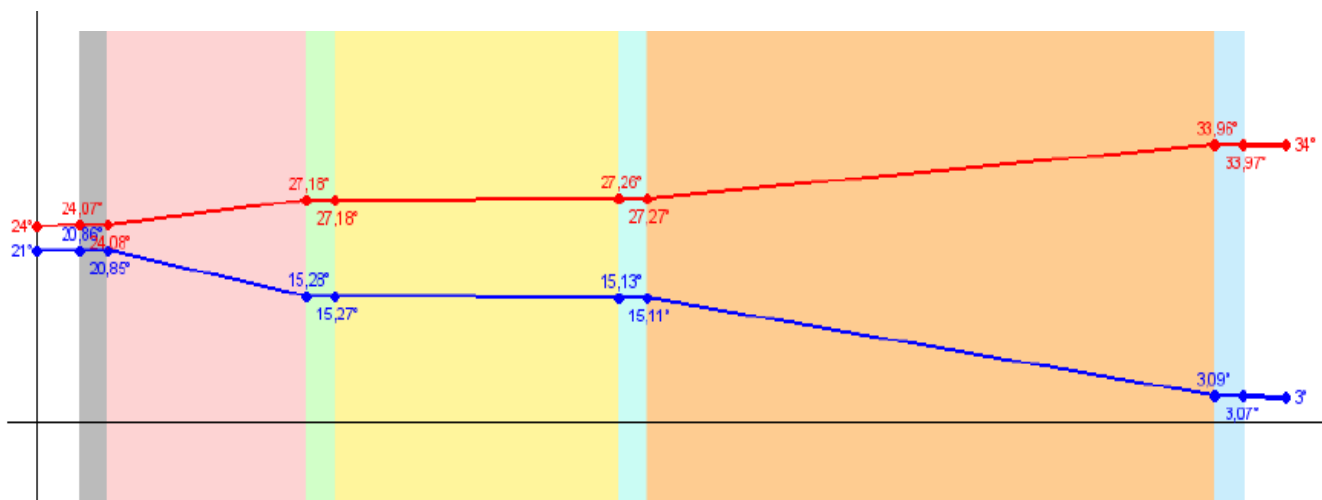


Figure 5.14: Profil de température de mur 01(scénario4).

Source : (l'auteure, 2020).

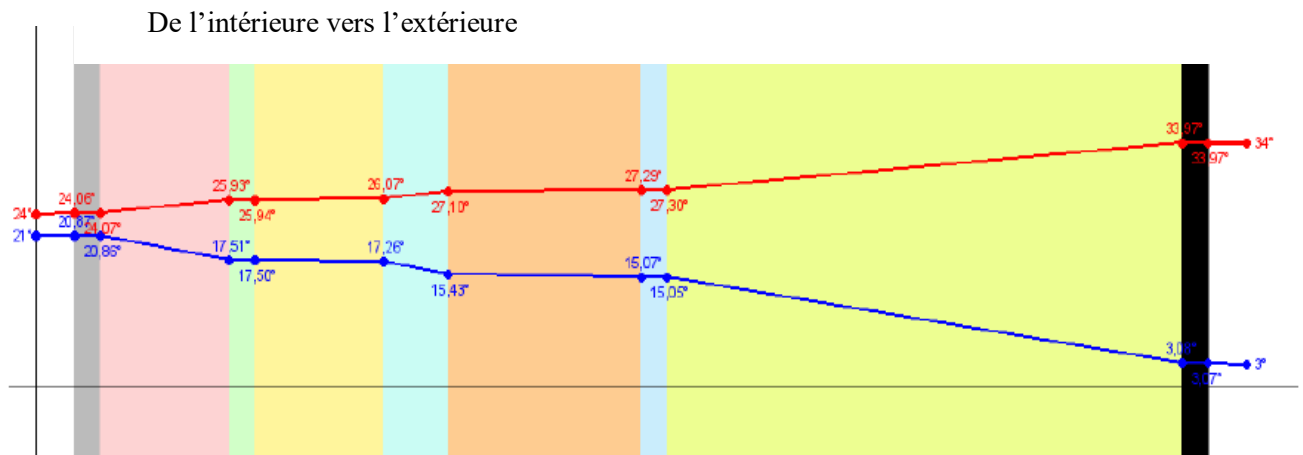


Figure 5.15: Profil de température de mur 06(scénario4).

Source : (l'auteur, 2020).

De ces deux figures (fig5.14, fig5.15) nous remarquons que la variation de la température est linéaire dans l'épaisseur du chaque couche, mais la pente de la ligne varie d'une couche a une autre. et cela résulte de la différence de la conductivité thermique de chaque matériau (tableaux 5.2 et tableau 5.3) , plus la conductivité thermique est haute plus la pente sera faible, surtout dans les isolants qui freinent la déperdition de la chaleur provenant de l'intérieur en hiver, et vice versa en été.

Tableau 5.2. : Conductivité et résistance thermiques de mur1
(composition de l'extérieur vers l'intérieur) scénario 4.

Source : (l'auteur 2020).

Matériau	Conductivité	Épaisseur	Résistance
Mortier de ciment	1.4 W/m.°C	0.02 m	0.01m ² .°C/W
Laines de roche	0.04W/m.°C	0.20 m	5.26m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40 W/m.°C	0.02m	0.01 m ² .°C/W
Béton armé standard	2.30 W/m.°C	0.20m	0.09 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Mousse de polyuréthane	0.03W/m.°C	0.14 m	4.52 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Total		0.62 m	9.54m ² .°C/W

Tableau 5.3: Conductivité et résistance thermiques de mur5
(composition de l'extérieur vers l'intérieur) scénario 4.

Source : (l'auteur 2020).

Matériau	Conductivité	Épaisseur	Résistance
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Laines de roche	0.04W/m.°C	0.20 m	5.26m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Béton armé standard	2.30W/m.°C	0.02 m	0.09 m ² .°C/W
Brique creuse	0.48W/m.°C	0.10 m	0.21 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Mousse de polyuréthane	0.03W/m.°C	0.10 m	3.23 m ² .°C/W
Mortier de ciment	1.40W/m.°C	0.02 m	0.01 m ² .°C/W
Total		0.68 m	8.84 m ² .°C/W

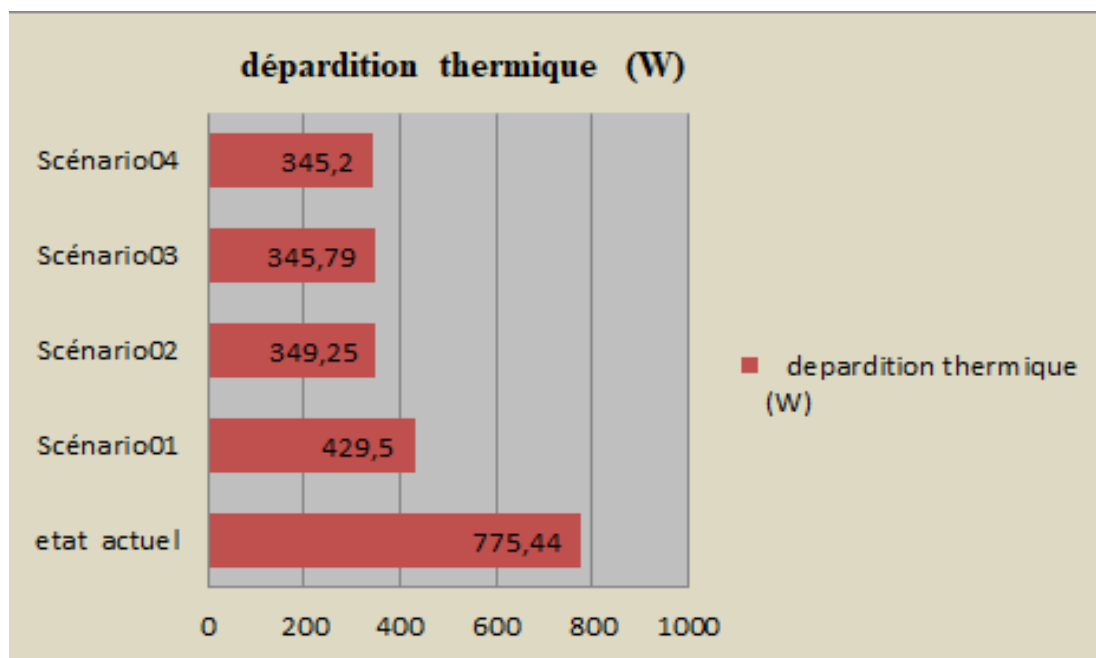


Figure 5.16 : déperdition thermique(DT).
Source : (l'auteur, 2020).

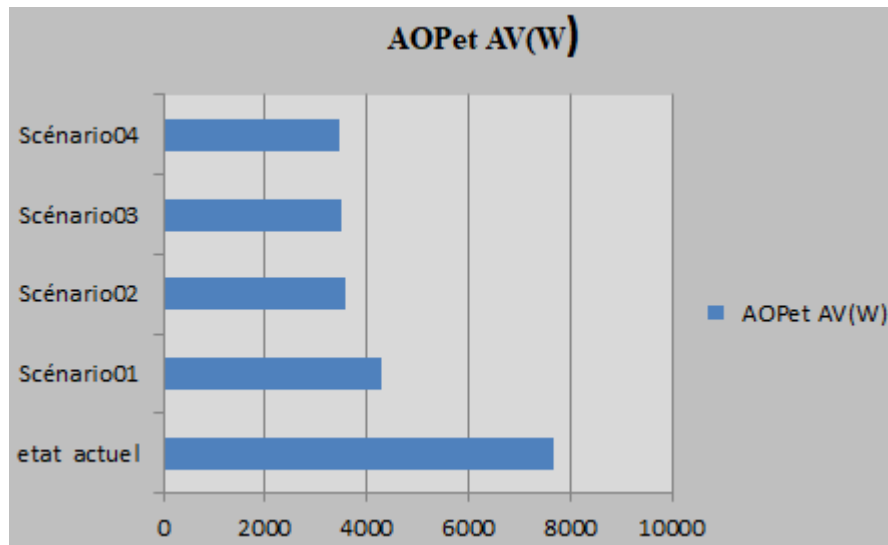


Figure 5.17: les Apports de chaleur à travers les Parois opaques et vitrées.

