

MINISTERE DE L'ENSEGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE BLIDA 1
INSTITUE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME



MEMOIRE

En Vue de l'Obtention de **Diplôme de Master II** en Architecture
Option : Architecture Bioclimatique

Intitulé de la recherche

Le confort thermique et l'efficacité énergétique dans une maison construite en matériau de terre BTS (Blocs en Terre Stabilisés)

Présentée par: **Melle Kouidri Imane**

Encadré par : **Mme Maachi.I**

Co-Encadré par : **Mr Khelladi.M**

Devant le jury composé de:

Année : 2016/2017

Remerciements

Le présent travail est réalisé à l'institut d'architecture, université de Saad Dahleb, Blida et plus précisément au sein de la Post-Graduation « Architecture Bioclimatique », je tiens sincèrement à remercier toute l'équipe, pour tous les efforts et les encouragements que j'ai reçus de leur part.

Je tiens surtout à remercier ma promotrice de mémoire, Mme Nadji Maachi Ismahan, Responsable de l'équipe de spécialité : de notre post-graduation, pour sa disponibilité et ses idées innovantes.

Et aussi je lui exprime toute ma gratitude de m'avoir accueilli au sein de ce master, et pour avoir suivi et dirigé ce travail. Son regard critique et son soutien ont été particulièrement appréciés, notamment dans la dernière ligne droite, décisive.

Je remercie Mr Khelladi Mohamed d'avoir accepté de m'aider et de m'encadrer pour cette recherche. Il m'a apporté un grand aide par son savoir et son esprit rigoureux en m'orientant vers les bonnes pistes quand il le fallait pour me faire avancer.

Je tiens également à remercier la Direction du CNERIB, d'avoir accepté de nous ouvrir les portes de leur centre, avec laquelle j'ai eu la chance de travailler dans une ambiance réellement motivante et toujours sympathique.

Enfin, un grand merci aux très chers membres de ma famille : mon père, ma mère qui sont ma raison de vie, mes deux adorables sœurs Leila et Yasmine, mes trésors nièces Sarah et Narimane pour leur confiance, et leur soutien total, sans leurs existences je perdrais la lumière de mes jours.

Je remercie spécialement mes très chers amis, Lotfi, Nawal, Kamilia, Batoul, Asma qui n'ont pas cessés de m'encourager pour la rédaction de ce mémoire et qui ont toujours respecté mes choix, ils étaient pour moi le pilier de ce travail.

RÉSUMÉ :

Le regain d'intérêt que connaît actuellement le matériau terre est largement justifié, c'est un matériau local par excellence. Lorsqu'il est stabilisé, il peut servir comme isolant porteur pour des constructions individuelles et aussi offrir des économies d'énergies qui vont se traduire par une réduction de la consommation du gaz et d'électricité selon les procédés de chauffage utilisés pour assurer le confort thermique des bâtiments. Par conséquent, l'économie d'énergie permet de limiter l'impact du bâtiment sur l'environnement par la réduction des émissions de gaz à effet de serre et de préserver les énergies fossiles.

Les techniques d'intégration de la composante énergétique dans le bâtiment puisées des principes de l'architecture bioclimatique contribuent fortement à la réduction des consommations d'énergies primaires et de réduire les impacts environnementaux associés. Le bâtiment à haute efficacité énergétique est la seule solution afin de diminuer les dépenses énergétiques et les émissions des gaz à effet de serre.

Ce travail consiste à étudier le comportement thermique et énergétique d'une maison construite avec des matériaux locaux de terre en utilisant les blocs de terre stabilisés comme matériau de construction de l'enveloppe extérieure. Un ensemble d'examen thermo-physique a été établis au niveau du laboratoire du CNERIB afin de les déterminer les caractéristiques les avantages de BTS.

Par la suite dans la partie pratique de cette recherche une modélisation numérique par le logiciel Revit 2017 a été élaboré afin de concrétiser la partie théorique et obtenir un modèle d'une maison passive. Une simulation thermique dynamique sous logiciel Pléiades conforte les états de l'art consultés et les résultats obtenus et cela effectué sous les différents étages bioclimatiques tirés de la variété des climats des villes proposés dans cette recherche (El Mohammadia, Chréa et Ghardaïa).

Grace a des dispositifs qui sont tirés du concept de l'architecture bioclimatique (climatisation passive, orientation adéquate, double vitrage, isolation, implantation des végétations, optimisation de l'éclairage naturel).

En plus de l'association de l'architecture en terre en utilisant le BTS tout en prenant en considération le climat du site d'intervention l'objectif du confort thermique et l'efficacité énergétique est atteint.

Mots clefs : *Blocs de terre stabilisés BTS, confort thermique, efficacité énergétique, simulation thermique dynamique.*

ABSTRACT :

The renewed interest in the earth material is largely justified; it is an ultimate local material, when it is stabilized, it can be used as a carrier insulating for individual constructions and also offer energy savings that will result in a reduction in the consumption of gas and electricity according to the heating processes used to ensure the thermal comfort of buildings. As a result, energy saving limits the building's impact on the environment by reducing greenhouse gas emissions and conserving fossil fuels.

The integration techniques of the energy component in the building, drawn from the principles of bioclimatic architecture, contribute significantly to the reduction of primary energy consumption and reduce the associated environmental impacts. The energy-efficient building is the only way to reduce energy expenditure and greenhouse gas emissions.

This work consists of studying the thermal and energy behavior of a house built with local earth materials using the stabilized earth blocks as building material for the outer casing. A thermo-physical examination set has been established at the CNERIB laboratory to determine the characteristics and benefits of BTS.

Subsequently in the practical part of this research a numerical modeling by the software Revit 2017 was elaborated in order to concretize the theoretical part and get a model of a passive house. A dynamic thermal simulation under Pleiades software confirms the state of the art consulted and the results obtained and this is done under the different bioclimatic stages drawn from the variety of climates of the cities proposed in this research (El Mohammadia, Chr a and Ghardaïa).

Thanks to devices that are derived from the concept of bioclimatic architecture (passive air conditioning, adequate orientation, double glazing, insulation, vegetation implantation, optimization of natural lighting). In addition to the combination of earthen architecture using the BTS while taking into account the climate of the intervention site the objective of thermal comfort and energy efficiency is achieved.

Key words: *BTS stabilized earth blocks, thermal comfort, energy efficiency, dynamic thermal simulation.*

ملخص:

الاهتمام الحالي لمواد التربة له ما يبرره إلى حد كبير، بل هو يعتبر من المواد المحلية بامتياز. عندما يكون مستقر، يمكن استخدامه كعازل وحامل للإنشاءات الفردية وكذلك لتوفير الطاقة مما سيؤدي إلى انخفاض في استهلاك الغاز والكهرباء وفقا لعمليات التسخين المستخدمة لضمان الراحة الحرارية للمباني. ونتيجة لذلك، فإن توفير الطاقة يحد من تأثير المبنى على البيئة عن طريق الحد من انبعاث غازات الاحتباس الحراري والحفاظ على الوقود الأحفوري.

تقنيات التكامل لعنصر الطاقة في المبنى المستمدة من مبادئ العمارة البيولوجية المناخية تساهم إسهاما كبيرا في خفض استهلاك الطاقة الأولية وتقليل الأثار البيئية المرتبطة بها. ويمثل البناء الموفر للطاقة الوسيلة الوحيدة للحد من إنفاق الطاقة وانبعاث غازات الدفيئة.

يتمثل هذا العمل في دراسة السلوك الحراري والحيوي لمنزل مبني بمواد ترابية محلية باستخدام كتل أرضية مستقرة كمواد بناء للغلاف الخارجي. حيث تم إنشاء مجموعة الفحوص الحرارية الفيزيائية في مختبر كنيغب (CNERIB) لتحديد خصائص وفوائد بتس (BTS) .

في وقت لاحق في الجزء العملي من هذا البحث تم استعمال نموذجية التصميم المنجزة من قبل برنامج ريفيت (Revit) 2017 من أجل جعل الجزء النظري ملموس والحصول على نموذج من منزل ايجابي. محاكاة الحرارية الديناميكية تحت البرامج بلياس (Pléiades) يؤكد الجزء النظري المستشار والنتائج التي تم الحصول عليها والتي نفذت في إطار مختلف الطبقات المناخية البيولوجية للمدن المقترحة في هذا البحث (المحمدية، الشريعة، غرداية).

من خلال الميزات التي هي مستمدة من مفهوم الهندسة المعمارية البيولوجية الحيوية (تكييف الهواء الطبيعي، التوجيه الكافي، الزجاج المزدوج، العزل، زراعة الغطاء النباتي، وتحسين الإضاءة الطبيعية) بالإضافة إلى مزيج من العمارة الترابية باستخدام بتس BTS مع الأخذ بعين الاعتبار مناخ موقع التدخل تم تحقيق الهدف من الراحة الحرارية وكفاءة الطاقة.

الكلمات الرئيسية: (بتس) كتل التربة المستقرة، الراحة الحرارية، كفاءة استخدام الطاقة، محاكاة الحرارية الديناميكية.

Liste Bibliographique :

1. Aguarwal, bâtir en terre, Ed. Earscan, Londres 1981.
2. A. Bonhomme, Isolation thermique des bâtiments. 4e édition mise à jour et augmentée. Ed. Le Moniteur, Paris.
3. A. Degiovani. « Diffusivité et méthode flash ». In revue générale de thermique n° 185. France 1977.
4. ADEME. Bâtiments à hautes performances énergétiques - Bureaux. 1ère édition. Ivry-sur-Seine: PYC EDITION, 1993, 242 p.
5. A. Hamid, 'Etude Expérimentale du Prototype Réalisé au C.N.E.R.I.B.', Rapport Interne CDER/LT DBT, 1995.
6. A. Liébard A. De Herde : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Ed. Le Moniteur, Paris 2005.
7. A. Liebard et A. De Herde, Guide de l'architecture bioclimatique ; Tome4 ; Cours fondamental : Construire avec le développement durable, 2002.
8. A. Merzeg, la réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie, mémoire de magistère, UMMTO, octobre 2010.
- 9.A. Mokhtari, K. Brahimi1, Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar, Revue des Energies Renouvelables, Juin 2008.
10. Ben Habib et al, Analyse bioclimatique de l'habitat traditionnel des régions désertiques nord sahariennes, Rapport d'étude, Université de la Rochelle et l'institut USTO d'Oran, 1995.
11. Bruno Pignal, Terre crue : Techniques de construction et de restauration, Ed. EYROLLES, 2005.
12. C. Delbecque, Approche contemporaine de la construction en terre, « Histoire de la construction en terre » 21 octobre 2011.
13. C. Langlais et S. Klarsfeld, Isolation thermique à température ambiante, Techniques de l'ingénieur, Document n° C 3 371. France.
14. C.A. Balaras, The role of thermal mass on the coolingload of buildings, An overview of computational methods, Energy and Buildings, 1996, vol 24.
15. CNERIB, Conception de logements économiques à base de produits localement disponible, CNERIB, Alger, 2000.
16. Construction en terre, l'architecture traditionnelle de charouine et de Timimoune, PNUD, Alger, 2007.
17. CRATerre, Marrakech 87, habitat en terre, Grenoble, 1987.
18. CRATerre, Traité de construction en terre, Ed. PARENTHESSES, 1995.
19. D. Medjelekh, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma, Mémoire de magistère, université de Constantine, 2006.
20. DTR C3-2, Réglementation thermique des bâtiments d'habitation – Règle de calcul des déperditions calorifiques, CNERIB, Alger, décembre 1997.
21. DTR C3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments - Climatisation, CNERIB, Alger, Août 1998.
22. Eben Salah. M.A, Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates, Rapport de recherche Saudi Arabia King, Saudi University, Department of

Architecture and Building sciences, 5 juin 1989.

23. El Bakkouri, 'Caractérisation Thermophysique et Mécanique de Quelques Matériaux Locaux Utilisés dans l'Isolation et la Construction au Maroc: le Plâtre, le Liège, la Brique Creuse', Thèse de Diplôme d'Etudes Supérieures de 3ième Cycle, Université Abdelmalek Essaâdi, Faculté des Sciences de Tétouan, 1996.
24. Encyclopédie du bâtiment, V3.
25. F. Jadoul, La Terre est notre maison, Construire, rénover, habiter en respectant l'Homme et l'environnement, Ed. Luc Pire, Bruxelles 2002.
26. F. Mokhtari, N. Ait Messaoudène, A. Hamid, M. Belhamel Etude du comportement thermique d'une maison munie d'un système de chauffage solaire, CDER, Bouzaréah, Alger, Décembre 2006.
27. G. Alexandroff et J .M, Architecture et climat soleil et énergies naturelles dans l'habitat; édition architectures Berger-Levrault, Paris 1982.
28. G. Alexandroff et J .M, Architecture et climat soleil et énergies naturelles dans l'habitat; édition architectures Berger- Levrault, Paris 1982, P. 216.
29. H. Benouali, Proposition pour la relance des constructions en terre en Algérie, CNERIB, décembre 2004.
30. H. Guillaud T.Joffroy P. Odul, CRATerre, Compressed earth blocks manual of design and construction, Ed. Eschborn, 1995.
31. H. Houben et H. Guillaud, traité de construction en terre, Ed. Parenthèse, Marseille, 2006. V6.
32. H. M'Sellem, 'Le Confort Thermique entre Perception et Evaluation par Les Technique d'Analyse Bioclimatique, Cas des Lieux de Travail dans les Milieux Arides à Climat Chaud et Sec', Mémoire de Magister, Département d'Architecture, Université de Biskra, 2007.
33. <http://www.earthbuilding.com/san-diego-adobe-code>.
34. <https://fr.grundfos.com/training-events/ecademy/all.../efficiency-and-the-eei.htm>.
35. I. Hurpy, la climatisation de l'habitat par cheminée solaire et le système du « Melkaf » solaire, cahier AFADES, énergies nouvelles, Ed. n°5.
36. ISO 10551 (International Standard Organization) : Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelle de jugements subjectifs.
37. ISO 7730: Ambiances thermiques modérées- Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique.
38. J. Bisson, Le Gourara étude de géographie humaine, Mémoire de l'IRS n°3, université d'Alger, 1957.
39. J. COIGNET, Réhabilitation : arts de bâtir traditionnel connaissances et techniques, Aix-en-Provence, Ed. EDISUD, 1987.
40. J. Dethier, Des architectures de terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, Ed. CGP, paris, 1982.
41. J.J Roux, comportement thermique des bâtiments, Institut National des Sciences Appliquées, département de génie civil, 2000, INSA de Lyon.
42. J. L. Izard, Architecture d'été, Construire pour le confort d'été, Aix - en Provence : Ed. EDISUD, 1993.
43. J. Loubes, Archi troglodyte, France: Ed. Parenthèse.
44. Koenigsberger et al, Climatic design, London, New York: Ed LONGMAN 1974.