Source : (l'auteur, 2020).

De ces deux figures (fig5.16 et fig5.17), nous remarquons que les déperditions thermiques, et les apports de chaleur à travers les parois opaques et vitrées (AOP et AV) après réhabilitation sont moindres que celles du cas actuel (avant réhabilitation).

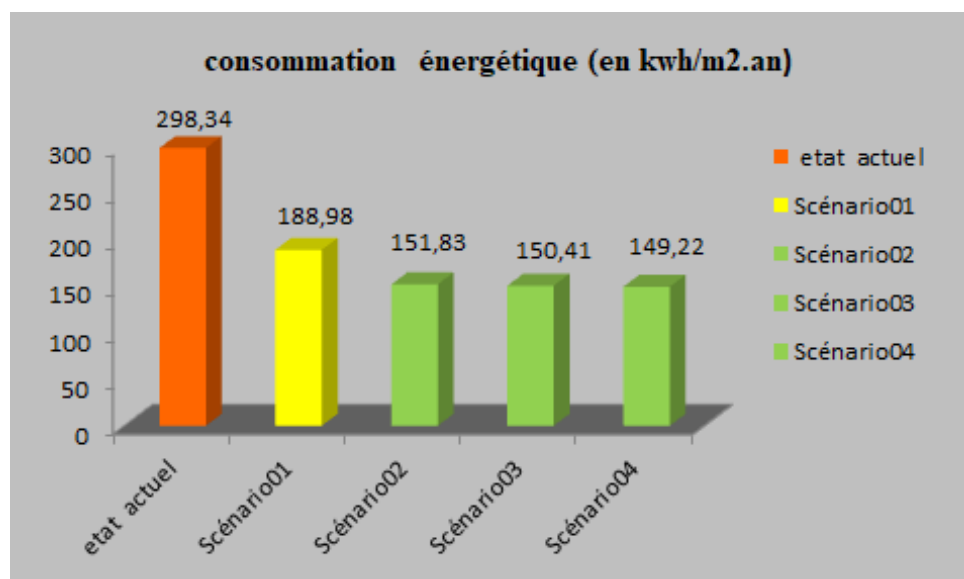


Figure 5.18 : consommation énergétique suivant les scénarios.

Source : (l'auteur, 2020).

De la figure (fig5.18), nous avons constaté que les scénarios proposés permettent de réduire la consommation énergétique. Donc la consommation énergétique après réhabilitation est moins

que celles du cas actuel (avant réhabilitation) surtout dans le scénarios04 (*plus de détail sur le calcul voir l'annexe n 03*).

5.9 Synthèse :

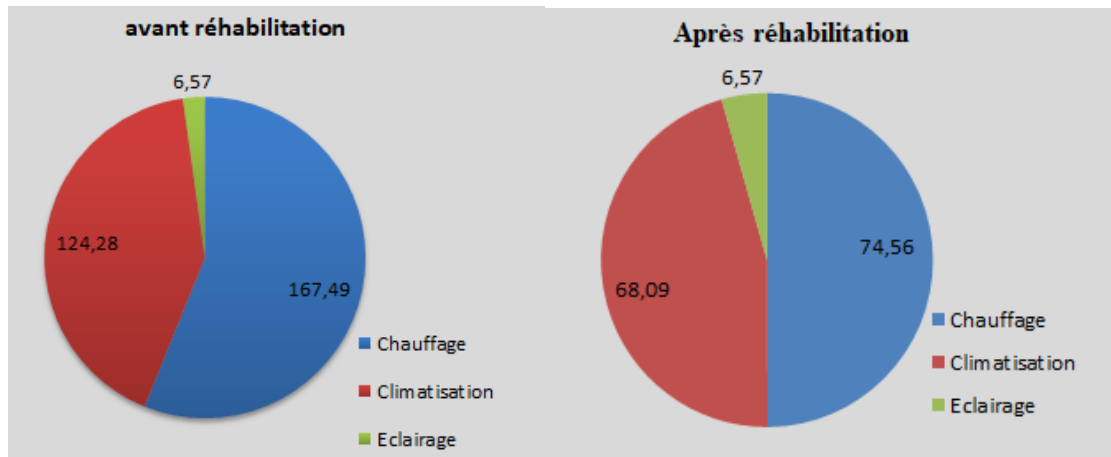


Figure 5.19: la consommation énergétique avant et après les travaux de réhabilitation (scénario04).
Source : (l'auteur.2020).

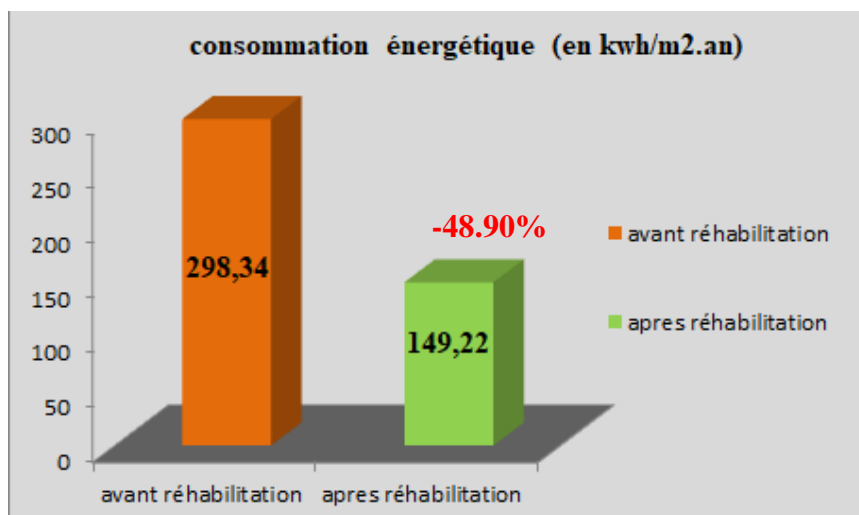


Figure 5.20 : consommation énergétique (scénario04) en : kWh/m2.an.
Source : (l'auteur, 2020).

Nous remarquons que la consommation annuelle du chauffage et de climatisions, après les travaux de réhabilitation constitue presque la moitié (48.90%) des besoins du cas actuel (avant réhabilitation). Donc de 149,11 kWh/m2.an des gains énergétiques.

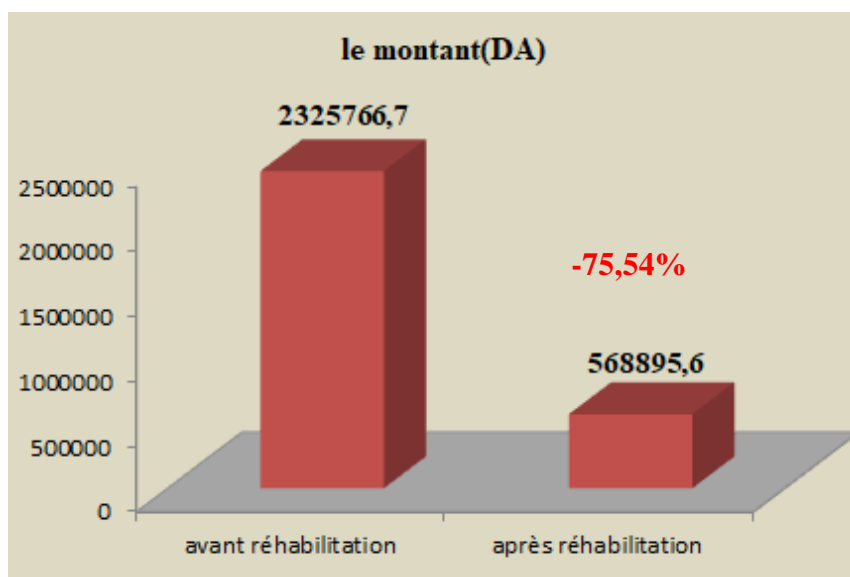


Figure 5.21: le montant de la facture avant et après réhabilitation

Source : (l'auteur, 2020).

Ainsi, nous pouvons économiser un montant de : 1866837,45 DA par an. La performance énergétique du lycée impose un coefficient de consommation conventionnelle $91 < \text{cep} < 150$ kWh/m².an, soit la **classe C** de l'étiquette énergétique des bâtiments.

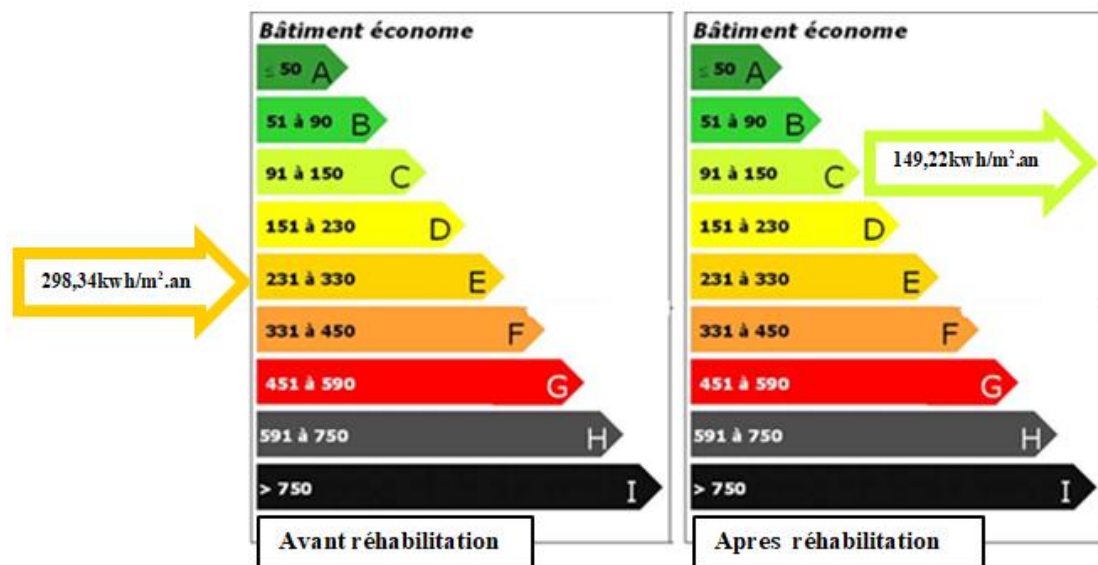


Figure 5.21: étiquette énergétique de lycée avant et après la réhabilitation.

Source : (Cadiergues, 2010) traité par l'auteur.

5.10 Recommandations :

Plusieurs solutions simples, peu coûteuses et plus rentables existent pour améliorer la performance énergétique des bâtiments scolaires existants :

5.10.1 Éclairage : Afin de réduire la consommation d'électricité due à l'éclairage Artificiel :

- ✓ Améliorer la quantité, la distribution et la qualité de la lumière naturelle par l'augmentation du taux de vitrage, qui permet aux gens de voir les objets avec précision, sans faire mal aux yeux et sans besoin d'un éclairage artificiel.
- ✓ Réduire le temps d'éclairage des luminaires.
- ✓ l'adoption des Lampes à basse consommation permet une réduction de la consommation allant jusqu'à 30% par rapport aux lampes classiques. L'installation des détecteurs de présence permet quant à elle une réduction de 25% à 75% selon l'usage du bâtiment esthétique dans les bâtiments (aderre, 2018).
- ✓ Il faut choisir les lampes les plus efficaces en luminosité, mais aussi avec moins de consommation. Le (Tableau 18) présente une comparaison entre différents types de lampes.

Tableau 5.4: Les caractéristiques des différentes lampes

Source :(ADEREE, 2015).

Type de lampe	Puissance (W)	Flux lumineux (lm)	Efficacité lumineuse (lm/W)	Durée de vie (h)
Lampes à incandescence classique	25 -100	200 - 1900	5 - 19	1000
lampes à incandescence halogènes	5 - 500	50 - 100000	10 - 12	2000 - 5000
tubes fluorescents	15 - 58	1300 - 5000	60 - 105	8000 12000
Lampes économiques ou lampes fluo compactes (CFL)- ballast intégré	3 - 23	100 - 6000	35 - 80	6000 -10000
Lampes économiques ou lampes fluocompactes CFL)- ballast externe	5 - 0			8000 - 1600
Diodes électroluminescentes (EL)	0,007 - 15	1,5 - 400	20 - 30	5000 -100000

5.10.2 Chauffage : On peut réduire la consommation de chauffage par :

– L'amélioration de l'enveloppe :

- ✓ Un bon choix du coefficient d'absorption des parois opaques et surtout de la toiture peut offrir des économies d'énergie jusqu'à 13% (Alpuche et al., 2014) et 45% de réduction de degrés heures d'inconfort d'été (Lapisa et al., 2013) ;(Romani, 2015).
- ✓ Le choix des isolants écologique.
- ✓ Les baies non orientées au nord doivent obligatoirement être munies de protections solaires.
- ✓ Utiliser des rideaux ou des stores pour les fenêtres verticales, ils sont installés devant la vitre et ils émettent la chaleur vers l'extérieur.
- ✓ Les fenêtres doivent posséder les performances énergétiques minimales présentées dans le (Tableau 10).

Tableau 5.5: caractéristique des fenêtres et des vitrages.

Source :(Romani, 2015).

Type de menuiserie	U_w^{*4} max en $W/(m^2.K)$	U_g^{**5} max en $W/(m^2.K)$
Menuiserie coulissante	2,6	2
Autre cas	2,3	2

– Chaudière :

- ✓ remplacement d'un système de chauffage par une chaudière performante. Le rendement doit être supérieur à 90 %.
- ✓ L'installation d'une chaudière doit être obligatoirement accompagnée de la mise en place d'un appareil de régulation programmable (Romani, 2015).

5.10.3 Climatisation : pour réduire les besoins en climatisation, il existe plusieurs solutions efficaces :

- ✓ Évaluez la superficie à climatiser afin de déterminer la puissance nécessaire (Hydro quebec, 2020)
- ✓ Consultez l'étiquette avant d'acheter un appareil pour comparer la consommation d'énergie d'un modèle à celle de modèles similaires. Préférez des appareils classés A+++ jusqu'à A sur l'étiquette énergie(QuelleEnergie.fr, 2015).

⁴ * U_w : caractéristique thermique de la fenêtre dans sa globalité.

⁵ ** U_g : caractéristique thermique du vitrage.

- ✓ Vérifiez le rendement énergétique (CEER ou SEER) de l'appareil. Plus le CEER ou le SEER est élevé, plus l'appareil n'est pas efficace (Hydro quebec, 2020).
- ✓ Nettoyez ou remplacez les filtres du climatiseur une fois par année.
- ✓ Quand il fait très chaud, tentez de limiter l'utilisation d'appareils qui dégagent de la chaleur.
- ✓ Évitez au maximum d'utiliser la climatisation. Si vous l'utilisez néanmoins, réglez-la au maximum à 4 ° sous la température extérieure et sans descendre sous les 26 °.
- ✓ Si la climatisation est en marche, n'ouvrez pas les fenêtres. Le système de climatisation perdra en efficacité et consommera encore plus d'énergie(débit d'air suffisant)(ademe, 2017).

5.10.4 Appareillage bureautique : les équipements de bureautique (ordinateurs, télécopieurs, imprimantes et photocopieuses...) constituent la part qui a eu connu une forte croissance de la consommation électrique ces dernières années.

- ✓ L'utilisation des équipements bureautiques performants.
- ✓ Les ordinateurs se mettent en mode veille ou s'éteignent s'ils ne sont pas utilisés.
- ✓ Pour réduire les dépenses d'énergie dues aux moteurs(des appareils), il faut diminuer le temps de fonctionnement (éteindre les équipements inutiles), utiliser des automatismes pour adapter la puissance du moteur à la demande , installer des moteurs à haut rendement (81%-93%) (Krarti Moncef and Marchio, 2016).

5.11 Conclusion

Afin de réduire les besoins énergétiques et d'assurer le confort thermique du lycée, nous avons intervenu sur plusieurs éléments de l'enveloppe à travers plusieurs techniques ; isolation par l'extérieure, isolation par l'intérieur, le double vitrage, faux-plafond, par la proposition de plusieurs scénarios et en même temps en prenant en considération les contraintes du bâtiment existant. Donc nous avons essayé de voir l'impact de ces améliorations sur le comportement thermique de l'enveloppe (la déperdition par transmission, et les apports de chaleur à travers les parois opaques et les parois vitrées), et l'effet de cette amélioration sur les besoins énergétiques de chauffage, climatisation et d'éclairage.

Les résultats présentés dans cette étude montrent que l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment existant a une incidence notable sur la consommation d'énergie de chauffage et de climatisation scolaire.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le parc immobilier scolaire existant en Algérie consomme une partie importante de l'énergie, en conséquence, il est source d'une partie non négligeable d'émission de GES. Cette énergie est l'objet de nombreux usages à savoir l'éclairage, le chauffage et la climatisation, mais avec le développement durable la construction doit être performante, consommant moins d'énergie, en offrant un confort aux usagers. L'amélioration de la performance énergétique du bâti existant par la réhabilitation énergétique est une démarche très importante, et un élément clé de la réponse à cette problématique.

L'objectif principal de ce travail est obtenu par les meilleurs techniques pour un bâtiment existant performant et efficace tant sur le plan énergétique (par la réduction de consommation énergétique), économique et environnemental.

La simulation à l'aide du logiciel de calcul thermique CTBAT est une approche très importante, car elle permet de constater l'influence des éléments rétablie sur les déperditions thermiques de l'enveloppe d'un côté, et sur le besoin du chauffage et climatisation de l'autre cote. De même de pouvoir opter pour les meilleures techniques (solutions) qui permettront l'amélioration des performances thermiques de l'enveloppe et en même temps la réduction des besoins énergétiques. La réhabilitation énergétique des bâtiments est un composant de la transition énergétique et un moyen pour lutter contre le réchauffement climatique.

Cette étude a démontré que des techniques de réhabilitation simple et efficace, permettent de réduire la consommation énergétique du bâti existant de manière considérable. C'est pourquoi l'Algérie doit surmonter cette situation ambiguë en mettant en œuvre des programmes de réhabilitation énergétiques bien étudiés afin de parvenir à un bon compromis entre le confort thermique et les besoins énergétiques.