45. Kur F, l'habitat écologique : quels matériaux choisir, Edit. Terre vivante, France, juillet 2001.
46. Lavigne Pierre, Architecture climatique une contribution au développement durable Tome1 : bases physiques, EDISUD 1994, P. 13.
47. M. Chaoucha Bencherif, la Micro-urbanisation et la ville-oasis ; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable cas du Bas-Sahara, Mémoire de doctorat, université Mentouri constantine, 2007.
48. M. Dahli, N. Baloul. Amélioration des performances du matériau terre crue. XXVIII^{ème} Rencontres Universitaires de Génie Civil – La Bourboule du 2 au 4 juin 2010.
49. NF EN 993-15., « Ct-mètre : Appareillage développé par le CSTB Grenoble (Hébert Sallée), Pour la mesure de la conductivité et de la chaleur spécifique, 2005.
50. Noureddine Kebaili, l'architecture de terre contemporaine en Algérie ; évaluation post-occupation d'habitations rurales dans la région centre des hauts plateaux ; mémoire de magistère 2006.
51. O. SIDLER, directeur de la Ste ENERTECH, L'inertie thermique en climat méditerranéen, Confort et consommations d'énergie, Colloque du 15-05-2003, Montpellier.
52. P. G. Bellin. L'habitat bio-économique. Ed. Eyrolles. Pris 2008.
53. P. Lavigne, Architecture climatique une contribution au développement durable Tome1 : bases physiques, EDISUD 1994.
54. P. Meukam, valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiments, Yaoundé, décembre 2004
55. P. Odul, Des architectures de terre en Algérie, projet earth construction technologies appropriate to developing countries, Belgique, 1983.
56. Saliha Benmessaoud, Prospection pour l'introduction de la construction en matériaux locaux dans le secteur du logement à Tamanrasset, Mémoire du diplôme de spécialisation et d'approfondissement- Architecture de Terre ; DSA-Terre 2004-2006
57. SENIT C-A., « l'efficacité énergétique dans le secteur résidentiel : une analyse des politiques des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée », Idées pour le débat sur le changement climatique, n°14, pp.1-67,2008.
58. S FILFLI, Optimisation bâtiment/système pour minimiser les consommations dues a la climatisation, thèse de doctorat, école des mines de Paris, Décembre 2006.
59. SIDLER .O, « l'Inertie en climat méditerranéen : confort et consommations d'énergie » ; Actes de colloque, Montpellier, 2003.
60. Site officiel de l'APRUE (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie)
61. T. Salomon et S. Bedel, La maison des [mega] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi. Ed. Terre vivante. Mens 2004.
62. Thelie. F et al, Les outils d'évaluation du confort thermique, Journée SFT/ CSTB, 04/02/2003, Nantes.
63. V. Cheng, NG.E & Givoni. B, Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate, Solar Energy 2005.
64. Z. Derradj, Etude des conditions techniques optimales du mélange « terre paille » en vue de la construction de logements à Ronquières en Belgique, mémoire de Magistère à l'université catholique de Louvain, 1987.

Chapitre 01 : Etat de l'art

Introduction :

Dans ce chapitre nous analysons les connaissances existantes en matière d'architecture en terre, du confort thermique et de l'efficacité énergétique.

Ceci nous conduit à effectuer un état de l'art qui permet de présenter les variables et leurs interactions dans les différentes approches actuelles, et de caractériser les ressources et les besoins de l'être humain en termes de confort thermique. Les différents mécanismes mis en jeu sont détaillés et précisés afin de cerner le rôle des différents paramètres et caractéristiques présentés dans cette étude.

Cette analyse permettra la mise en œuvre des phases suivantes du travail de recherche.

1. Architecture en terre :

La beauté des architectures de terre illustre l'ingéniosité de la construction humaine. En effet, depuis les temps les plus anciens, les peuples de tous continents ont utilisé la terre comme principal matériau de construction. Aujourd'hui plus de 150 sites du patrimoine mondial sont entièrement ou en partie bâtis en terre, et près d'un tiers de la population mondiale vit dans des maisons et des villes dont la construction fait recours aux matériaux de terre.

Il en résulte une grande variété de monuments, des villages et des villes historiques, des maisons familiales, des sites archéologiques, etc. Ces lieux, qui ont une importance économique, écologique et culturelle pour leurs communautés et leur construction comme leur conservation, contribuent positivement à l'économie locale.

Au-delà de cette réalité, l'architecture de terre est devenue l'expression symbolique de la capacité humaine à créer un environnement construit en valorisant au mieux les ressources disponibles localement : un développement durable « naturel ». De ce fait, la disparition de certains des éléments qui composent cette grande famille d'architecture serait une perte irremplaçable pour l'humanité. Il est donc urgent de concentrer notre attention sur le rôle vital de l'architecture de terre, d'assurer sa reconnaissance, sa revalorisation, sa sauvegarde et la diffusion des bonnes pratiques, autant de contributions possibles pour le développement durable de nos sociétés.

1.1. Historique et évaluation de l'architecture en terre :

Depuis que l'homme construit, la terre a toujours été l'un des principaux matériaux de construction. Actuellement, encore un tiers de la population mondiale vit dans les habitations en terre.

Qu'est ce que la Terre ?

La terre représente la couche superficielle, meuble, de la croûte terrestre résultant de la transformation de la roche mère, enrichie par des apports organiques. La terre est à la fois le support et le produit du vivant. L'altération de la roche mère peut être d'ordre mécanique et/ou chimique sous l'action des phénomènes climatiques et des organismes vivants¹.

La terre est composée de matériaux de granulométrie différente en proportion plus ou moins variable :

- Servent de liant entre les éléments plus grossiers :
 - Les argiles: Particules inférieures à 2 micromètres
- Stables en présence de l'eau – Squelette du sol :
 - Les limons: Particules comprises entre 2 et 50 micromètres.
 - Les sables: Particules comprises entre 0,5 et 2 mm.
 - Les graviers: Particules comprises entre 2 et 10 mm.

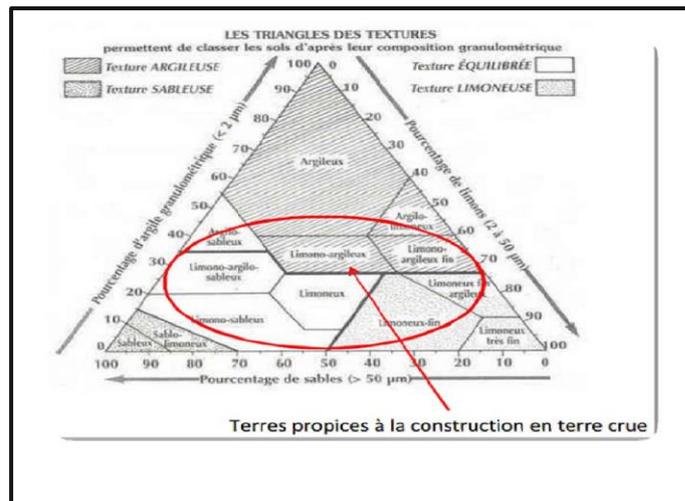


Figure 1: Classement des sols d'après leur composition granulométrique,
(Source : C. Delbecque)

L'histoire de la construction en terre est mal connue, l'intérêt pour ce matériau jugé antique et médiocre était éclipsé par celui accordé à la pierre ou au bois matériaux dit plus noble.

Pourtant des trouvailles archéologiques témoignent de l'importance du matériau terre dans l'histoire, presque toutes les civilisations l'avaient adoptée à un moment ou un autre : (la terre fut associée aux époques décisives de la révolution urbaine et servait la quotidienneté autant

¹.C. Delbecque, Approche contemporaine de la construction en terre, « Histoire de la construction en terre » 21 octobre 2011.

que le prestige des plus glorieuses civilisations de l'antiquité)².

Des âges les plus lointains à nos jours, elle s'affiche comme étant le matériau privilégié de l'homme bâtisseur, et le temps passant n'a pas effacé les preuves accumulées de cet usage de la terre.

Intérêt de l'utilisation de la terre dans la construction :

- Elle est souvent disponible localement en quantité; Elle ne nécessite pas d'énergie;
- C'est un matériau sain et écologique (inertie calorifique et régulation hydrométrique).
- C'est un matériau recyclable.

Pourquoi la construction en terre :

- La Terre, comme matériau de construction, est prélevée et exploitée in situ.
- La moindre dépendance d'importation en matières premières, notamment le ciment et l'acier.
- Les coûts, des matériaux en terre, en comparaison avec ceux de la maçonnerie en parpaing de ciment, de pierre ou même de brique de terre cuite, sont de 20 à 30 % inférieurs;
- Le matériau terre ne produit aucun rejet de déchets industriels ou chimiques ou toute autre matière nuisible pendant sa fabrication;
- Le matériau de terre présente des caractéristiques thermiques bien meilleures que celle du béton de ciment;
- Le mode ainsi que les outils nécessaires à la production du matériau terre sont simples et accessibles à tous.

1.2. Situation de l'architecture en terre à travers le monde :

Ce paragraphe traite la situation institutionnelle de l'architecture de terre, il s'agit notamment des indicateurs de sa situation, la réglementation et la formation. A travers le monde, nous allons voir les pays qui possèdent des réglementations spécifiques et offrent des formations sur l'architecture de terre.

Codes, normes, directives et orientations :

Actuellement, les seuls codes complets qui traitent spécifiquement de la construction en bloc de terre comprimée (BTC) se trouvent en Allemagne et en Nouvelle Zélande³.

D'autres pays possèdent des codes qui sont, selon le CRATerre⁴, aujourd'hui, largement dépassés comme c'est le cas en Afrique du sud ou en Australie. La Nouvelle

² CRATerre, Traité de construction en terre, Ed. PARENTHESSES, 1995, P. 16-17.

³ .Site web <http://www.terra-ram.com/>.

⁴ . Noureddine Kebaili, l'architecture de terre contemporaine en Algérie ; évaluation post-occupation d'habitations rurales dans la région centre des hauts plateaux ; mémoire de magistère 2006.

Zélande a publié son code pour les bâtiments en terre crue en 1998. Ce code spécifique est annexé aux réglementations en vigueur dans le secteur du bâtiment. Il comporte entre autres les critères de performances des bâtiments en terre pour ce qui est de la résistance aux tremblements de terre.

D'autres pays ont développé des recommandations ou des prescriptions, tel que le Maroc et la Côte d'Ivoire qui sont continuellement mis à jour. Le Pérou a intégré des normes parasismiques pour les bâtiments en terre dans le règlement national de la construction et l'Inde a publié en (1994) des directives pour l'amélioration de la résistance au tremblement de terre des bâtiments en maçonnerie non renforcée dont la terre crue⁵.

Aux Etats-Unis la construction en adobe est intégrée aux codes nationaux de construction⁶. Le « National bureau of Standards » a publié plusieurs documents durant les années 1940. Pendant les années 1970 le « Uniform Building Code (UBC) » était publié au niveau national. Il a subi des modifications pour être adopté dans les différents états, ses règles concernent les briques de terre « adobe » fait à la main. Actuellement, aux USA, il n'y a pas de code spécifique pour le BTC et les projets réalisés appliquent l'UBC conçu à l'origine pour l'adobe⁷.

En France trois anciens textes officiels se rapportent à la construction en terre "Reef DTC 2001 bloc en terre et bloc en terre stabilisée, 1945", "Reef DTC 2101 construire en béton de terre, 1945" et "Reef DTC 2102 béton de terre stabilisée aux liants hydraulique, 1945"⁸. En 1982, à l'occasion du projet du « Domaine de la terre de la ville nouvelle de l'île d'Abeau » en France, un cahier de charges a été élaboré. Il constituait une référence pour les différents intervenants⁹. Le centre du CRATerre à Grenoble développe un code du BTC pour le gouvernement Français, il est élaboré sur la base d'une concentration entre 22 pays où il sera appliqué¹⁰.

Sur le plan international, des codes de bon emploi ont été élaborés par l'ONU entre 1958 et 1964 concernant la construction en béton de terre stabilisée. En 1973 le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a établi un texte normatif à l'occasion du projet « Cissin » à Ouagadougou Burkina Faso¹¹.

La Réunion International des Laboratoires d'Essais et de recherche sur les Matériaux et les constructions (RILEM) et le Conseil International du Bâtiment pour la Recherche l'Etude et la documentation (CIB) possèdent depuis 1987 un comité technique sur la construction en terre qui élabore des recommandations et spécifications qui peuvent être adoptées comme normes¹².

Beaucoup de pays dans le monde ont déjà légitimé la pratique de la construction en terre sur leurs territoires ce qui procure plus de garanties aux opérateurs et aux utilisateurs à la fois.

⁵ .Ibid

⁶ .Ibid

⁷ . Ces règles sont disponibles sur les sites internet : <http://www.earthbuilding.com/nm-adobe-code.html>. Pour le Nouveau Mexique. <http://www.earthbuilding.com/san-diego-adobe-code>. Pour la Californie.

⁸ . Houben et H. Guillaut, traité de construction en terre, Ed. Parenthèse, Marseille, 2006. V6, P.158.

⁹ .Ibid.

¹⁰ . Courrier adressé aux chercheurs de CRATerre.

¹¹ . H. Houben et H. Guillaut, traité de construction en terre, Ed. Parenthèse, Marseille, 1989. V1, P. 159.

¹² .Ibid

Cela implique la reprise d'intérêt de cette architecture. Les actions des organismes internationaux encouragent les pays à se lancer dans les voies de la revalorisation de l'architecture de terre.

1.2.1. L'architecture en terre en Algérie :

Des constructions anciennes en terre d'une grande qualité existent encore dans les régions du sud (Biskra, Ghardaïa, Ouargla, Adrar, Timimoune etc.), haut plateaux (Sétif) et Tell (Kabylie).

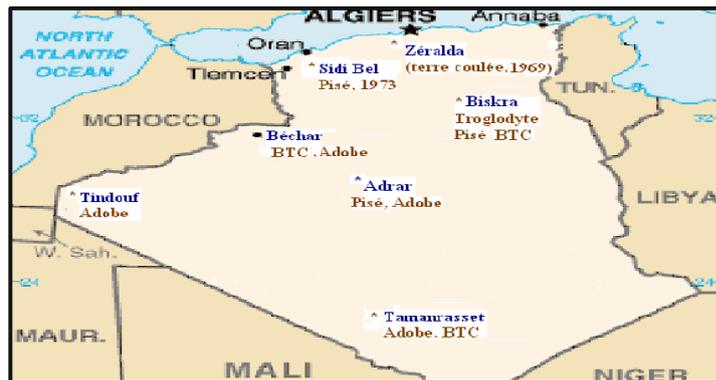


Figure 02: Constructions en terre à travers l'Algérie, (Source : CNERIB).

L'Algérie a manifesté très tôt son intérêt pour la relance de la construction en matériaux locaux, notamment à base de la terre.

En effet le BTS est un matériau reconnu officiellement et le Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment (CNERIB) mène ses recherches sur ce sujet depuis plus de vingt ans. Plusieurs projets ont pu voir le jour tel que le montre le tableau qui suit :

Tableau 01: Les opérations de construction en terre en Algérie (source : CNERIB)

ANNÉE	RÉALISATION EN TERRE
1969-1970	136 logements en pisé à Bouhliet près de Batna
1971-1973	Village d'Abadla, en terre rempissante
1972	Habitations à Zéralda en pisé stabilisé (banché coulé).
1973-1975	Village de Mostafa Ben Brahim en pisé
1976	100 logements à Felliache près de Biskra, en toub
1980	120 logements à Madher, Boussaâda en BTS
1981	40 logements à Chéraga, en blocs de terre comprimés (BTC)
1984	20 logements à Tamanrasset, en BTS
1984	Prototypes bioclimatiques en BTC, à Tamanrasset et Souidania (Alger)
1986	10 logements en BTS à Adrar et 10 à Reggane
1994	60 logements en BTC, à Tamanrasset
1999	Prototype expérimental en pisé au CNERIB
2007	Prototype expérimental en blocs de terre stabilisée (BTS) au CNERIB

Sur le plan des pratiques traditionnelles, la construction en terre est pratiquée dans de nombreuses régions du pays. Selon le rapport du CNERIB, l'Algérie compte plusieurs techniques se distinguant par leurs procédés de production¹³.

Jusqu'à présent nous n'avons pas encore rencontré d'étude spécifique sur les techniques pratiquées en Algérie. L'ouvrage de P. Odul¹⁴ ne présente que quelques exemples et ne s'étale pas sur l'ensemble des procédés traditionnels algériens.

1.3. Les Techniques de construction en terre :

A travers le patrimoine mondial des traditions de construction en terre crue, on dénombre de très nombreuses techniques de construction avec une infinité de variantes adaptées à la qualité de la terre et au degré d'élaboration du savoir faire, traduisant l'identité des lieux et des cultures. On recense principalement douze modes d'utilisation de la terre en construction.

Parmi ceux-ci, six sont couramment employés et constituent les genres techniques majeurs¹⁵:

- L'adobe ou brique moulée.
- Le torchis ou terre de remplissage d'un treillis en bois.
- La bauge ou terre empilée et façonnée.
- Le pisé ou terre damée dans des coffrages.
- Le bloc de terre comprimée.

1.4. Les avantages et inconvénients de l'architecture en terre :

1.4.1. Les avantages du matériau terre :

Le matériau terre, partout et largement disponible, présente beaucoup d'avantages parmi eux on peut citer :

- La terre est prélevée et exploitée sur site. Contrairement à d'autres matériaux, elle ne consomme aucune énergie non renouvelable et polluante.
- De grandes quantités de terre extraites au cours de grands travaux d'utilité publique, comme les routes, les travaux des fondations des constructions peuvent être recyclées et utilisées comme matériau de construction.
- Le matériau terre n'utilise que très peu d'eau de gâchage, ressource essentielle pour la vie des populations.
- Les coûts, des blocs comprimés en terre crue, en comparaison avec ceux de la maçonnerie en parpaing de ciment, de pierre ou même de brique de terre cuite, sont de 20 à 30 % inférieurs¹⁶.
- Pendant sa fabrication ce matériau ne produit aucun rejet de déchets, Son utilisation garantit aussi l'absence d'effets nocifs dans le cadre de la vie quotidienne, il a en plus l'avantage d'être presque entièrement recyclable après son utilisation initiale.
- Le mode ainsi que les outils nécessaires à la production du matériau terre sont

¹³ . CNERIB, Conception de logements économiques à base de produits localement disponibles, CNERIB, Alger, 2000, P 01

¹⁴ . P. Odul, Des architectures de terre en Algérie, projet earth construction technologies appropriate to developing countries, Belgique, 1983.

¹⁵ . <http://www.inti.be/ecotopie/>

¹⁶ . .H. Benouali, Proposition pour la relance des constructions en terre en Algérie, CNERIB, décembre 2004, p.4

simples et accessibles à tous .

- Il possède en outre des propriétés, telles qu'une grande capacité d'absorption d'eau, une masse volumique élevée, une bonne capacité à laisser transiter la vapeur, une bonne inertie thermique, des qualités phoniques et une longévité avérée

1.4.2. Les inconvénients du matériau terre :

Malgré tous les avantages que peut présenter le matériau terre cependant, il présente aussi des inconvénients majeurs :

- Il s'érode facilement, ce qui rend son emploi délicat dans les régions à forte pluviométrie .
- Utilisée en couverture elle peu prendre l'eau, s'alourdir et provoquer des affaissements .
- N'adhérant pas au bois, cela fait apparaître des décollements autour des ouvertures.
- Les liaisons entre les particules du matériau terre sont d'ordre physique, en contact avec l'eau elles se fragilisent et même se neutralisent ce qui détériore le matériau et diminue sensiblement ces caractéristiques mécaniques et sa durabilité dans le temps.

Ces inconvénients sont principalement liés à la solubilité à l'eau de la terre crue, qui cause des désordres dans les constructions qu'on désigne par pathologies de vieillissement qui varient selon les climats et dont la maîtrise peut être assurée grâce à des mesures préventives (voir tableau 02).

Tableau 02 : Mesures préventives pour la maîtrise des pathologies des constructions en terre (source : Aguarwal.A, bâtir en terre, p.51)

Climat /précipitations	Inconvénients courants	Mesures préventives
Désertique (aride) et semi-aride moins de 250 mm	-Erosion des murs par le sable -Tassement et fissures de retrait peu graves -Dégâts mécaniques	-Enduit anti-érosion en béton maigre - Bon choix de la terre -Agencement soigneusement pensé - Meilleure réalisation
Humide 700 à 1270 mm Très humide plus de 1270 mm	- Erosion des murs et fondations -Tassement et fissures de retrait très importants -Dégâts Mécaniques - Erosion par les eaux de ruissellement	-Bon agencement, bon écoulement -Dallage en béton autour de la construction -Gouttières et tuyaux -Bonne couverture, toit en surplomb -Enduit anti-érosion, imperméable -Bon choix de la terre -Meilleure réalisation

1.4.3. Impact sur le développement socio-économique du pays :

Les impacts attendus sont :

- Contribution à l'autosuffisance et au développement des ressources matérielles et techniques locales.
- Contribution à la résorption de la crise de logements que connaît notre pays.
- Création de petites et moyennes entreprises génératrices d'emplois.
- Promotion de la construction en terre.
- Minimisation de l'utilisation des matières premières importées avec des devises fortes (notamment le ciment et l'acier).
- Incitation à la modernisation des modes de productions et de construction en matériau terre.
- Conservation et préservation du patrimoine architectural en terre.
- Solutions rationnelles en énergies.
- Développement durable par la valorisation des matériaux locaux.

Synthèse :

La terre présente en effet des avantages évidents de faible consommation d'énergie grise (énergie de production).

Elle contribue aussi à la construction de maisons à faible consommation d'énergie et même passives par leur apport de masse thermique, de régulation de l'hygrométrie.

Le matériau terre possède en outre des propriétés, telles qu'une grande capacité d'absorption d'eau, une masse volumique élevée, une bonne capacité à laisser transiter la vapeur, des qualités phoniques et une longévité avérée.

2. Présentation du matériau de terre BTS :

Dans un contexte du développement durable, les constructions favorisant l'économie d'énergie et le recours aux matériaux de construction naturels à faible impacts environnementaux sont privilégiées. Parmi ces matériaux de terre on trouve les Blocs en Terre Stabilisés (BTS).

2.1. Présentation :

Le B.T.S (Bloc en Terre Stabilisé) est un matériau obtenu par mélange d'une terre sableuse, non organique, et d'un stabilisant en faible quantité. Le mélange étant comprimé après gâchage et malaxage¹⁷.



Figure 03: Blocs en Terre Stabilisés

(Source: <https://fr.hyperbrik.org>)

2.2. Choix des blocs de terre :

Contrairement au ciment, au béton ou l'acier, la terre à l'état naturel peut être utilisée comme matériau de construction presque sans dépense d'énergie.

Naturel, non toxique et sans ajout chimique, c'est un matériau sain qui régule l'humidité de l'air et la température, absorbe les odeurs et ne provoque pas d'allergies.

La terre crue est simple Eco-construction et efficacité énergétique d'utilisation, peu onéreuse, réutilisable, réversible et ne produit ni déchet, ni pollution. Autre qualité intrinsèque, la terre, qu'elle soit crue ou cuite, résiste à l'agression corrosive du sel.

2.3. Avantage du BTS :

Le B.T.S possède des avantages certains :

*Le confort thermique :

Le B.T.S présente des caractéristiques bien meilleurs que celles du béton de ciment.

*Le confort acoustique :

Le béton présente de très bonnes caractéristiques. Elles sont similaires à celles du béton de ciment classique.

¹⁷ .A. Hamid, 'Etude Expérimentale du Prototype Réalisé au C.N.E.R.I.B.', Rapport Interne CDER/LT DBT, 1995.

*Le Coût :

Le B.T.S est économique. La terre apte se trouve dans la plupart des cas, disponible localement en abondance.

Les faiblesses des constructions traditionnelles en terre sont l'humidité et la durabilité. Mais avec une terre adéquate, stabilisée, dosée en comprimée convenablement, il est possible d'obtenir un matériau aussi résistant et aussi durable que les matériaux utilisés habituellement.

2.4. Analyse des terres utilisées pour la fabrication du BTS :

La terre idéale n'existe pas. Il faut utiliser une terre de proximité. Dans la plupart des cas elle peut convenir telle quelle ou alors en amendant (avec du gravier, du sable, des liant).

Les bonnes terres de construction peuvent être trouvées en dessous de la couche de terre végétale. Pour la trouver, on enlèvera d'abord la terre végétale que la matière organique rend impropre.

Les différents types de terre sont définis par la proportion de trois composants fondamentaux : le sable, le limon et l'argile.

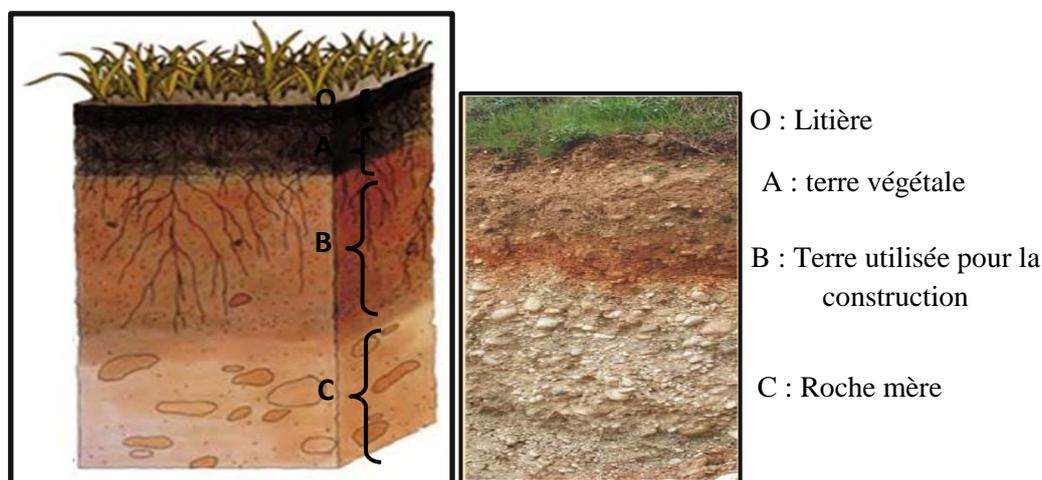


Figure 04: Extraction de la terre pour la construction (Source : Bâtir en terre, centre régional des éditions techniques(CRET), Paris)

Les graviers, sables et limons sont les éléments de structure et les argiles agissent à la manière d'une colle. Pour les BTS, on cherche à avoir environ de 15 à 25% du total d'argiles. Ce pourcentage varie en fonction de la granulométrie des éléments inertes dans la terre analysée : plus les éléments sont fins, plus il y a de surface à enrober, plus il faudra d'argile.