Références bibliographiques :

- ADEME 2008a. Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique. *Habitat individuel* 5614.
- ADEME 2008b. Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique.
- ADEME. 2017. *La ventilation et la climatisation* [Online]. Available: www.ademe.fr [Accessed 22/08/2020].
- ADEREE 2015. Manuel technique de l'éclairage. *Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique*.
- ADERRE 2018. Manuel technique de l'éclairage. *Agence Nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique*, 6-48.
- ADVIZE. 2019. *Audit énergétique* [Online]. Available: www.advizeo.io [Accessed 30/3/2020].
- AFE 2014. La transition éclairagiste, une chance pour la France. *afe Échangeons la lumière*, 1-2.
- AGENCE LOCALE DE L'ÉNERGIE ET DU CLIMAT DE L'EURE 2016. Bâti ancien : les clés pour réussir sa rénovation énergétique.
- ALGÉRIE PRESSE SERVICE. 2018. *27% de la consommation énergétique proviendra à l'horizon 2030 des énergies renouvelables* [Online]. Available: <http://www.aps.dz/> [Accessed 1/6/2020].
- ANTHRACITE. 2016. *Réhabilitation thermique / Lycée Colbert – Lorient (56)* [Online]. Available: <http://anthracite-architecture.com/projects/rehabilitation-thermique-en-site-occupe-colbert-lorient-56/> [Accessed 25/3/2020].
- ANTHRACITE ARCHITECTURE 2.0. 2015. *Réhabilitation thermique du lycée Colbert*. [Online]. Available: <https://www.architectes-pour-tous.fr/anthracite-architecture-20/rehabilitation-thermique-du-lycee-colbert> [Accessed 10/4/2020].
- ANTHRACLTE ARCHITECTURE 2.0. 2015 *Lycée Colbert ,Visite de chantier* [Online]. Available: www.construction21.org [Accessed 15/4/2020].
- APRUE 2009. étiquetage énergétique *la lettre* n16, 1-12.
- APRUE. 2010a. *la lettre* [Online]. Available: www.aprue.org.dz [Accessed 20/6/2020].
- APRUE 2010b. recueil de textes législatifs et réglementaires sur la maîtrise d'énergie *ministère de l'énergie et des mines*.
- APRUE 2015. Programme de développement de l'efficacité énergétique à l'horizon 2030 *Ministère de l'Energie et des Mines*.
- APRUE 2016. Revue de presse. *APRUE*, 1-50.
- APRUE 2017. la consommation énergétique finale de l'Algérie, Chiffres clés : Année 2015. *ministère de l'énergie*.
- APRUE. 2019. *programme ECO-BAT* [Online]. Available: www.aprue.org.dz [Accessed 20/6/2020].
- ARENE & ICEB 2012. Ventilation naturelle et mécanique. *LES GUIDES ,BIO-TECH*, 1-59.
- ATHEBA 2010a. interventions à réaliser, à éviter
Les abords du bâti ancien. *Maisons paysannes de France*.
- ATHEBA. 2010b. *Connaissance du bâti ancien, Le comprendre* [Online]. Available: <http://maisons-paysannes.org/actions/economies-denergie/atheba-amelioration-thermique-du-bati-ancien/> [Accessed 12/5/2020].
- BAOUCHI, B. 2014. Programme d'Efficacité Énergétique en Algérie. *APRUE*, 1-55.

- BATIRAMA. 2014. *Procédés d'ITE par enduit sur PSE* [Online]. Available: <https://www.batirama.com/article/10070-rage-2012-procedes-d-ite-par-enduit-sur-pse.html> [Accessed 18/9/2020].
- BENAMAR, A. 2010/2. Le préscolaire en Algérie à l'heure de la réforme : dynamiques comparées des offres publiques et privées. *Carrefours de l'éducation* 30, 91-106.
- BENDOUMA, M. 2018. *Systèmes d'Isolation Thermique par l'Extérieur : Études expérimentales et numériques des transferts de chaleur et d'humidité*. Bretagne Loire.
- BERTRAND, V. 2012. Ventilation en rénovation, le casse-tête ! *ClimaMaison Le guide expert du confort thermique*.
- BINET, M. 2017. *L'école en Algérie - L'Algérie à l'école* [Online]. Available: <http://www.4acg.org/L-ecole-en-Algerie-L-Algerie-a-l-ecole> [Accessed 25/4/2020].
- CADIERGUES, R. 2010. Les étiquettes énergétiques. *MémoCad nB07.a*.
- CADIERGUES, R. 2016. *Performance et étiquettes énergétiques* [Online]. Available: xpair.com 15/4/2020].
- CALCULEO. 2018. *Déperditions thermiques et ponts thermiques, où passe votre énergie* [Online]. Available: <https://www.calculeo.fr/Eco-travaux/La-deperdition-thermique> [Accessed 4/6/2020].
- CERG. 2018. *Le programme national Enr* [Online]. Available: www.creg.gov.dz [Accessed 28/5/2020].
- CHEIKH, M. 2019. Le bâtiment détient un énorme potentiel de réduction des émissions de gaz. *energy services experts*.
- CLARA SPITZ & RENZI, V. 2008. Les protections solaires et le confort d'été. *RAEE*.
- CNRTL. 2012. *education* [Online]. ortolang. Available: www.cnrtl.fr [Accessed 15/3/2020].
- DANIEL MONTHARRY & PLATZER, M. 2009. *la technique du batiment tous corps d'état* paris, le moniteur
- DECHAVANNE, P. 2012. *l'enseignement en Algérie avant 1962* [Online]. Cercle algérieniste. Available: <http://www.cerclealgerianiste.fr> [Accessed 23/4/2020].
- DELTA. 2016. *Lycée Colbert, Lorient (56)* [Online]. Available: <https://www.doerken.com/fr/references/gamme/pare-pluie/710318109.php> [Accessed 15/4/2020].
- DJAFFAR SEMMAR, ABDELKADER HAMID & SABRINA SAMI-MECHERI 2012. efficacité énergétique dans le bâtiment : expérience algérienne. *2eme Congres de l'Association Marocaine de Thermique*.
- DOSSIER TECHNIQUE GRATUIT 2016. *Les labels de la construction neuve*, Xpair
- DUGUÉ, A., BETBEDER, F., LOPEZ, J. & LAGIÈRE, P. 2010. Evaluation des risques liés à l'humidité dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur de murs anciens: étude de cas. *IBPSA France*, 2010, 131.
- EFFINERGIE. 2012. *BBC-Effinergie* [Online]. Available: www.effinergie.org [Accessed 28/3/2020].
- ENERGIE+. 2019. *Vitrage isolant thermique et vitrage isolant acoustique* [Online]. Available: www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10397 [Accessed 6/4/2020].
- ÉNERGIE+. 2007. *Choisir le système de ventilation dans les classes* [Online]. [Accessed 30/3/2020].
- FERRANDEZ, J. 2017. *Exposition l'école en algérien, L'Algérie à l'école depuis 1830* [Online]. Available: https://www.reseau-canope.fr/musee/fileadmin/user_upload/2019_Munae_expo_algerie.pdf [Accessed 23/3/2020].

- GAUTHIER, P.-L. 2006. L'école primaire en question. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 41.
- GIRAUDET, L.-G. 2011. *Les instruments économiques de maîtrise de l'énergie : une évaluation multidimensionnelle*. Paris-Est.
- GIRAUDET, L.-G. 2013. La maîtrise de l'énergie dans le bâtiment-Problèmes économiques et politiques oblique. *C.I.R.E.D*, 1-46.
- GOYET, T. 2018. *Lycée polyvalent Jean-Baptiste Colbert, 117 boulevard Léon Blum (Lorient)* [Online]. Available: <http://patrimoine.bzh> [Accessed 20/3/2020].
- HAMLI, M. 2018. Le Droit à l'Education et à l'Enseignement en Algérie L'Etat actuel et perspectives. *Revue des Etudes et des Recherches Juridiques*, N9, 12-26.
- HYDRO QUEBEC. 2020. *La climatisation bien pensée* [Online]. Available: <https://www.hydroquebec.com/residentiel/mieux-consommer/fenêtres-chauffage-climatisation/conseils-climatisation.html> [Accessed 22/8/2020].
- IDEMU 2009. Installation d'une VMC dans un bâtiment collectif. *Fiche technique*, 24.
- IMBERT CAROLINE & DJILALI, M. 2011. Isolation thermique par l'extérieur *Direction régionale et interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement d'Ile-de-France*.
- IMESSAD, KHARCHI, B., CHENAK, HAKEM A. HAMIDAT, S. LARBI-YOUCHEF, S. SAMI & SAHNOUNE, F. 2017. Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment. *Revue des Energies Renouvelables*, 20 N°4
- INTERNORM 2012/13. Fenêtres, vos fenêtres ont de l'avenir. *Intercom*.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE 2008. *Journal officiel de la république algérienne*, N° 04, 1-22.
- KADRI, N. & MOKHTARI, A. 2012. *La réhabilitation thermique. Une opportunité pour le développement durable en Algérie* [Online]. Available: <https://www.ouvrages.crasc.dz/pdfs/2012-aménagement-urbain-fr-kadri.pdf> [Accessed 15/5/2020].
- KADRIE & MOKHTARI 2011. Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment. *Revue Des Energies Renouvelables*, 14 N°2.
- KHARCHI, M. 2019. *Le secteur du bâtiment, premier consommateur en Algérie* [Online]. LE MAGHREB, Le Quotidien de l'Economie. Available: https://www.lemaghrebdz.com/?page=detail_actualite&rubrique=Nation&id=92672 [Accessed 1/6/2020].
- KHARCHI, R. 2013. L'efficacité énergétique dans le bâtiment. *Recherche et Développement*.
- KRARTI MONCEF & MARCHIO, D. 2016. *Guide technique d'audit énergétique*, paris Presses des MINES.
- LA DIRECTION DE L'ÉDUCATION 2020. Classification des lycées. *Ministère de l'éducation nationale* 6.
- LAFOND, A. 2015. *VMC : 22 Questions pour Comprendre* [Online]. Available: <https://www.anco.pro/blog/toute-la-vmc-en-22-questions/> [Accessed 15/7/2020].
- LE TÉLÉGRAMME. 2015. *Rénovation du lycée Colbert. La Région injecte 4,9 MEUR* [Online]. Available: <https://www.letelegramme.fr> [Accessed 29/4/2020].
- LUCAS, K. 2014. Etudes de systèmes énergétiques et optimisation énergétique de bâtiments basse énergie. *université de lorraine*
- LYCÉE COLBERT L'ORIENT. 2019. *Lycée Colbert l'orient*, [Online]. Available: <https://www.lycee-colbert-lorient.com/portes-ouvertes/> [Accessed 17/7/2020].
- MANAOURI ASMA & NAWEL, M. 2017. *la réhabilitation énergétique du patrimoine bâti cas de la cité aéro-habitat d'alger*