2.4.1. Composition de la terre :

La terre se compose de divers éléments que l'on peut classer ainsi :

- Éléments chimiquement inertes grossiers, qui sont les graviers (5 à 50 mm) et les sables (80 μ m à 5 mm). Ces éléments assurent le squelette du matériau. Mais, pour que celui-ci apporte une résistance au sol, il faut qu'il y ait un minimum de contact entre les grains afin de mobiliser des efforts de frottement interne.

- Éléments chimiquement inertes fins (silts), qui sont composés de grains de sables très fins (2 à 80 μm). Ils absorbent peu d'eau et permettent d'une part, de diminuer les frottements entre grains lors de compactage, et d'autre part de caler ces grains en bouchant les trous laissés entre eux.
- Éléments fins chimiquement actifs à base argileuse. Elles permettent de lier les éléments inertes entre eux. Elles agissent à la manière d'une colle. En dessous de 2 μ , on trouve les argiles. Les argiles ont une structure en feuilles liées entre elles par des liaisons ioniques. Les argiles sont des phyllosilicates.

2.4.2. Analyse des terres :

Il est utile de procéder à des analyses qualitatives des terres que l'on souhaite employer pour la construction, Pour faire ces analyses, il faut effectuer (pour avoir un échantillon suffisamment représentatif) plusieurs prélèvements, en plusieurs endroits du lieu prévu d'extraction.

Ces analyses de terrain donnent des indications permettant de réaliser des essais de fabrication des BTS. Mais ce n'est qu'au vu de la qualité des briques et autres éléments fabriquées que l'on pourra se déterminer sur le choix d'une terre.

La terre employée pour les BTC doit avoir certaines caractéristiques parmi lesquelles :

- La cohésion. Présence d'argiles de bonne qualité en quantité suffisante, qui vont lier tous les éléments entre eux.
- La plasticité. Aptitude à la déformation du matériau sans fissuration
- La compressibilité. Capacité à se densifier lors du compactage
- La granulométrie. Bonne représentation de toutes les fractions d'éléments, de manière à ce qu'ils s'organisent entre eux sans laisser de vides.

2.5. Production de blocs en terre stabilisés :

A l'état naturel, la terre peut posséder un certain degré d'humidité. Pour la faire sécher, on l'étale en couches minces sur une surface plane. Lorsque la terre a suffisamment perdu de son humidité naturelle, on écrase à coups de pelle les mottes qu'elle peut contenir. Ensuite on la tamise avec un crible dont les mailles ont un diamètre de 5 mm.



Le matériau passé à travers le crible est prêt à l'utilisation. Il faut le conserver protégé contre l'humidité et proche de l'endroit où l'on préparera la terre stabilisée.

Figure 05: Le tamisage de la terre
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Remarque

La pulvérisation de la terre est très importante pour garantir un mélange intime des constituants. La présence de 50% de mottes de grosseurs supérieure à 5 mm est susceptible de réduire de moitié la résistance à la compression.

2.5.1. Mélange de composants :

Il faut préparer les quantités précises dans les proportions établies auparavant. Pour réussir cette opération, on recommande d'utiliser un récipient dont on connaît la grandeur et qui est facile à manipuler.

Lorsqu'on a mesuré la quantité de terre nécessaire, on étale celle-ci sur l'air de gâchage en une couche d'une épaisseur de 10 cm, puis on répand le stabilisant (ciment, chaux, etc.) uniformément sur la couche de terre. Cette opération de mélange est terminée lorsque la terre présente une couleur uniforme.

A. Addition de l'eau de gâchage – malaxage :

La terre et le liant ayant été soigneusement mélangés à sec, on étale le matériau en une mince couche (10 cm) et on y ajoute l'eau avec un arrosoir de façon que le gâchage soit uniformément imprégné, et on procède au malaxage.

Pour déterminer correctement la quantité d'eau de gâchage, prendre une poignée de mélange prêt à l'utilisation et si après l'avoir comprimée dans la main elle conserve la forme de celle-ci sans se désagréger.

B. Caractéristique spécifique des presses :

Il existe plusieurs types de presses différentes qui permettent une modulation en plusieurs gammes en fonction de l'importance des programmes. Il existe même des unités de production pouvant aller jusqu'à 10.000 blocs/jour.

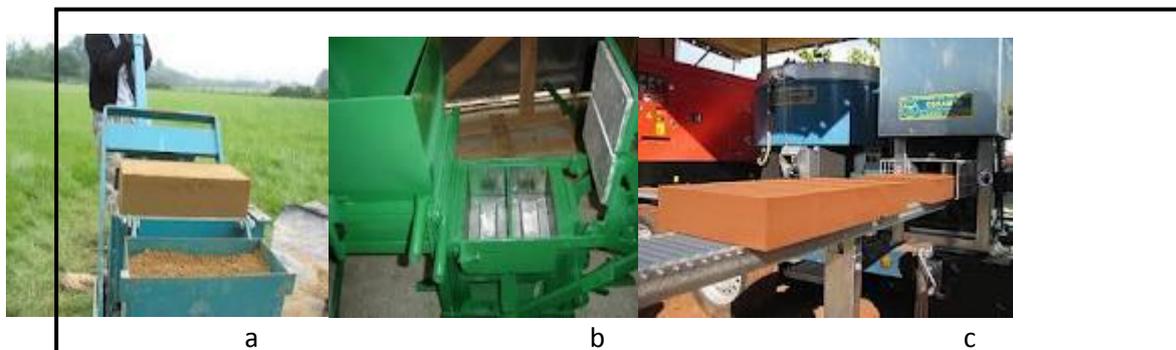


Figure 06: Presses pour la fabrication des BTS
a) presse manuelle, b) presse motorisée, c) chaîne de production
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Le compactage se fait de différentes manières :

- Le compactage au passoir à main dans les moules est une technique ancienne, longue, fastidieuse et coûteuse en main-d'œuvre.
- Le compactage à l'aide d'une presse manuelle à levier, technique déjà largement éprouvée, compte sur le compactage et non plus sur le retrait de l'argile au séchage pour assurer la cohésion du matériau.

- Le compactage par une presse industrielle ou semi-industrielle se caractérise par une pression importante.

C. Procédé de fabrication des blocs de terre :

Cette opération doit être réalisée immédiatement après le malaxage, et avant la prise (50 min.) pour une stabilisation au ciment. Pour une stabilisation à la chaux le compactage sera réalisé après quelques heures (2 à 4h).

On introduit le mélange dans le moule (prévu pour contenir la terre nécessaire à l'obtention d'une brique correctement comprimée). On remplit le bac doseur avec de la terre foisonnée préparée au point Proctor. Pour assurer l'homogénéité des blocs, on doit le remplir toujours avec la même quantité de matériau. Pour cela, on utilise un récipient doseur.



Figure 07: Remplissage du moule
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Une fois rempli et arasé, on fait pivoter le bac doseur de manière à remplir le moule de compactage.

Pour renforcer les angles, on enfonce les doigts dans les quarts coins du moule avant de répartir la terre dans le moule (on aura ainsi une forte compression aux angles).



Figure 08: Renforcement des angles
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Le moule fermé, on procède au compactage. Le compactage sera correct lorsque le levier descend jusqu'à ce qu'il soit parallèle au sol. Il s'effectue de manière manuelle, mécanique, statique ou dynamique.

En outre, le compactage mécanique permet par l'amélioration des résistances mécaniques, la confection de blocs creux ou évidés et de blocs spéciaux ayant différentes formes (blocs coffrant pour chaînage, blocs d'angle, dallage). Le compactage manuel ne permet que la fabrication de blocs pleins de dimensions réduites pouvant être utilisés en murs porteurs ou de séparation.



Figure 09: Compactage des blocs
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Le bloc compacté est retiré du moule, il doit être transporté avec précaution jusqu'à l'aire de stockage.



Figure 10: Démoulage des blocs
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

On prend la brique par les cotés pour ne pas abîmer les arrêtes et on la stocke de chant pour le séchage sur une palette posée bien à plat (pour pouvoir superposer plusieurs rangs, il faut que toutes les briques d'un même rang aient la même hauteur et cela est possible sur la largeur des briques qui a une valeur très précise définie par le moule).

Pendant le séchage, il faut stocker les briques dans un endroit leur permettant de sécher lentement et d'une manière homogène pour éviter la formation de fissures dues à un retrait trop rapide.

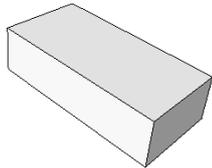
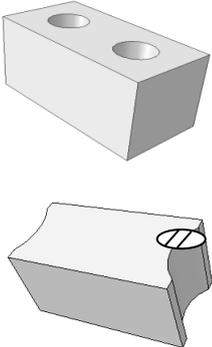


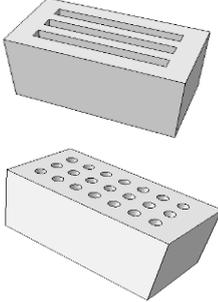
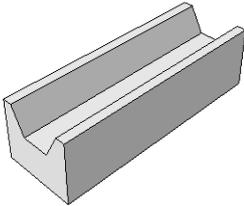
Figure 11: Séchage des blocs
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Le tableau suivant donne à titre indicatif : la forme, les dimensions, la destination et le mode de fabrication des blocs.

Tableau 3 : Dimensions – fabrication destination des B.T.S

(Source : Meukam P., Noumowé A., Jannot Y., Duval R. (2003) Caractérisation Thermo-physique et Mécanique de Briques de Terres Stabilisées en vue de l'Isolation Thermique de Bâtiment. Materials and Structures, Rilem, Vol. 36, N°261, 2003.)

Types de blocs	Dimensions	Schémas des blocs	Destination	PERFORE
Blocs pleins	$14 \times 29 \times 9$ $14 \times 29 \times 14$ $25 \times 12 \times 7$ $23 \times 11 \times 6$		Murs porteurs Murs séparateurs Mur porteurs séparateurs	Hydraulique Mécanique Manuelle
Blocs creux	$15 \times 20 \times 40$ $20 \times 20 \times 40$		Murs porteurs	Hydraulique

Types de blocs	Dimensions	Schémas des blocs	Destination	PERFORE
Blocs vides	15 x 20 x 40 20 x 20 x 40		Mur porteurs séparateurs	Hydraulique
Blocs en U	40 x 16 x 20		Blocs chaînage pour	Hydraulique

D .La stabilisation :

Suivant l'usage que l'on va faire des briques, il peut être nécessaire de les stabiliser. Une brique de terre comprimée non stabilisée possède de très bonnes propriétés d'échanges thermiques et hygrométriques, aussi une résistance suffisante à la compression pour pouvoir être utilisée dans la construction. Mais au contact de l'eau, elle redevient plastique (si on immerge une BTC dans un seau d'eau, le lendemain, il ne reste plus qu'un tas de boue au fond du seau).

La stabilisation fige les argiles et améliore la résistance à la compression des briques, Les stabilisants les plus couramment utilisés sont :

- Le ciment
- La chaux
- Les bitumes

Type et pourcentage de stabilisants :

En fonction de la granulométrie du sol, on choisit le type de stabilisant :

- Les sols argileux sont stabilisés à la chaux ;
- Les sols sableux sont stabilisés au ciment ;
- Le bitume quand à lui peut jouer un rôle de liant pour les sols à forte proportion de sable et un rôle d'hydrophobant pour les sols argileux.

Une fois le type de stabilisant choisi, il est important de définir sa proportion.

A cet effet, on doit réaliser des essais à différents dosages.

Les pourcentages de stabilisation à tester doivent être compris dans les fourchettes suivantes :

- 4 à 10 % pour le ciment
- 2,5 à 10 % pour la chaux
- 5 à 13 % pour les émulsions de bitume¹⁸.

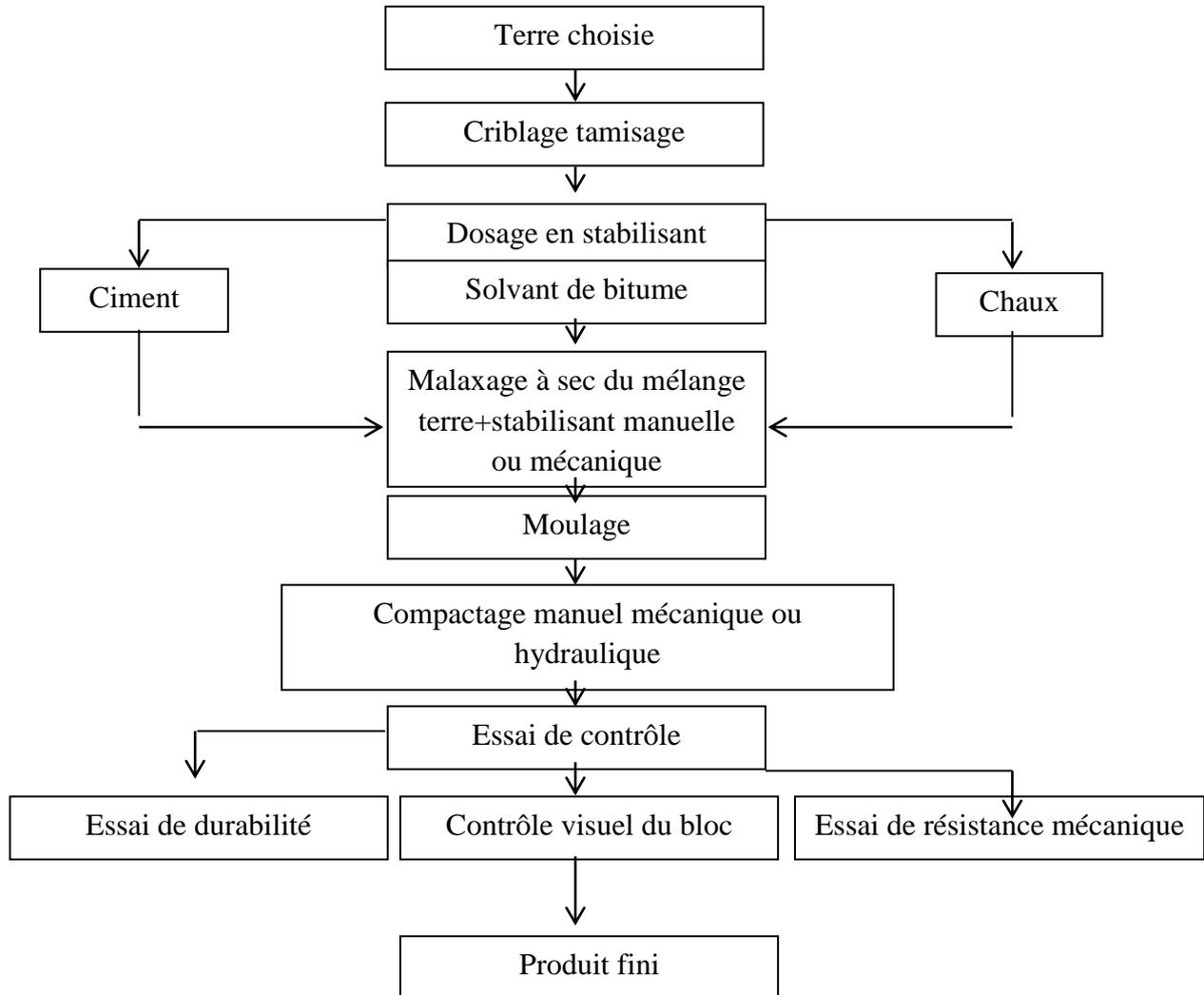


Figure 12: Cycle de production des BTS
(Source : Auteur)

2.6. Caractérisation thermo-physique du bloc de terre stabilisé :

2.6.1. Description du dispositif de mesure :

Le dispositif utilisé pour déterminer les valeurs du coefficient de conductivité thermique et de la chaleur spécifique de nos éprouvettes est la méthode du fil chaud.

L'appareillage utilisé est le CT-mètre développé par le SCTB, conforme à la norme NF EN 993-15¹⁹.

¹⁸.A. Hamid, 'Etude Expérimentale du Prototype Réalisé au C.N.E.R.I.B.', Rapport Interne CDER/LT DBT, 1995

¹⁹.A. Hamid, 'Etude Expérimentale du Prototype Réalisé au C.N.E.R.I.B.', Rapport Interne CDER/LT DBT, 1995.

La méthode du fil chaud permet d'estimer la conductivité thermique d'un matériau et de la chaleur spécifique à partir de l'évolution de la température mesurée par un thermocouple placé à proximité d'un fil résistif.

La sonde, constituée du fil résistif et du thermocouple dans un support isolant, est positionnée entre deux échantillons du matériau à caractériser.



Figure 13: Réalisation des essais avec le CT-mètre au CNERIB, (Source : auteur)

Le CT-mètre, développé au CSTB, utilise cette méthode avec les critères suivants :

- Température de mesure 20 à 80 °C ; □ □ Echantillons : 80 x 40 mm.

La résistance thermique (R) des éléments est proportionnelle à l'épaisseur (e) et inversement proportionnelle à λ , elle est déterminée suivant la relation : $R=e/\lambda$

2.6.2. Résultat de mesure :

A. Des conductivités thermiques :

Les résultats des valeurs du coefficient de conductivité thermique et de la résistance thermique des éprouvettes sont portés au tableau suivant :

Tableau 04: Résultats expérimentaux de la conductivité thermique du matériau utilisé (source : auteur)

Eprouvette	λ (w. m ⁻¹ °C ⁻¹)	E (m)	$R=e/\lambda(m^2°C/w)$
Bloc de terre stabilisé	0.9	0.5	0.555

B .De la mesure de la chaleur spécifique :

Les résultats des valeurs de la chaleur spécifique des éprouvettes, à l'état sec et humide, sont portés au tableau suivant :

Les quatre propriétés thermo-physiques, à savoir la conductivité thermique, la diffusivité thermique la chaleur spécifique et l'effusivité thermique sont liées par les relations suivantes :

$$\alpha = \lambda / \rho c.p \quad E = \sqrt{\lambda \rho c.p}$$

Chacune des grandeurs peut être calculée si on connaît les valeurs expérimentales des deux autres grandeurs. Ce qui nous permet de calculer la valeur de l'effusivité thermique α , et de la diffusivité thermique (E) Ce qui nous donne :

$$\alpha = \lambda / \rho c.p = 0.9 / 2500.1426 = 0.00000025 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$E = \sqrt{\lambda \rho c.p} = \sqrt{0.9. 2500.1426} = 1791 \text{ J/m}^2. \text{ }^\circ\text{C. S-0.5}$$

$$C = \lambda \rho c.p = 3565 \text{ kJ/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tableau 05: Résultats de mesure de la chaleur spécifique des éprouvettes (source : auteur)

Eprouvette	Masse Volumique (kg/m ³)	Chaleurs spécifiques (kJ/kg. °C)
Bloc de terre stabilisé	2500	1426

2.6.3. Interprétation des résultats :

Plus la diffusivité thermique est petite plus la chaleur se propage moins rapidement dans le matériau. La valeur de $\alpha = 2.5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ce qui est un très bon résultat en comparaison à d'autres matériaux.

La valeur de la chaleur spécifique est intéressante du moment qu'elle avoisine les 1426 J/kg °C, un matériau capable de procurer une certaine inertie thermique synonyme de confort thermique.

Pour la valeur de la conductivité thermique, elle ne peut en aucun cas refléter les valeurs des matériaux dits isolants thermique, elle est de $\lambda = 0.9 \text{ w /m }^\circ\text{C}$.

Par contre en termes de résistance thermique des parois en terre crue de 50 cm d'épaisseur le résultat est très intéressant puisqu'il avoisine la valeur de $0.555 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/w}$.

Tableau 06: Caractéristiques thermo-physiques du BTS (source : schématiser par l'auteur)

(Source : R. Yezou, 'Contribution à l'Etude des Propriétés Thermo-physiques des Matériaux de Construction Cohérents et non Cohérents', Thèse de Docteur-Ingénieur, INSA, Lyon, 1998.)

Performance technique des blocs de terre stabilisés			
Caractéristiques	Symbole	Unité	BTS
Résistance a la compression sèche 28J	Rc	MPa	>4
Résistance a la compression humide 28J	Rc	MPa	>2
Résistance a la traction sèche 28J	R	MPa	1 2
Résistance a la flexion sèche 28J	Rf	MPa	0.5 1
Résistance au cisaillement sec 28J	Rc	MPa	0.5
Module de Yong	E	MPa	700a 7000
Masse volumique apparente	ρ	Kg/m ³	1700 2200
Coefficient de poisson	μ		0.15a 0.35
Conductivité thermique	λ	W/mc°	0.93a 1.04

Synthèse :

- A travers ce chapitre on peut prendre une idée globale sur la convenance des terres et les différents moyens de laboratoire et de terrain, qui permis de réaliser les tests d'identification, caractérisation, acceptation et finalement de production d'un produit durable pour la fabrication des blocs en terre stabilisée BTS.
- Les analyses, tests et essais concernant la construction en terre peuvent être réalisés avec un matériel classique. Ils ne demandent pas, ou très peu, de matériel spécifique.
- Il convient de souligner que les paramètres de production ont une influence considérable sur la qualité du produit fini, sur les rendements et sur l'économie. L'optimisation de la production peut être décisive pour l'acceptation.
- Une bonne maîtrise des techniques d'identification des terres orientera les choix en matière de stabilisation. De ce fait, il est important de rappeler que pour avoir un matériau durable l'utilisation de stabilisants est indispensable afin d'améliorer sa cohésion par changement des propriétés initiales des composantes terre-eau-air.
- Les caractéristiques de très nombreuses variétés de terre peuvent être améliorées considérablement grâce à l'ajout de stabilisants. Mais, à chaque variété de terre correspond le stabilisant approprié. On dénombre à ce jour plusieurs produits employés pour la stabilisation des sols ou des terres à bâtir.

3. Le confort thermique :

Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement, cela a poussé l'homme à se protéger des rigueurs du climat en créant à l'intérieur de son habitat les conditions d'un relatif confort.

L'adaptation de l'habitat à l'égard du rayonnement solaire et des facteurs climatiques en général se faisait de manière naturelle, les villes sahariennes et méditerranéennes, les villages chinois enfoncés dans le sol ont toujours étonné par leur fraîcheur. Ainsi, l'architecture bioclimatique a trouvé en ces conceptions, de bonnes raisons d'être appréciée.

Ce chapitre montre la relation entre l'architecture et le climat pour répondre au confort thermique.

3.1. L'architecture et le confort thermique :

Relation : Architecture-Climat :

De tous temps, l'homme a essayé de tirer parti du climat pour gagner du confort et économiser l'énergie dans son habitation. Aujourd'hui, des règles d'adaptation à l'environnement, à l'architecture et aux climats permettent d'allier une tradition millénaire et des techniques de pointe.

De nos jours, les exigences du confort augmentent et se multiplient de plus en plus et les concepteurs semblent avoir négligé la fonction d'adapter le bâtiment au climat et à la maîtrise de l'environnement intérieur et extérieur. Ils ont confié le soin à la technologie de créer un environnement artificiel.

En considérant l'architecture dans une recherche d'intelligence, celle-ci doit créer elle-même, par son enveloppe (forme, matériaux, répartition des ouvertures) et ses structures intérieures, un microclimat confortable. L'architecture doit être étudiée en fonction du climat²⁰ et s'adapter à son environnement le plus proche, en utilisant les matériaux locaux et de recyclage capables d'améliorer non seulement le confort thermique mais également l'environnement.

Aujourd'hui, il faut réorganiser la relation entre l'architecture et son milieu, sous l'angle de la double responsabilité ; par rapport au milieu actuel et par rapport à celui des générations futures. En d'autre terme, on doit adapter le bâtiment au climat et au mode de vie des futurs habitants, car un mauvais choix peut coûter très cher à long terme sur le plan énergétique.

Dans les pays à climat chaud, aujourd'hui encore, le constat des conditions d'inconfort extrême que l'on rencontre dans les bâtiments est sévère : les conséquences néfastes pour les occupants sont nombreuses.

Pour cela, des concepts nouveaux dans le vocabulaire architectural tel que : « Architecture bioclimatique », « solaire passive », « architecture climatique » où une conception consciente de l'énergie, bâtiment à énergie zéro et à énergie positif a pris en considération les mécanismes du confort et l'économie d'énergie²¹ insistent sur la relation de l'habitation au

²⁰ . Lavigne Pierre, Architecture climatique une contribution au développement durable Tome1 : bases physiques, EDISUD 1994, P. 13.

²¹ . G. Alexandroff et J .M, Architecture et climat soleil et énergies naturelles dans l'habitat; édition architectures Berger-Levrault, Paris1982, P. 216.

climat en vue de créer des ambiances « confortables » par des moyens spécifiquement architecturaux.

3.2. Le confort thermique et l'analyse bioclimatique :

3.2.1. Le confort thermique :

Le confort thermique est la sensation d'équilibre et de contentement exprimé par l'individu envers les conditions thermiques. ASHRAE²² le définit : *“Thermal Comfort is that condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment”*. Selon la norme ISO 10551²³, l'homme perçoit et interprète son état thermique en fonction de ses préférences individuelles. Il porte un jugement qui peut être, perceptif, évaluatif ou préférentiel. Donc le confort thermique ne se résume pas à des paramètres physiques, mais il fait aussi intervenir des données subjectives.

Le confort thermique est le résultat d'un enchaînement successif de plusieurs phénomènes qui relèvent de différentes disciplines. En génie climatique, il s'agit de déterminer les effets du climat extérieur sur le bâtiment pour le dimensionnement des équipements. Les thermiciens font des études poussées pour connaître les champs de température et l'indice de confort. Tandis qu'en thermo-physiologie, on étudie d'avantage les effets de l'environnement thermique intérieur sur le corps humain pour le calcul des grandeurs thermo-physiologiques.

En fin en psycho-sociologie, on s'intéresse à l'évaluation du climat intérieur par l'être humain grâce à l'interprétation en termes d'acclimatation qui est la composante subjective²⁴.

3.2.2. Les outils d'évaluation du confort thermique :

Diverses recherches ont été menées pour connaître les limites du confort thermique sous forme d'indices et de diagrammes bioclimatiques. Débutant en 1923 par l'établissement de la température effective 'ET index' par F. Houghton et C. Yaglou²⁵.

Cet indice indique la sensation thermique après une exposition aux paramètres climatiques. En 1953 le premier « diagramme bioclimatique » a été proposé par V. Olgay, avec la vitesse de l'air nécessaire pour établir le confort en relation avec l'humidité et le refroidissement par évaporation Figure 19.

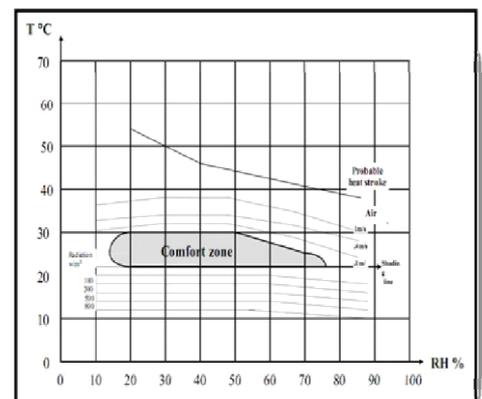


Figure 14: Diagramme bioclimatique d'Olgay, (source: Olgay, 1953)

Par la suite ASHRAE a présenté une zone de confort d'été et d'hiver sous forme de température effective. L'outil est resté en application jusqu'à 1961 où d'autres recherches

²² . ASHRAE: American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers.

²³ . ISO 10551 (International Standard Organization) : Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelle de jugements subjectifs.

²⁴ . Thelier. F et al, Les outils d'évaluation du confort thermique, Journée SFT/ CSTB, 04/02/2003, Nantes.

²⁵ . D. Medjelekh, Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment, Cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma, Mémoire de magistère, université de Constantine, 2006.

en 1970 ont abouti à la détermination de la température neutre par M. Humphrey, dont la formule est : $T_n = 11.9 + 0.534 T_0$

Où:

T_n : température neutre en °C et T_0 : température extérieure moyenne du mois en question en °C.