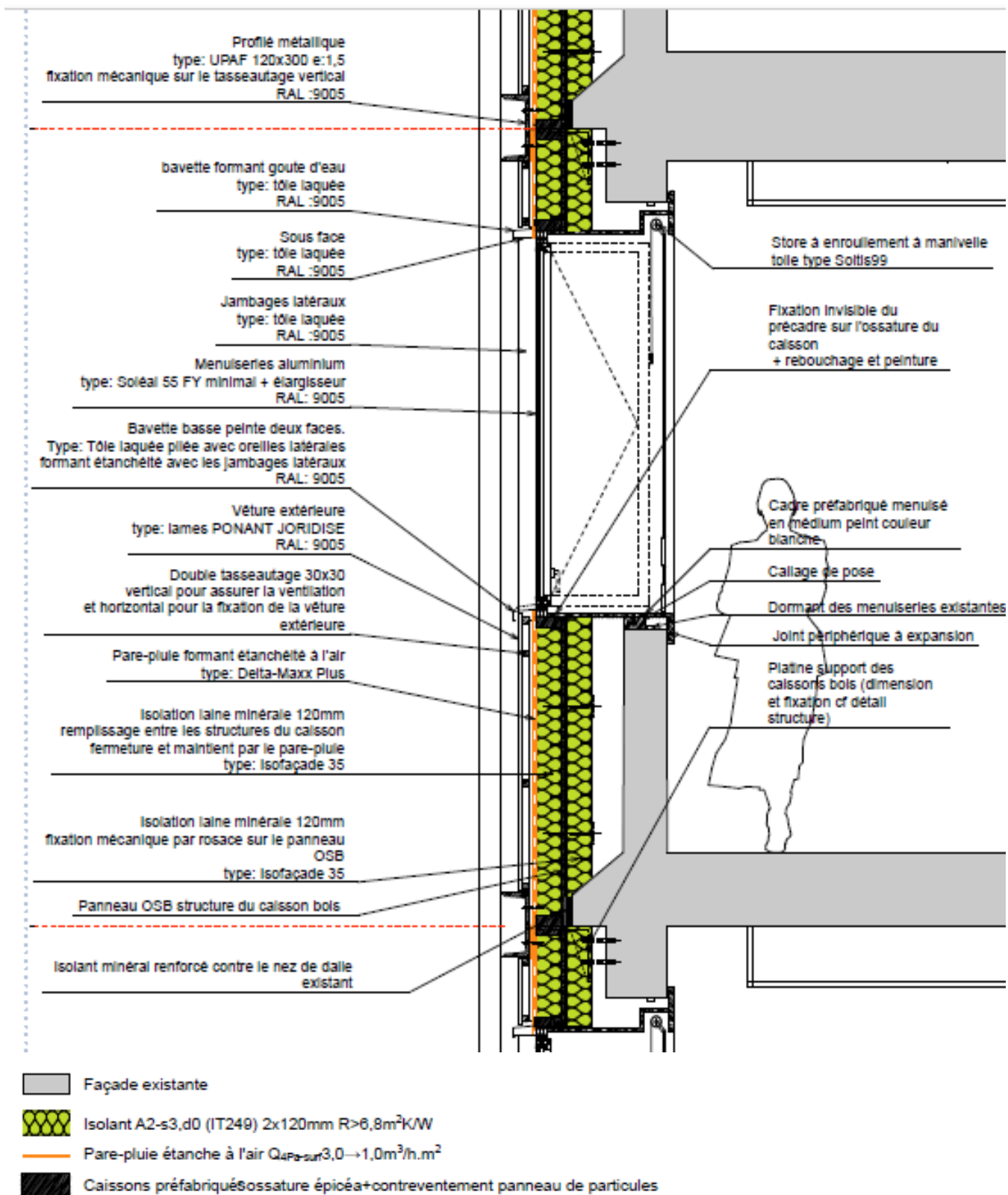
- université abderrakmane mira - Bejaia.
- MASSART, C. 2017. Ventilation : Améliorer et garantir la qualité de l'air dans les écoles. *Formation Bâtiment Durable*
- MÉNOUËR, B. 2015. Rapport d'étude: Actions Nationales Recommandées pour l' Energie Durable et la Viabilité Urbaine en Algérie. *cleaner energy saving mediterranean cities*, EuropeAid/132630/C/SER/Multi, 1-49.
- MINISTÈRE DE L'EDUCATION NATIONALE 2015. Presentation.
- MINISTÈRE DE L'EDUCATION NATIONALE 2008. Loi d'orientation sur l'éducation nationale. *Bulletin officiel de l'éducation nationale*, Spécial.
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE. 2019a. *Bilan de Réalisation de la Première Tranche du Programme national d'Efficacité Énergétique* [Online]. Available: <https://www.energy.gov.dz/3/6/2020/>].
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE. 2019b. *Énergies renouvelables et efficacité énergétique*. [Online]. Available: <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=energies-renouvelables-et-efficacite-energetique> [Accessed 10/9/2020].
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ALGÉRIEN 1971. *Constructions scolaires recueil des normes* alger, IPN.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE ET DE LA JEUNASSE. 2020. *Le collège* [Online]. Available: www.education.gouv.fr [Accessed 5/6/2020].
- MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE 2018. Bilan Énergétique National 2017. *SONATRACH, des réalisations et des engagements*, 1-39.
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE. 2018. *Diagnostic de performance énergétique - DPE* [Online]. Available: www.ecologique-solidaire.gouv.fr [Accessed 31/3/2020].
- MOLINES NATHALIE & CARINE, H. 2017. Apports et limites de la thermographie aérienne comme outil de diagnostic de la performance énergétique d'un parc résidentiel-Exemple de l'agglomération de Compiègne. *Revue internationale de géomatique*, 27, 37-63.
- MONITEUR, L. 2010. Le casse-tête de la ventilation dans l'existant.
- MOUJALLED, B., CANTIN, R. & GUARRACINO, G. 2008. Dynamic Modeling of Thermal Comfort in Buildings. *Revue Européenne de Systémique Res-Systemica*, 7, 10.
- MOUJALLED BASSAM, CANTIN RICHARD & GERARD, G. 2010. Contraintes du confort d'été lors de la réhabilitation d'un lycée.
- MULLER, D. G. 2001. *L'architecture écologique* le moniteur
- N.BOUARROUDJ & K.IMESSAD 2016. Rénovation énergétique dans le secteur résidentiel à Constantine un gisement potentiel pour la consécration des nouvelles exigences énergétiques et environnementales. *Revue des Energies Renouvelables*, 19 N°3.
- NOBATEK 2012. Entretien/Maintenance. *BAZED* 1-9.
- OBJECTIF RÉHABILITATION 2017. réhabilitation du lycée colbert. *Objectif réhabilitation*, p02, 1-5.
- OUTREQUIN, P. 2013. des stratégies de rénovation énergétique massive du bâti résidentiel existant en vue d'assurer la transition énergétique. *Contribution de La Calade et SUDEN au débat national sur la transition énergétique*.
- PEYCRU, H. 2012. *Minergie* [Online]. Available: <http://www.projetvert.fr/labels-energetique/label-minergie/> [Accessed 1/4/2020].
- PLATZER, M. 2009. *mesurer la qualité environnementale des Bâtiments*, le moniteur.
- PYGMALION 2015. Amélioration énergétique des bâtiments existants isolation des murs extérieurs par l'intérieur. *Bâtir avec l'environnement* 1.01.

- QUELLEENERGIE.FR. 2015. *Nos recommandations pour choisir un climatiseur* [Online]. Available: <https://www.quelleenergie.fr/magazine/economies-energie/recommandations-choisir-climatiseur-57298/> [Accessed 22/8/2015].
- RABOUILLE, M. 2014a. Recherche de la performance en simulation thermique dynamique : Application à la réhabilitation des bâtiments.
- RABOUILLE, M. 2014b. *Recherche de la performance en simulation thermique dynamique : Application à la réhabilitation des bâtiments*. L'université de Grenoble.
- RADIO ALGÉRIENNE 2015. Un guide pour rationaliser la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment.
- RDVPBD 2017. *La performance énergétique et environnementale des bâtiments éducatifs*, Les Rendez-vous du Plan Bâtiment Durable.
- RICHARD, Y. 2019. *Le Lycée Colbert de Lorient, un modèle de rénovation énergétique en site occupé* [Online]. Available: www.egis.fr [Accessed 15/4/2020].
- ROMANI, Z. 2015. *Développement d'une méthode d'aide à la décision multicritère pour la conception des bâtiments neufs et la réhabilitation des bâtiments existants à haute efficacité énergétique*. La Rochelle (France).
- ROULET, CLAUDE-ALAIN, DAURIAT & ARNAUD 1987. *Energétique du bâtiment*, Presses polytechniques romandes.
- ROULET, C. A. 1987. *énergétique du bâtiment II*.
- TEXIER, M. 2015. Enquête sur l'étiquette énergie. *UFC QUE CHOISIR VAR-EST*.
- THOREL, ANDRIEUX & BUHÉ 2013. aide à la décision multicritère pour la réhabilitation énergétique : Application aux bâtiments résidentiels. *31èmes Rencontres de l'AUGC, E.N.S. Cachan*.
- TOMIC, M. 2006. Le développement durable et les bâtiments scolaires.
- TOUZANI, A. 2017. *Énergétique du bâtiment*. Bureau Veritas.
- WIKIPÉDIA. 2019. *Étiquette-énergie* [Online]. Available: www.wikipedia.org [Accessed 30/3/2020].
- ZIDANE, I. 2019. *Les bâtiments consomment 41% de l'énergie produite* [Online]. Available: www.lkeria.com [Accessed 5/4/2020].

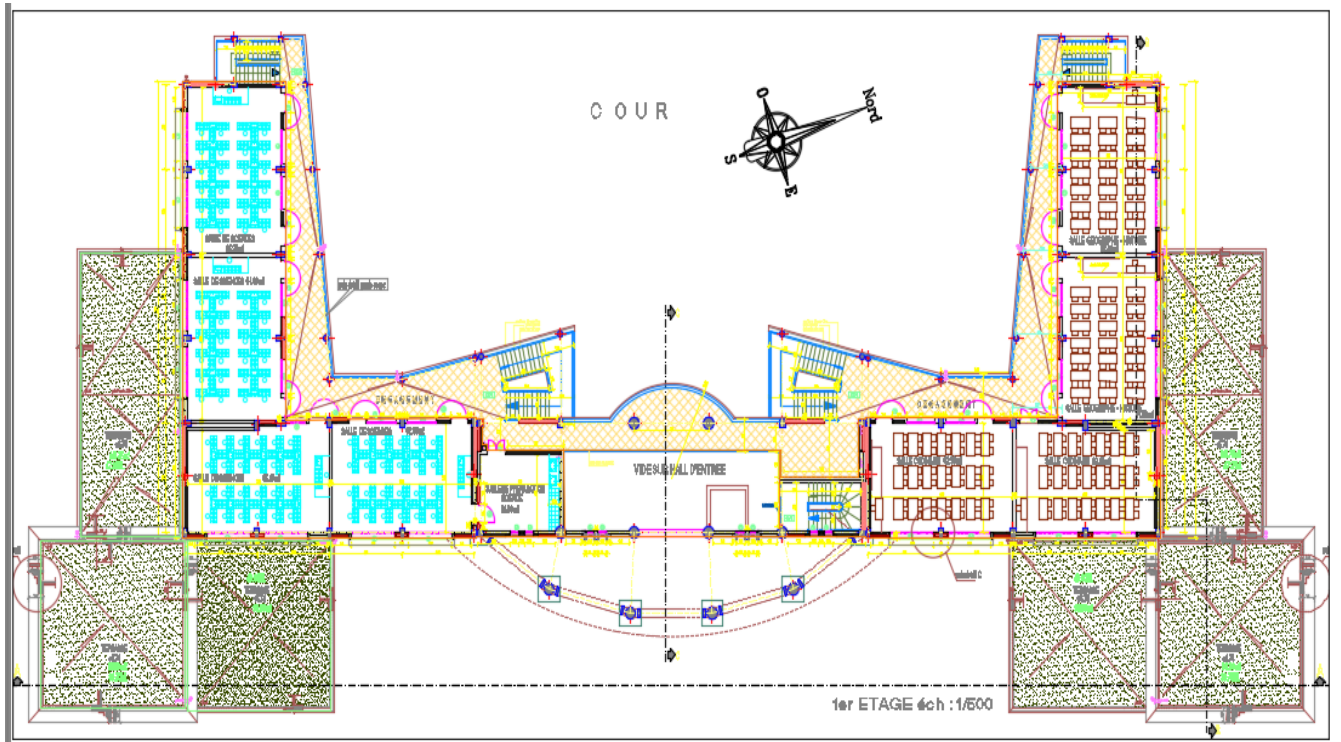
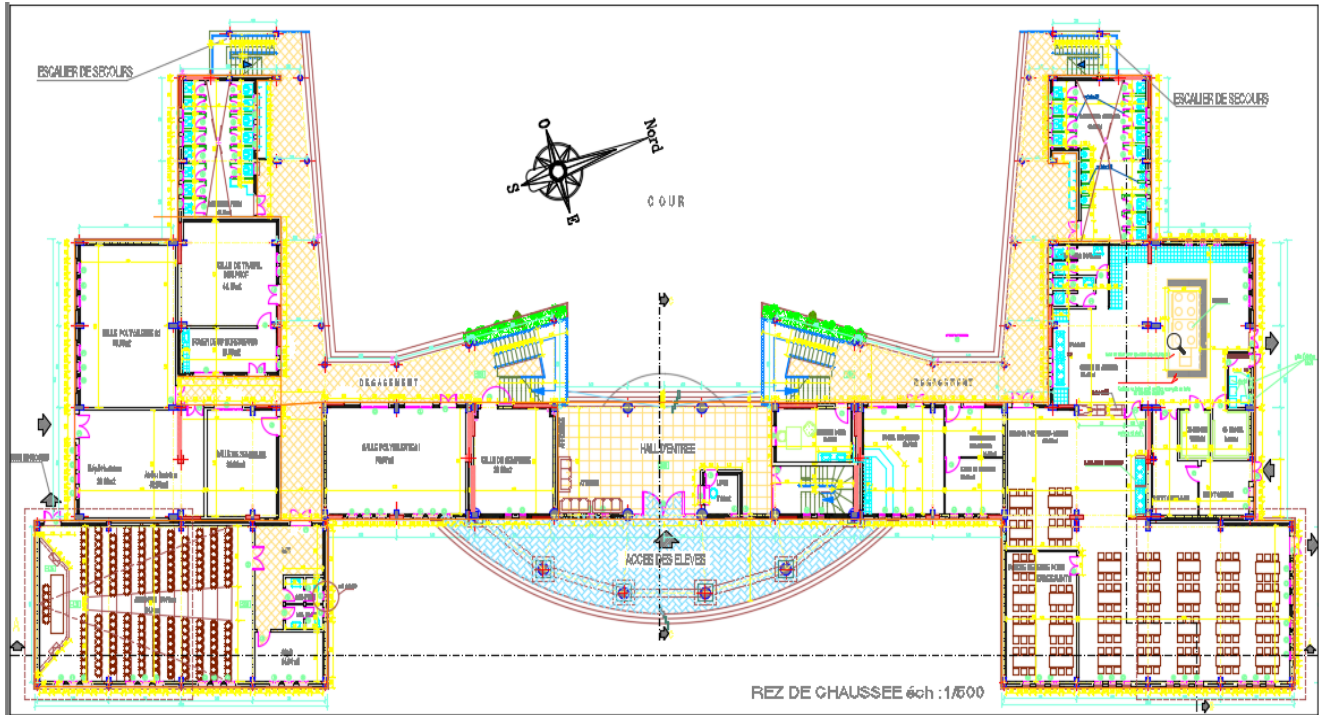
ANNEXES