A l'encontre de la méthode d'Olgay qui est plutôt recommandée pour assurer le confort extérieur en climat chaud et humide, B. Givoni a établi un diagramme psychrométrique où il exprime les techniques et les dispositifs architecturaux à utiliser pour établir le confort intérieur .

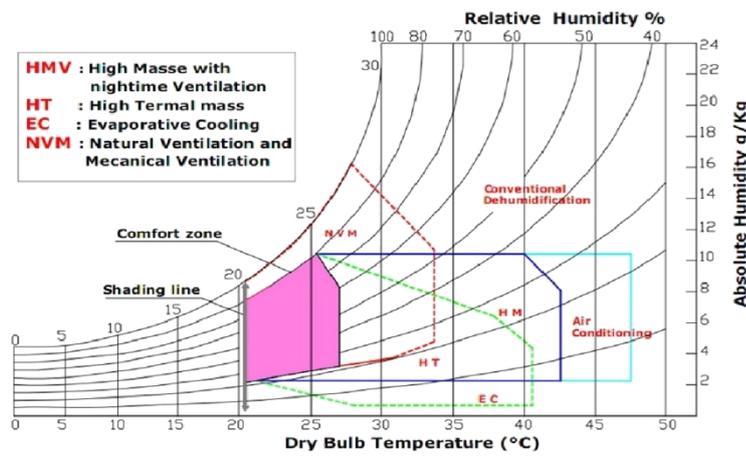


Figure 15 : Diagramme bioclimatique de Givoni
(source: Givoni 1978)

Or, les diagrammes et les outils proposés jusqu'ici ont été critiqués en 1980 par Evans et Szokolay, à cause du problème soulevé l'incohérence entre les résultats du confort thermique calculé et le confort réel perçu par les sujets.

En 1981, Auliciems est arrivé à déterminer une nouvelle formule de la température neutre, en révisant celle de M. Humphrey, dont la formule est : $T_n = 17.6 + 0.31 T_0$

En 1983, Koenigsberger et al ont élaboré la méthode dite « Forward Analysis » ou analyse préalable. Basée sur les tables de Mahoney pour l'établissement des principes de conception avec une analyse climatique préalable²⁶.

1984, la norme internationale ISO 7730²⁷, a suggéré d'estimer les ambiances thermiques modérées utilisées en habitat et le travail dans les bâtiments à l'aide de deux indices.

Le premier PPD²⁸, fournit un avis statique moyen d'appréciation du confort de l'ambiance.

²⁶ . Koenigsberger et al, Climatic design, London, New York: Ed LONGMAN 1974, P. 306

²⁷ . ISO 7730: Ambiances thermiques modérées- Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique. Zone de confort: $-0,5 < PMV < +0,5$ moins de 10 % d'insatisfaits

²⁸ . PPD: Predicted Percentage Dissatisfied (vote moyen prévisible).

Le second PMV^{29} , indique le nombre de divergents.

L'indice PMV-PPD a été développé à partir du calcul d'un bilan thermique simplifié du corps humain dans un état proche du confort et de relations empiriques établies grâce à une grande base de données expérimentales de Fanger en 1970.

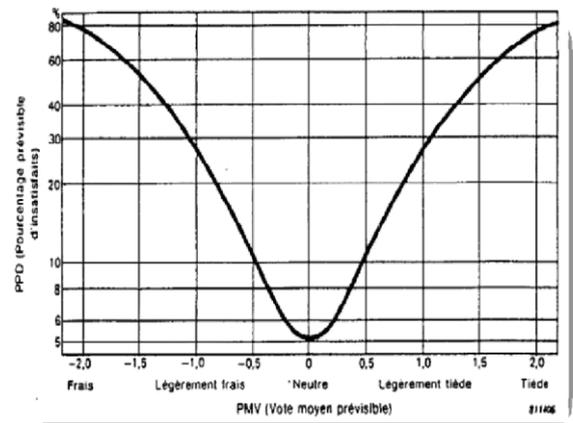


Figure 16 : PMV-PPD (source: Norme SN EN ISO 7730)

La norme ISO 7730 a déterminé ainsi la température opérative en fonction des conditions climatiques, l'habillement et l'activité du sujet Figure 22.

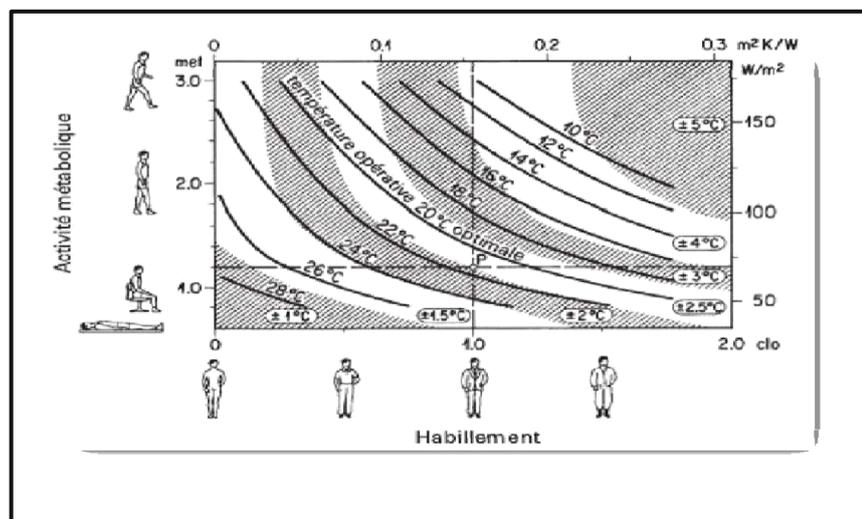


Figure 17 : Température opérative optimale en fonction de l'activité et de l'habillement, (source: Norme SN EN ISO 7730)

3.3. Notions de confort thermique :

Le corps ne peut se maintenir à sa température normale de 37°C que s'il peut constamment dissiper dans le milieu où il est, au rythme de ses activités, la chaleur qu'il ne consomme pas. Au repos, un adulte doit dissiper environ 116 W. Cette dissipation se produit selon les mécanismes suivants :

- par rayonnement (échange avec les parois du local),
- par convection (échange avec l'air) ;
- par évaporation (de l'eau du corps) ;
- par conduction (par les pieds en contact avec le sol).

La dissipation dépend des températures environnantes puisque ce sont les écarts entre elles et

²⁹ . PMV: Predicted Mean Vote.

la température du corps qui font naître les échanges.

Il s'agit de la température de l'air et des températures des parois. Il faut noter qu'une importante différence de température entre l'air du local et les parois est le signe d'une mauvaise isolation thermique.

Le confort thermique dépend principalement de la température d'ambiance, de l'humidité de l'air, et du renouvellement d'air.

La température d'ambiance

Une première exigence à satisfaire concerne la température d'ambiance. Elle traduit le confort général dans un local. Mais cette exigence varie selon les individus et selon le type d'activité.

On considère généralement qu'en hiver la température d'ambiance doit être proche de 20°C.

En été, on vise une température comprise entre 24 et 27°C.

L'humidité de l'air

Une autre exigence concerne l'humidité de l'air : une trop faible humidité peut provoquer l'irritation des muqueuses. L'humidité de l'air n'a pas d'incidence sur le confort dès lors qu'elle se situe dans la plage 35%-65% d'humidité relative.

Le renouvellement de l'air

Une troisième exigence concerne le renouvellement de l'air nécessaire à l'évacuation du gaz carbonique, des poussières, des odeurs et à l'alimentation en oxygène nécessaire à la respiration. On admet qu'il suffit, dans un logement, d'un taux de renouvellement d'air égal en moyenne à une fois le volume des pièces principales par heure.

Les critères de gênes localisées

A côtés des critères définis plus haut, il faut faire intervenir d'autres critères traduisant des gênes localisées liées à des hétérogénéités de l'ambiance thermique.

On distingue principalement la gêne due à l'asymétrie du rayonnement. C'est le cas par exemple lorsqu'une paroi nettement plus froide que les autres (une grande baie vitrée par exemple) provoque un fort échange par rayonnement appelé souvent effet de paroi froide.

3.4. Les facteurs influant le confort thermique :

3.4.1. La démarche bioclimatique :

Nos climats n'offrent pas de conditions suffisantes pour assurer le confort thermique toute l'année, il est nécessaire de corriger ses données par le chauffage ou la climatisation des bâtiments. L'objectif à poursuivre est donc d'obtenir la meilleure adéquation entre le climat, le bâtiment et le comportement de l'occupant.

Redécouverte au début des années 70, l'architecture bioclimatique recherche une synthèse harmonieuse entre la destination du bâtiment, le confort de l'occupant et le respect de l'environnement. Elle permet de réduire les besoins énergétiques et de créer un climat de bien être dans les pièces avec des températures agréables, une humidité contrôlée et un éclairage naturel abondant.

En effet, une architecture bioclimatique tire le meilleur parti du rayonnement solaire et de la circulation naturelle de l'air. Il s'agit de trouver l'équilibre idéal entre l'habitat, le mode de

vie des occupants et le climat local, afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions de confort. Sous les climats arides, les variations de l'ensoleillement, du vent et des températures nécessite une mise en œuvre de diverses stratégies adaptées aux différentes saisons. En hiver, il importe de profiter des apports solaires et de se protéger du froid, en été par contre, il faut se préserver du soleil.

L'habitat bioclimatique s'accorde enfin aux rythmes naturels en tirant le meilleur parti possible de la lumière naturelle (stratégie de l'éclairage naturel).

En 1999, ces objectifs environnementaux étaient plutôt avant-gardistes. Aujourd'hui, «bâtir durable» est une tendance forte, tant auprès des particuliers que des entreprises. La conception architecturale bioclimatique s'inscrit dans la problématique contemporaine liée à l'aménagement harmonieux du territoire et à la préservation du milieu naturel.

Cette démarche, partie prenante du développement durable, optimise le confort des habitants, réduit les risques pour leur santé et minimise l'impact du bâti sur l'environnement.

Parler d'architecture bioclimatique, au-delà des questions d'économie d'énergie et de protection de l'environnement c'est avant tout se référer au bien-être des habitants.

3.4.2. La construction passive :

Une conception architecturale vise à utiliser les éléments favorables du climat et de l'environnement, en vue de la satisfaction des exigences du confort thermique. A cet effet, la conception du bâtiment à faible consommation constitue une relation optimale entre l'habitat et le climat, en vue de créer une ambiance confortable par des outils architecturaux.

Le but de cette architecture est d'exploiter les effets bénéfiques du climat (captage du soleil en hiver, ventilation en été) tout en offrant une protection contre les effets négatifs (trop de soleil en été, expositions aux vents dominants), une conception qui intègre les mesures d'efficacité énergétique et qui place l'occupant et son confort au centre de ses préoccupations.

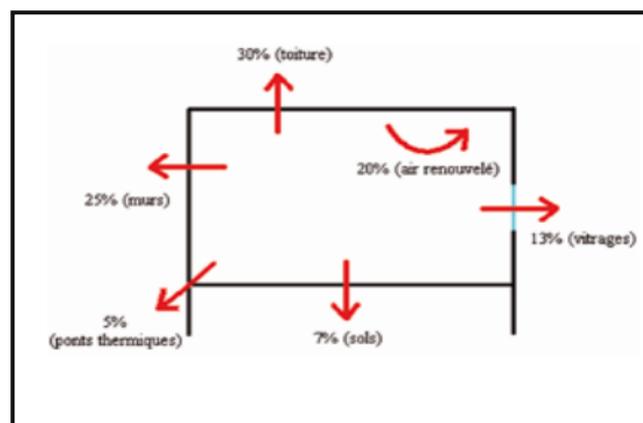


Figure 18 : Déperditions dans un habitat non isolé

(Source : Guide pour une construction éco énergétique en Algérie)

Pour valoriser la conception éco-énergétique, on doit tenir compte des facteurs les plus importants et qui se résument en :

- ensoleillement de toute l'enveloppe du bâtiment.
- température de l'air suivant l'heure du jour et la position du soleil.
- orientation du bâtiment (par rapport au soleil et au vent).
- caractéristiques des parois extérieures (masse thermique, couleur, état de surface des matériaux, isolation...).
- protection solaire de toutes ses parois.
- emplacement et dimensions des fenêtres.

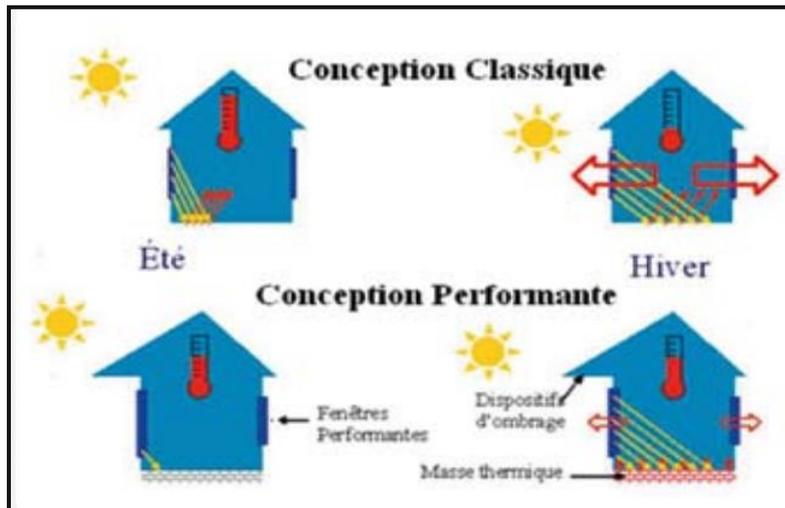


Figure19 : Différents concepts passifs pour une température de confort

(Source : Guide pour une construction éco énergétique en Algérie)

3.5. L'isolation thermique :

Elle joue un rôle fondamental pour la réduction des consommations énergétiques et également pour créer un espace de vie sain et plus confortable.

En hiver, l'isolation permet de garder la chaleur à l'intérieur et donc de limiter les déperditions thermiques du bâtiment. En été, elle permet également de limiter le flux de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment.