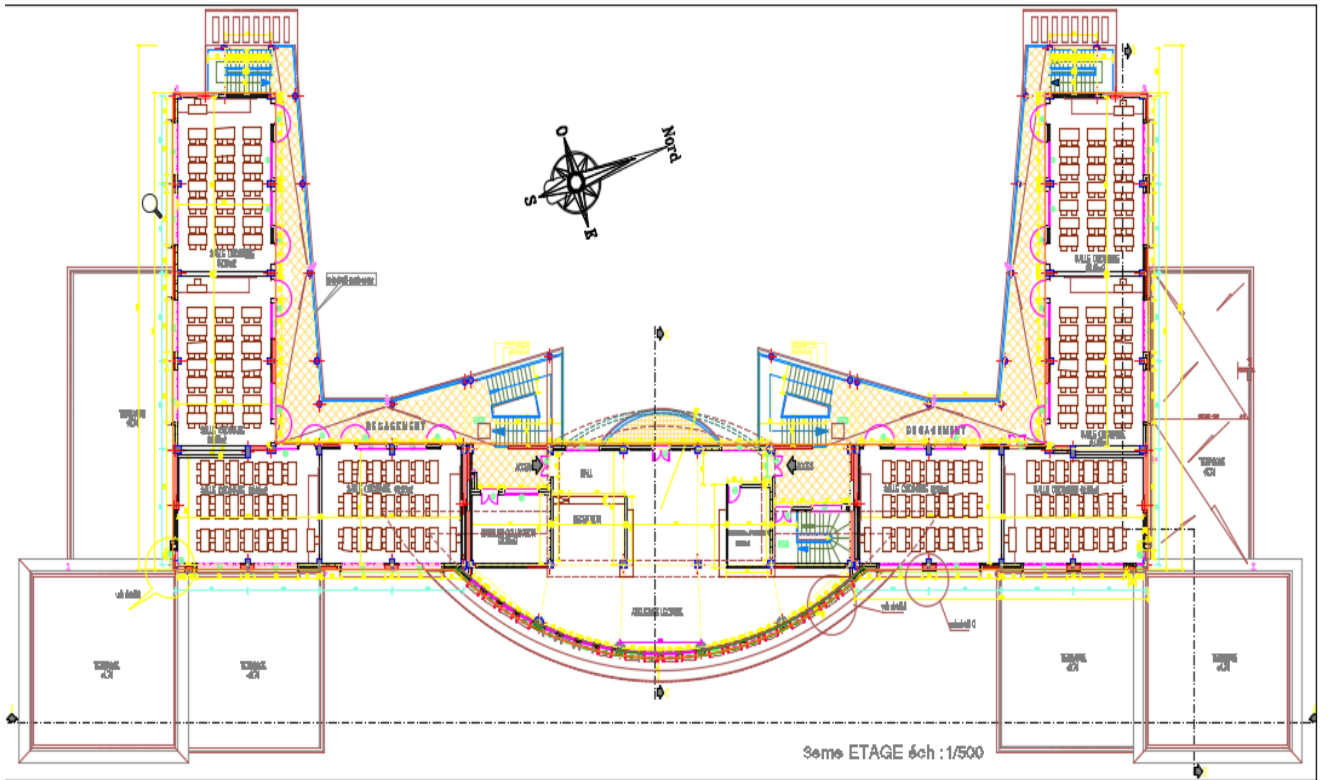
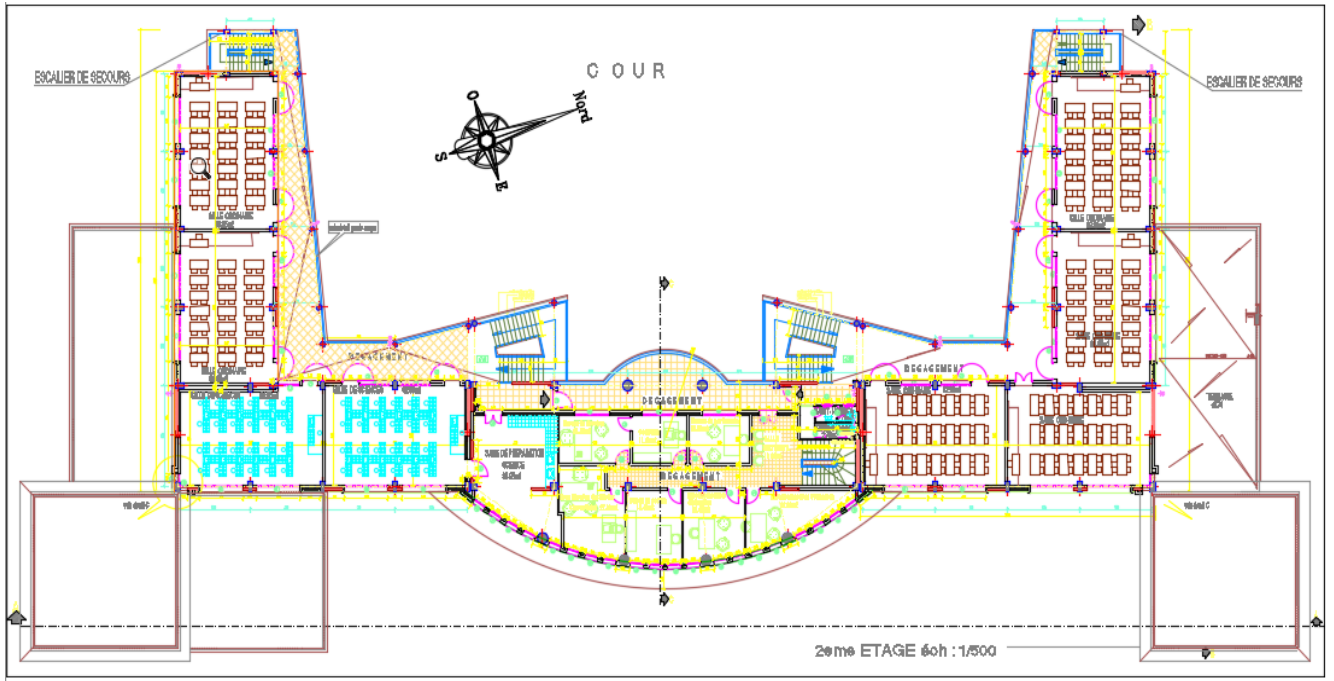
|

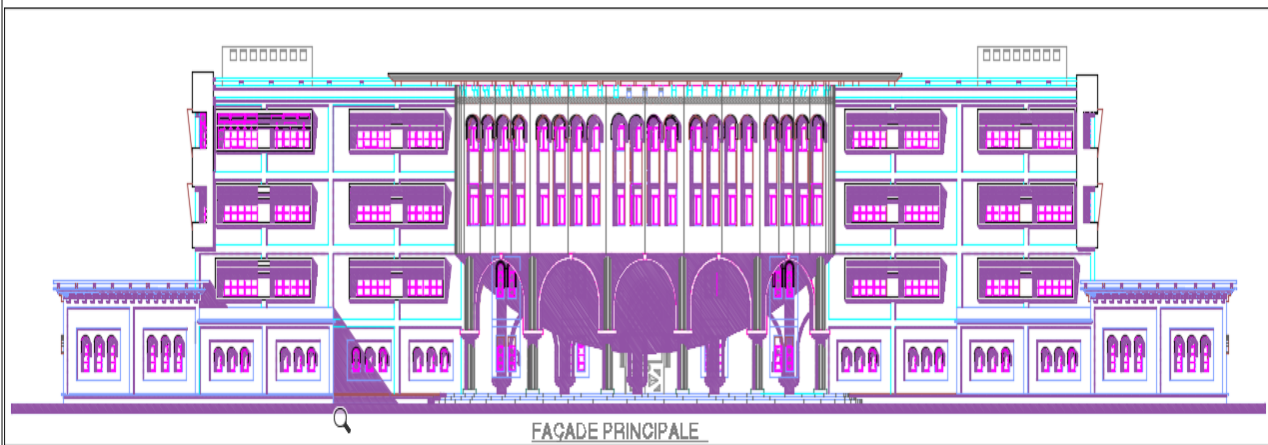
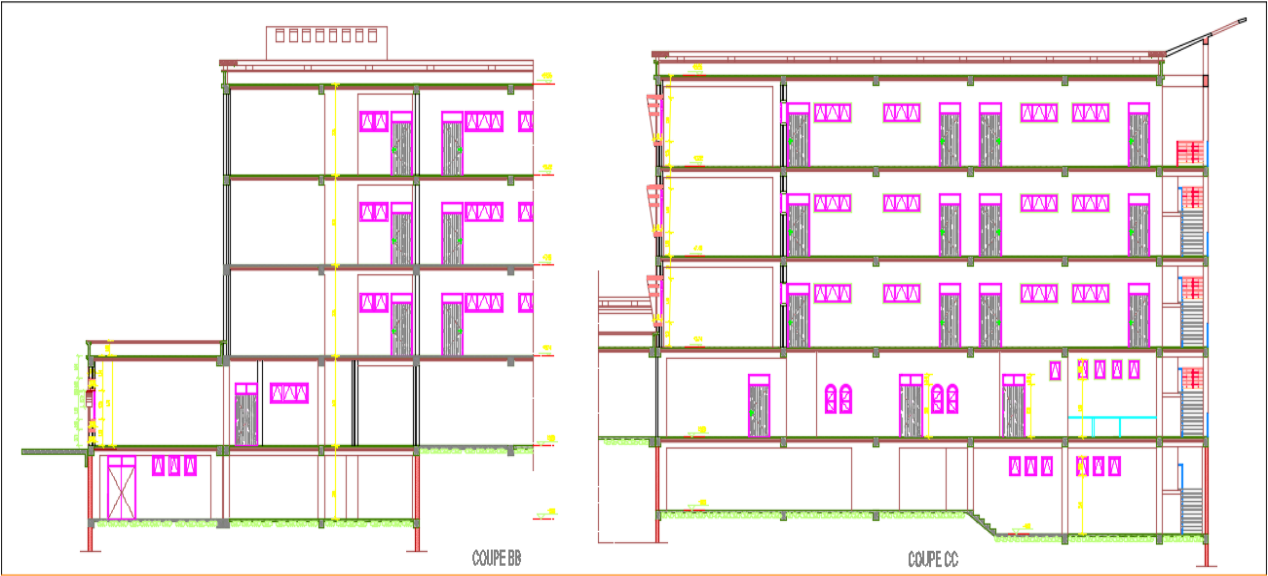
Annexe n° 01 :



Annexe n° 02 :







Annexe n° 03 :

I. Calcul les besoins énergétiques:

1. Avant réhabilitation:

classe 00						
Section 1 : Synthèse						
Vérification réglementaire						
Σ DT	Σ Dréf	Vérification C-3.2	Σ APO + Σ AV	Σ APOréf + Σ AVréf	Vérification C-3.4	
775,44 W/°C	537,36 W/°C	1,44 ✘ Non conforme	7 687,66 W	5 083,72 W	1,51	✘ Non conforme
Synthèse des échanges thermiques						
Σ DT	Σ Dréf	Σ APO Aériennes	Σ APO non Aériennes	Σ APOréf	Σ AV	Σ AVréf
775,44 W/°C	537,36 W/°C	1 012,03 W	0,00 W	327,57 W	6 675,63 W	4 756,14 W

✓ Besoin de chauffage :

On va déterminer respectivement les besoins en énergie en hiver E_{Ch}

$$E_{Ch} = (DT + DR) \times DJ_{hiver} \times 8 \times 10^{-3} / \text{surf (kWh/m}^2 \cdot \text{an).}$$