L'isolation thermique par l'extérieur s'impose comme une solution performante pour atteindre l'objectif de diminuer les besoins de chauffage ou de climatisation et les émissions de CO₂ associées³⁰.

³⁰. A. Bonhomme. Isolation thermique des bâtiments. 4e édition mise à jour et augmentée. Ed. du Moniteur, Paris 1979, P. 24

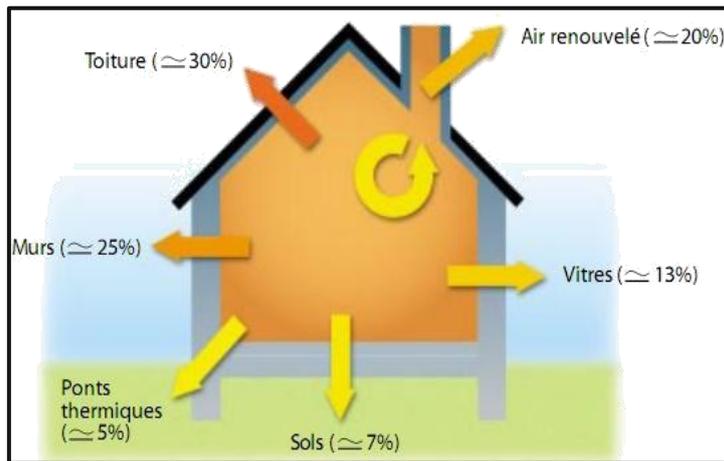


Figure 20 : Ensemble des déperditions thermiques d'une maison non isolée,

(Source ADEME Graphics).

Pourquoi isoler?

- Réalisation d'une isolation thermique performante d'un bâtiment pour réduire les dépenses de chauffage.
- Réalisation de l'étanchéité du bâtiment.
- Rénovation de l'aspect des façades.
- Suppression des ponts thermiques.
- Pas de perte de surface habitable.
- Vaste choix de finitions.
- Amélioration du confort de vie pour l'occupant, été comme hiver.

3.5.1. Thermophysiques des matériaux isolants :

Dans le bâtiment l'appellation isolant thermique est réservée aux produits dont la résistance thermique, aptitude d'un matériau à ralentir la propagation de l'énergie qui le traverse.

La détermination des propriétés thermo-physiques de ces matériaux pourrait être d'une grande utilité pour l'évaluation de leur efficacité dans l'isolation thermique des bâtiments.

Pour introduire les caractéristiques thermo-physiques internes des matériaux, on va rappeler quelques notions de base sur la propagation de la chaleur dans les solides et nous exposerons ensuite quelques méthodologies de mesure qui permettent d'obtenir les coefficients.

Les grandeurs thermo-physiques que nous allons examiner pour les blocs de terre stabilisés étudiées sont : - la conductivité thermique - la diffusivité thermique - la chaleur massique.

• La conductivité thermique :

La conductivité thermique est l'une des propriétés thermo-physiques la plus recherchée pour les matériaux de construction.

En régime permanent, dans le cas le plus simple de l'écoulement unidimensionnel de chaleur à travers un mur homogène d'épaisseur e et de températures uniformes T_1 et T_2 .

• **Diffusivité thermique :**

Lorsque la température du milieu est fonction du temps et que la conductivité dépend de la température et des coordonnées spatiales.

• **Chaleur massique :**

L'équation calorimétrique classique : $Q = m C_p (T_2 - T_1)$ montre que la quantité de chaleur absorbée par un corps de masse m quand sa température augmente de T_1 à T_2 est proportionnelle à la chaleur massique C_p du solide considéré. Pratiquement, la chaleur massique C_p d'un corps correspond à la quantité de chaleur dont il a besoin pour que la température d'une unité de sa masse s'élève d'un degré. Ceci met en évidence l'importance de la chaleur massique pour tous les calculs de stockage de chaleur ou de transport de chaleur. D'autre part, la chaleur massique intervenant dans la diffusivité thermique α , sa mesure est souvent nécessaire.

3.5.2. Modes de transfert thermique :

Les principaux modes de transfert thermique sont la convection, le rayonnement et la conduction.

La convection :

C'est le phénomène qui décrit l'échange de chaleur entre un fluide et une surface. Les échanges sont proportionnels aux gradients de températures (différence de potentiels) et à la surface d'échange. Ils dépendent fortement de la vitesse du fluide.

Le rayonnement :

C'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces. Les échanges par rayonnement sont proportionnels à l'émissivité (ϵ) du matériau, au facteur de forme (surface apparente) des surfaces les unes par rapport aux autres et dépendent de la transparence du milieu traversé.

La conduction :

C'est le transfert de chaleur de proche en proche au sein d'un solide.

La conductivité thermique (λ) et la capacité calorifique (C_p) sont des propriétés clés de la conduction des matériaux. Ordre de grandeur de λ (en $W/m \cdot ^\circ C$) :

- Matériaux très conducteurs (métaux) : entre 50 et 450 $W/m \cdot ^\circ C$;
- Matériaux conducteurs (béton, pierres, etc.) : de 1 à 10 $W/m \cdot ^\circ C$
- Matériaux mauvais conducteurs (briques, bois, plâtre, etc.) : de 0,1 à 1 $W/m \cdot ^\circ C$
- Matériaux isolants (liège, laine de roche, laine de verre, polystyrène, polyuréthane, etc.) : entre 0,03 et 0,1 $W/m \cdot ^\circ C$

Plus λ est élevé, moins le matériau est isolant. Le coefficient λ dépend de plusieurs facteurs, notamment de l'humidité du matériau ; l'humidité fait croître la valeur de λ puisque l'air est remplacé par l'eau dont la conductivité est 25 fois plus forte. Conséquence : lorsqu'on indique une valeur de λ , il faut toujours préciser la température et le degré d'humidité du matériau lors de la mesure.

Pour le bâtiment, on utilise la conductivité thermique dite utile, c'est-à-dire la conductivité thermique qui correspond à un matériau humide tel que rencontré dans la pratique.

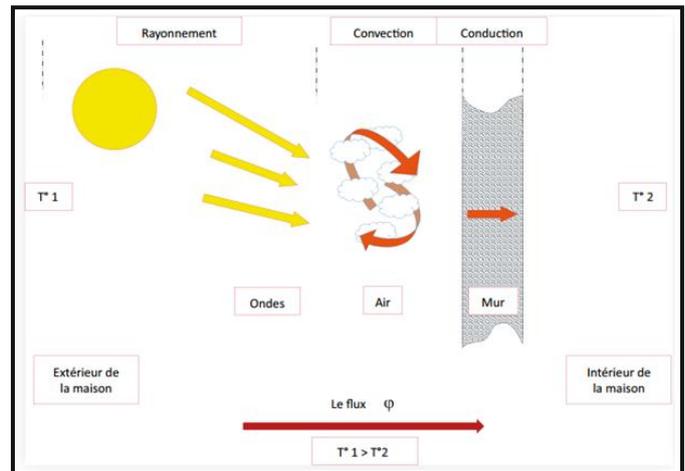


Figure 21 : Modes de transfert techniques dans une paroi verticale (mur),

(Source ADEME Graphies).

3.6. L'inertie thermique :

Associée à l'isolation thermique des bâtiments, l'inertie thermique est un critère majeur du confort hygrométrique, car, à eux deux, elles favorisent à la fois le bien-être des personnes et les économies d'énergie grâce aux matériaux qui emmagasinent et restituent petit à petit chaleur en fraîcheur, permettant un réchauffement ou un refroidissement progressif.

D'après Liebard et De Herde³¹, l'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et sa restitution, avec un déphasage dépendant des caractéristiques thermo-physiques de la paroi de stockage.

La vitesse de stockage ou déstockage de la chaleur est déterminée par deux autres grandeurs qui sont la diffusivité et l'effusivité.

Pour réduire l'amplitude d'un flux thermique, les parois de l'enveloppe doivent présenter une faible diffusivité et une forte effusivité.

Cet objectif peut être atteint par un choix judicieux de matériaux en parois homogènes. Les parois extérieures permettent le contrôle de l'amplitude entre la température interne et externe.

C'est grâce à l'inertie thermique du matériau (chaleur spécifique) que la durée du transfert de chaleur est retardée, et elle agit donc sur l'amplitude et le déphasage.

L'inertie thermique de la paroi est proportionnelle à l'épaisseur de la paroi et inversement proportionnelle au coefficient de conductibilité thermique du matériau, figure 22.

³¹ . A. LIEBARD A. DE HERDE : « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ; Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable » Editions du moniteur- décembre.2005. p 91.

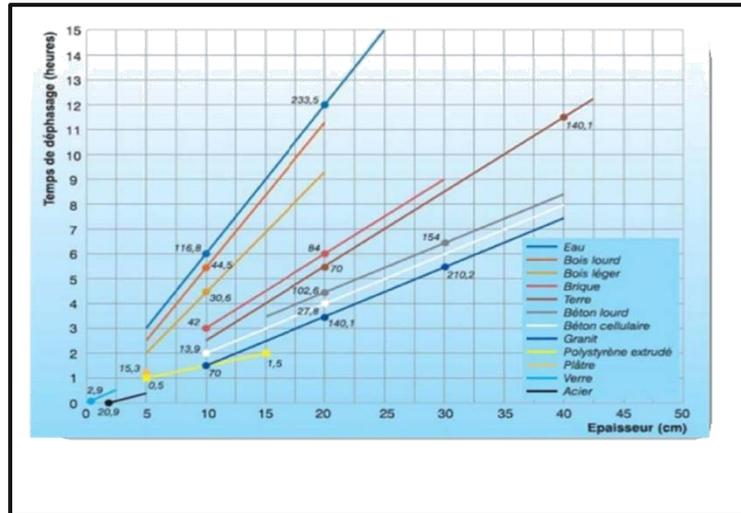


Figure 22: Temps de déphasage des différents matériaux de construction en fonction des épaisseurs types, (source: A. LIEBARD A. DE HERDE, 2005).

Le temps de déphasage est fonction de l'épaisseur ainsi que de la conductivité thermique des matériaux.

M. A. EBEN Saleh, 1989³² et Ben Habib 1995³³ ont démontré à travers des investigations se rapportant à l'habitat du nord saharien et traitant le comportement thermique de deux maisons l'une traditionnelle, et l'autre contemporaine, l'effet très positif de l'inertie thermique, pendant les saisons froides et chaudes. Où la maison traditionnelle arrive à réduire considérablement les besoins de refroidissement et de chauffage.

L'inertie thermique peut aussi avoir un effet positif sur les conditions intérieures en période hivernale³⁴, Balaras affirme que l'énergie disponible des gains solaires et les gains internes durant le jour, est stockée dans la masse et lentement restituée dans l'environnement intérieur plus tard lorsqu'on en a besoin.

O. SIDLER³⁵, a prouvé par sa recherche menée dans la bande méditerranéenne, que l'inertie thermique est incontestablement un atout pour mieux gérer les apports de chaleur. Elle permet, de plus, la bonne gestion de la chaleur en mi-saison.

Les parois minces peuvent avoir des effets désastreux sur le confort thermique. Très fines et non-isolantes, leur échauffement ou leur refroidissement est quasi instantané.

Cependant, une grande inertie thermique permet la récupération de la chaleur du jour afin de la restituer la nuit. Ceci est particulièrement intéressant dans les climats où la différence de température diurne et nocturne est importante. Cheng⁴², affirme que la haute masse thermique

³² . Eben Salah. M.A, Impact of thermal insulation location on building in hot dry climates, Rapport de recherche Saudi Arabia King, Saudi University, Department of Architecture and Building sciences, 5 juin 1989.

³³ . Ben Habib et al, Analyse bioclimatique de l'habitat traditionnel des régions désertiques nord sahariennes, Rapport d'étude, Université de la Rochelle et l'institut USTO d'Oran, 1995.

³⁴ . C.A. Balaras, The role of thermal mass on the coolingload of buildings, An overview of computational methods, Energy and Buildings, 1996, vol 24, P. 1-10.

³⁵ .O. SIDLER, directeur de la Ste ENERTECH, L'inertie thermique en climat méditerranéen, Confort et consommations d'énergie, Colloque du 15-05-2003, Montpellier.

retarde le maximum de température pendant le jour, ce qui minimise considérablement les systèmes de rafraîchissement.

L'inertie thermique permet d'éviter les surchauffes le jour, et en créant une circulation naturelle de l'air par les ouvertures, la masse se décharge dans l'air la nuit. En hiver ce véritable piège à soleil permet également d'emmagasiner les précieuses calories pour faire face aux jours et aux nuits froides.

Synthèse :

- L'enveloppe est, naturellement, le lieu privilégié des relations entre espaces intérieurs et extérieurs. Il s'agit, alors, de gérer simultanément le rôle que joue la paroi du bâtiment, et celui qu'elle assure comme élément de contrôle des échanges intérieurs/extérieurs.
- Beaucoup de facteurs peuvent affecter l'environnement intérieur, tels que les sources de chaleur et d'humidité intérieures et extérieures, la conception thermique de l'enveloppe
- Connaître les notions de base du confort thermique comme la température d'ambiance, de l'humidité de l'air, et du renouvellement d'air. et les assurer avec une construction bioclimatique passive qui s'intègre au climat immédiat nous donne de meilleurs résultats pour but d'assurer le confort thermique.
- La nécessité de développer l'isolation thermique dans les préoccupations des constructions afin de répondre au confort thermique de ses derniers
- Connaître Thermo-physiques des matériaux isolants La conductivité thermique chaleur massive Diffusivité thermique et prendre les températures extérieures en charge est une voie nécessaire et importante au confort thermique
- L'inertie thermique d'un bâtiment joue un rôle important dans la régulation de la température intérieure que ce soit en période estivale, en mi-saison ou en hiver et sur les consommations de chauffage.
- Intérêt de le l'inertie thermique de la paroi homogène en terre pour la construction passive à travers les différents climats

4. Efficacité énergétique :

4.1. La politique énergétique en Algérie :

Aujourd'hui, l'énergie utilisée par les sociétés est issue à 80 % des énergies fossiles et non renouvelable (charbon, gaz naturel et pétrole). La demande et la consommation des énergies ne cessent à augmenter et les réserves mondiales des énergies fossiles s'épuisent ; les énergies dites renouvelable sont en recherche et présentent la solution alternative.