DT (W/°C) sont les déperditions par transmission

DR (W/°C) est les déperditions par renouvellement d'air

DJ hiver est dans le cas de cet exemple de 1620°C .jour

$$E_{Ch} = (DT + DR) \times DJ_{hiver} \times 8 \times 10^{-30} / \text{surf (kWh/m}^2 \cdot \text{an)}$$

$$E_{Ch} = (775,44 \times 18 \times 90 \times 8 \times 10^{-3})$$

$$E_{Ch} = 167,49 \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{an)}$$

✓ Besoin de climatisation : Les apports dus aux charges internes seront estimés à 10 W/m²

$$E_{clim} = (APO + AV + A_{air} + A_{interne}) \times J_{chaleur} \times 8 \times 10^{-3}$$

$$= [(7 687,66 + 2069,1 + (60 \times 10))] \times 90 \times 0,08 / 60$$

$$E_{clim} = 124,28 \text{ (kWh/m}^2 \cdot \text{an)}$$

✓ Besoin en éclairage :

$$E_{ecl} = (N_{lampe} \times \text{puiss} \times h \times N_j) / S$$

$$E_{ecl} = (16 \times 20 \times 8 \times 10^{-3} \times 154) / 60 =$$

$$E_{ecl} = 6,57 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$$

La consommation énergétique du lycée : $E = 298,34 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$

2. Après réhabilitation :

a. Scénario 01 :

Section 1 : Synthèse						
Vérification réglementaire						
Σ DT	Σ Dréf	Vérification C-3.2	Σ APO + Σ AV	Σ APOréf + Σ AVréf	Vérification C-3.4	
429,50 W/°C	537,36 W/°C	0,80 ✔ Conforme	4 290,91 W	5 083,72 W	0,84	✔ Conforme

✓ **Besoin de chauffage :**

$$E_{Ch} = (DT + DR) \times DJ_{hiver} \times 8 \times 10^{-3} / \text{surf (kWh/m}^2 \cdot \text{an)}$$

$$E_{Ch} = (429.50 \times 18 \times 90 \times 0.008) / 60 = 75.43 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

$$E_{Ch} = 92,77 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin de climatisation :**

$$E_{clim} = (APO + AV + A_{air} + A_{interne}) \times J_{chaleur} \times 8 \times 10^{-3}$$

$$E_{clim} = [(4\,290,91 + 2\,579.54 + (60 \times 10))] \times 90 \times 0.008 = 69,82$$

$$E_{clim} = 89,64 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin en éclairage**

$$E_{ecl} = (N_{lampe} \times \text{puiss} \times NJ) / S$$

$$E_{ecl} = (16 \times 20 \times 8 \times 10^{-3} \times 154) / 6 = 6,57 \text{ kwh/m}^2 \cdot \text{an}$$

Donc la consommation énergétique du lycée est : **E=188.98 kwh/m².an**

b. Scénario 02 :

classe						
Section 1 : Synthèse						
Vérification réglementaire						
Σ DT	Σ Dréf	Vérification C-3.2	Σ APO + Σ AV	Σ APOréf + Σ AVréf	Vérification C-3.4	
349,25 W°C	440,50 W°C	0,79 ✓ Conforme	3 594,08 W	4 183,13 W	0,86 ✓ Conforme	

✓ **Besoin de chauffage :**

$$E_{Ch} = (DT + DR) \times DJ_{hiver} \times 8 \times 10^{-3} / \text{surf (kWh/m}^2 \cdot \text{an)}$$

$$E_{Ch} = (349.25 \times 18 \times 90 \times 0.008) / 60 = 75.43 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

$$E_{Ch} = 75.43 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin de climatisation :**

$$E_{clim} = (APO + AV + A_{air} + A_{interne}) \times J_{chaleur} \times 8 \times 10^{-3}$$

$$E_{clim} = [(3\,594,08 + 1\,624.60 + (60 \times 10))] \times 90 \times 0.008 = 69,82$$

$$E_{clim} = 69,83 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin en éclairage :**

$$E_{ecl} = (N_{lampe} \times \text{puiss} \times h \times NJ) / S$$

$$E_{ecl} = (16 \times 20 \times 8 \times 10^{-3}) / 60 = 6,57 \text{ kwh/m}^2 \cdot \text{an}$$

Donc la consommation énergétique du lycée est : **E=151,83 kwh/m².an**

c. Scenario03 :

✓ **Besoin de chauffage :**

$$E_{Ch} = (DT + DR) \times DJhiver \times 8 \times 10^{-3} / \text{surf (kWh/m}^2 \cdot \text{an)}$$

$$E_{Ch} = (345,79 \times 18 \times 90 \times 0.008) / 60 = 75.43 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

$$E_{Ch} = 74.69 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin de climatisation :**

$$E_{clim} = (APO + AV + A_{air} + A_{interne}) \times J_{chaleur} \times 8 \times 10^{-3}$$

$$E_{clim} = [(3479,56 \text{ W} + 1600.60 + (60 \times 10))] \times 90 \times 0.008 = 69,82$$

$$E_{clim} = 69,15 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin en éclairage :**

$$E_{ecl} = (N_{lampe} \times \text{puiss} \times h \times NJ) / S$$

$$E_{ecl} = (16 \times 20 \times 8 \times 10^{-3} \times 154) / 60 = 6,57 \text{ kwh/m}^2 \cdot \text{an}$$

la consommation énergétique du lycée est : **E=150.41 kwh/m².an**

d. Scenario04 :

✓ **Besoin de chauffage :**

$$E_{Ch} = (DT + DR) \times DJhiver \times 8 \times 10^{-3} / \text{surf (kWh/m}^2 \cdot \text{an)}$$

$$E_{Ch} = (345,20 \times 18 \times 90 \times 0.008) / 60 = 75.43 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

$$E_{Ch} = 74.56 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin de climatisation :**

$$E_{clim} = (APO + AV + A_{air} + A_{interne}) \times J_{chaleur} \times 8 \times 10^{-3}$$

$$E_{clim} = [(3474,68 + 1600.60 + (60 \times 10))] \times 90 \times 0.008 = 69,82$$

$$E_{clim} = 68,09 (\text{kWh/m}^2 \cdot \text{an})$$

✓ **Besoin en éclairage :**

$$E_{ecl} = (N_{lampe} \times \text{puiss} \times h \times 154) / S$$

$$E_{ecl} = (12 \times 20 \times 8 \times 10^{-3}) / 60 = 6,57 \text{ kwh/m}^2 \cdot \text{an}$$

Donc la consommation énergétique du lycée est : **E=149,22kwh/m².an**

II. Calcul le prix de la facture :

1. Avant travaux de réhabilitation :

$$GAZ = E_{an} \times PU \times S$$

$$GAZ = 167.49 \times 3494.27 \times 0.4025 = 235565,25 \text{ DA.}$$

$$\text{Électricité} : 130.85 \times 3494.27 \times 4.812 = 2200167,80 \text{ DA.}$$

$$\text{Montant} : 2435733.05 \text{ DA}$$

2. Après travaux de réhabilitation :

GAZ=74.56 x 3494.27 x 0.4025= 104864.44DA.

Electricité : 74.66 x 3494.27 x 1.7787= 464031.16DA.

Montant : 568895.60 DA

ملخص:

تملك الجزائر رصيد معتبرا من المباني المدرسية وهذا نتيجة لبرنامج بناء كبير قامت به الدولة لتغطية العجز الذي سجلته البلاد منذ الاستقلال، وقد عرفت هذه المباني اصلاحات كثيرة ومتعددة ركزت في معظمها على الجانب التربوي، دون التطرق الى نوعية المبنى من حيث التصميم او موضوع تحسين استهلاك الطاقة، حيث كانت النجاعة الطاقية الحلقة المفقودة في كل هذه الاصلاحات، مما ادى الى ظهور بنايات ذات استهلاك عالي للطاقة الغير متجددة. في هذا العمل سنحاول أن نظهر مدى تأثير عملية إعادة تأهيل الطاقة على نجاعة المبنى نفسه، و تأثير هذا الاخير على الحد او التقليل من احتياجات الطاقة.

كلمات مفتاحية:

مخزون المباني المدرسية - إعادة تأهيل الطاقة - استهلاك الطاقة - تحديات إعادة تأهيل الطاقة - نجاعة الطاقة - العزل الحراري - الراحة الحرارية.

Résumé :

L'Algérie recèle un parc immobilier scolaire important, résultant d'un vaste programme de construction pour éponger le déficit qu'a enregistré le pays depuis l'indépendance, malgré cette évolution quantitative, notamment noté que ces bâtiments sont construits sans aucune réflexion sur le contexte énergétique. Bien que ce programme de construction a été accompagné des réformes éducatives, mais leur quasi-totalité était axée sur des aspects pédagogiques.

Une politique basée sur la prise en charge du parc existant, les exigences qualitatives que requièrent les bâtiments scolaires et le contexte énergétique actuel a été un maillon manquant de ces réformes. Cela a entraîné l'apparition des équipements scolaires énergivores. Par ailleurs, il y a un lien direct entre la qualité des bâtiments éducatifs et le rendement scolaire. Dans ce travail, nous voulons montrer l'influence de réhabilitation énergétique sur la performance énergétique du bâtiment et l'influence de celui-là sur la réduction des besoins énergétiques.

Mots clés : parc immobilier scolaire - réhabilitation énergétique – consommation énergétique- enjeux de réhabilitation énergétique- performance énergétique - isolation thermique- confort thermique.

Abstract:

Algeria conceals an important school building stock, resulting from a vast construction program to absorb the deficit that the country has recorded since independence, despite this quantitative evolution, it is worth noting that these buildings are built without any reflection on the energy context. Although this construction program was accompanied by educational reforms, almost all of them were focused on pedagogical aspects.

A policy based on taking charge of the existing park, the qualitative requirements of school buildings and the current energy context was a missing link in these reforms. This led to the appearance of energy-intensive school equipment. Moreover, there is a direct link between the quality of educational buildings and school performance. In this work, we want to show the influence of energy rehabilitation on the energy performance of the building and its influence on the reduction of energy needs.

Keywords: school building stock - energy rehabilitation - energy consumption - energy rehabilitation issues - energy performance - thermal insulation - thermal comfort.