L'Algérie est parmi les pays riches en énergies fossiles et renouvelables le taux d'irradiation solaire dans le Sahara est le plus élevé dans la méditerranée.

L'économie algérienne se base principalement sur l'exportation des énergies fossiles épuisables et polluantes, chose qui la rend vulnérable. Pour cela les autorités publiques algériennes ont élaboré un nouveau programme énergétique qui a pour but le développement des énergies renouvelables.

Le but principal de cette nouvelle politique est de préparer le pays à l'ère post-pétrolière et permettre aux populations, en sites enclavés et hors réseau conventionnel, de bénéficier également des avantages indéniables de l'énergie électrique et calorifique à partir des sources d'énergies renouvelables localement disponibles et aisément mobilisables avec les techniques et les technologies mûres actuelles.

4.2. Etat des consommations énergétiques en Algérie :

Les immeubles d'habitation représentent un des plus importants utilisateurs finaux sur les marchés d'énergie internationaux et domestiques et doivent absolument représenter un élément principal du programme d'économie d'énergie. Le niveau d'urbanisation est en augmentation en Algérie, les statistiques prévoient que 82% de la population algérienne sera concentrée dans les villes dès 2020.

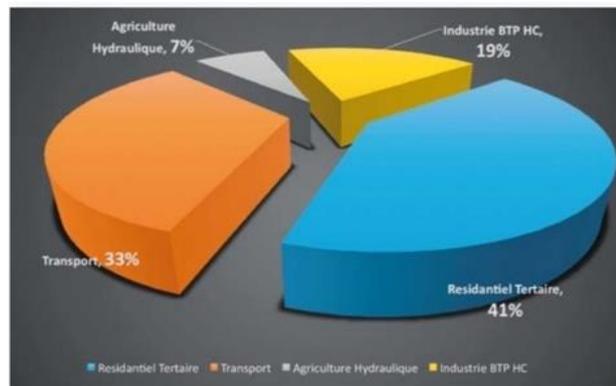


Figure23: Consommation finale par secteur d'activités (source : APRUE, 2005).

Une étude menée par l'Agence pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE) et publiée en 2007 montre qu'en Algérie, le secteur du bâtiment résidentiel et tertiaire est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 41% de la consommation énergétique finale nationale.

Concernant les logements, le chauffage représente 46 % de la consommation énergétique totale, la cuisson des aliments 22 %, la production d'eau chaude 13 % et les utilisations électriques 19%.

En outre, l'étude menée par l'APRUE précise que la consommation finale du secteur résidentiel a atteint 6 millions de TEP en 2005 avec un parc de logement de 5.745.645 unités dont 62% urbain.

Le taux d'électrification est de 98% et le taux de raccordement au réseau gaz est de 36%. L'analyse de la consommation d'énergie montre que le secteur résidentiel consomme 38% de la consommation nationale totale d'électricité.

Ainsi, il est le premier secteur grand consommateur d'énergie électrique au niveau national. Selon le rapport de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (APRUE), dans le bilan des émissions de dioxyde de carbone par secteur, l'habitat résidentiel est classé troisième après les industries énergétiques et le transport.

En ce qui concerne le secteur tertiaire, sa consommation énergétique a atteint 1 million de TEP en 2005. Cette consommation se répartit entre le commerce (39%) ; l'administration centrale (19%); le tourisme (8%) ; la santé (12%) ; l'éducation (8%); l'éclairage public (5%) et autres (5%).

L'étude de la répartition de la consommation du tertiaire par type d'énergie montre que l'électricité est prédominante. Cela s'explique par l'introduction massive des équipements de chauffage et de climatisation et la généralisation de l'utilisation des matériels bureautiques et informatiques.

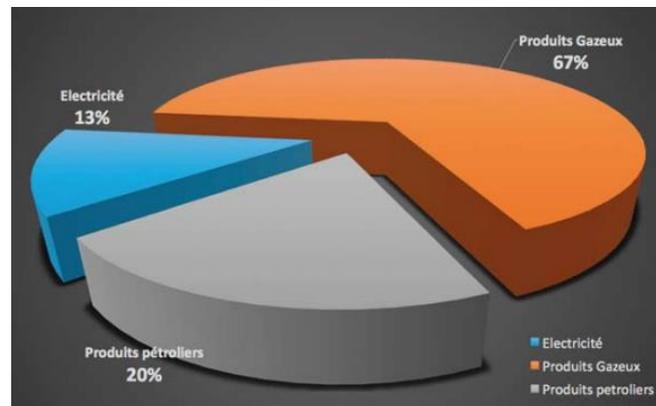


Figure 24 : Consommation finale par secteur d'habitat (source : APRUE, 2005).

4.3. Optimisation énergétique à l'échelle de Bâtiment :

Nos principales préoccupations tout au long de la conception de ce bâtiment sont d'une part l'économie d'énergie et d'autre part, l'amélioration du confort.

Pour réduire la consommation d'énergie d'un bâtiment et alléger sa facture, il faut améliorer son isolation et sa ventilation.

Ainsi, le confort thermique sera assuré en minimisant les besoins de chauffage en hiver et grâce au rafraîchissement par l'introduction de l'air frais en été.

Il faut aussi réaliser des économies d'énergie en réduisant les pertes de chaleur, c'est de la conception passive.

4.4. La consommation d'énergie dans les logements :

La part de l'énergie liée au chauffage est la plus importante. Le gisement d'économies potentielles est aussi très important. L'isolation des logements constitue un enjeu fort.

La prise de conscience et le contexte réglementaire internationaux :

Un cadre politique et une réglementation de plus en plus exigeante permettent de favoriser ces intentions en fixant des objectifs.

■ Monde :

En 1997, le protocole de Kyoto fixe comme objectif mondial de diviser par 4 les émissions de gaz à effet de serre et donc les consommations d'énergie, dont celles des bâtiments, à l'horizon 2050.

■ Europe :

Le 16 décembre 2002, la directive 2002/91/CE est adoptée par le



Parlement européen. Elle concerne la performance énergétique des bâtiments³⁶.

■ France :

La « loi de simplification du droit français ». Elle concerne les mesures relatives à l'efficacité énergétique et intègre de nouvelles dispositions au code de la construction.

Celles-ci définissent le contenu et l'utilité du diagnostic de performance énergétique (DPE).

Ce document comprend « la quantité d'énergie effectivement consommée ou estimée pour une utilisation standardisée du bâtiment et une classification en fonction de valeurs références »³⁷.

Un Label de Bâtiments Basse Consommation :

Le label Bâtiment Basse Consommation – BBC, initié par l'association EffinergieR est un label de qualité certifiant des bâtiments neufs ou des rénovations ayant une très faible consommation d'énergie et offrant un confort supérieur (label BBC, arrêté du 8 mai 2007)³⁸. La consommation totale renseignée est exprimée en kilowatt heure par mètre carré par an (KWh/m². an).

Cette consommation est associée à un label de type A, B, C, D, E, F ou G afin de facilement visualiser cette performance soit:

✓ du label A+/A indiquant une très bonne performance énergétique.

✓ au label G indiquant une très mauvaise performance énergétique.

Qu'est-ce que la classe énergie ?

La classe énergie est une note allant de "A" à "G ". La note "A" indique que le bien a une excellente performance énergétique, c'est-à-dire qu'il est parfaitement isolé et qu'il consommera peu d'énergie pour être chauffé (maison basse consommation bbc).

La classe énergie vous permet par conséquent d'anticiper et de connaître le montant de vos consommations futures d'énergie et donc de vos factures.

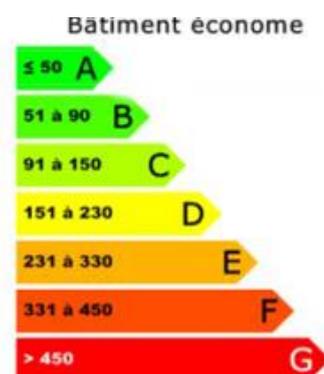


Figure 25 : Etiquette de la Classe d'énergie (Source : APRUE, 2005).

³⁶.O. SIDLER, directeur de la Ste ENERTECH, L'inertie thermique en climat méditerranéen, Confort et consommations d'énergie, Colloque du 15-05-2003, Montpellier.

³⁷. V. CHENG, NG.E & GIVONI. B, Effect of envelope color and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate, Solar Energy 2005, vol78, P. 528-534.

³⁸. Site officiel de l'APRUE (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie)

■ Algérie : Réglementation thermique des bâtiments d'habitation – Règle de calcul des déperditions calorifiques " Fascicule 1" DTR C3-2

(Arrêté ministériel du 10 Décembre 1997).

Le Document Technique Réglementaire (DTR) apporte une première réponse aux problèmes liés à la thermique du bâtiment.

Il met à la disposition des professionnels des méthodes d'évaluations thermiques des logements pour le problème d'hiver.

L'exigence réglementaire sur laquelle s'appuie ce DTR consiste à limiter les déperditions calorifiques des logements en fixant un seuil à ne pas dépasser (appelé déperditions de référence).

Le respect de ce seuil devrait permettre une économie de 20 à 30% sur la consommation d'énergie pour le chauffage des logements, sans pour autant se réaliser au détriment du confort des utilisateurs.

DTR s'applique exclusivement aux bâtiments à usage d'habitation.

Synthèse :

- L'énergie issue d'une source naturelle, d'origine fossile (charbon, pétrole, gaz), nucléaire (uranium) ou renouvelable (vent, biomasse, solaire...) et utilisable pour couvrir les besoins énergétiques du bâtiment.
- Tenir compte des pertes liées à la transformation et à l'acheminement de ces énergies.
- Diminution de la demande énergétique de chauffage et eau chaude sanitaire,
- Diminution de la demande énergétique de rafraîchissement, - Couverture solaire totale des besoins énergétiques de l'habitat en chauffage et eau chaude sanitaire, - Utilisation des énergies renouvelables dans les équipements de chauffage et rafraîchissement des bâtiments,
- Protection de l'environnement par le développement durable en matière de diminution de la consommation d'énergie dans le secteur de l'habitat
- Atteindre au maximal l'indice du diagramme de la performance énergétique DPE
- Adapter le climat à la construction afin d'élaborer une stratégie d'intégration amenant à un gain d'énergie

Conclusion :

L'architecture de terre, a depuis longtemps montré ses capacités techniques et sa richesse architecturale. Les performances physiques, mécaniques et de la durabilité du matériau terre ne sont plus un obstacle. Les systèmes constructifs des bâtiments en terre sont suffisamment connus par le corps scientifique pour permettre des réalisations en terre comparables à celles réalisées avec d'autres matériaux.

L'enveloppe est, naturellement, le lieu privilégié des relations entre espaces intérieurs et extérieurs. Il s'agit, alors, de gérer simultanément le rôle que joue la paroi du bâtiment, et celui qu'elle assure comme élément de contrôle des échanges intérieurs/extérieurs.

Par conséquent, ce qui est à retenir de ce chapitre, est que beaucoup de facteurs peuvent affecter l'environnement intérieur, et par conséquent affecté le confort thermique et l'efficacité énergétique d'une construction comme le choix du matériau de construction, l'isolation thermique et aussi en s'appuyant sur les concepts de l'architecture bioclimatique.

On a pu démontrer aussi que le matériau BTS procède plusieurs avantages grâce a de très bon résultat de ces propriétés thermo physique, parmi eux sa chaleur qui se propage assez lentement dans ce matériau, la chaleur spécifique avoisine les 1426 J/kg °C, ce qui nous fait dire que c'est un matériau capable de procurer une certaine inertie thermique synonyme de confort thermique. Pour la conductivité thermique, $\lambda = 0.9 \text{ w /m C}^\circ$, le résultat peut lui refléter une certaine isolation, ces performances additionnées à des épaisseurs de mur importantes nous permettent d'avoir une ambiance intérieure assez confortable.

Ce qui nous pousse à dire que ses résultats justifient pleinement l'emploi du matériau terre BTS dans l'enveloppe extérieure de la maison étudiée lui assure un bon confort thermique et une efficacité énergétique.

Chapitre 02 : Partie Expérimentale : Cas d'étude et Méthodologie

Introduction :

Pour étudier le comportement thermique et énergétique du bâtiment, le modèle choisi est défini dans ce chapitre.

Divers types d'enveloppes sont utilisés dans la construction des maisons. Une large gamme de matériaux composites constitués de bétons ou de briques est généralement utilisée, mais dans cette étude nous allons nous focaliser sur le matériau en terre le BTS.

L'enveloppe d'un bâtiment en fonctionnement normal est sollicitée par des conditions atmosphériques variables. Sur la face extérieure, soumise aux intempéries, de nombreux paramètres influencent la température et l'humidité relative (vent, pluie.) et on peut y enregistrer de fortes variations durant l'année, suivant les conditions météorologiques. Sur la face intérieure, la régulation climatique est effectuée en fonction du bien-être et au confort de l'utilisateur.

Les études effectuées dans ce travail portent sur les matériaux BTS utilisé comme enveloppe de la maison étudiée et cela selon un choix porté sur trois zones climatiques en Algérie.

Choix du matériau terre :

Contrairement aux matériaux de construction industrialisés, les matériaux naturels sont très peu consommateur d'énergie lors de leur fabrication et transformation, la fabrication d'un mètre cube de béton requiert 400 à 800 kWh⁹⁵, alors que la terre requiert 5 à 10 kWh.

L'estimation des propriétés thermo-physiques de ces matériaux est primordiale pour la création d'une ambiance saine et un climat de confort à l'intérieur d'une habitation.

Notre choix s'est porté sur la terre qui connaît actuellement un regain d'intérêt suite à la crise énergétique et du logement.

La terre crue matériau naturel, disponible en abondance reste une alternative, il n'implique souvent ni achat, ni transport, ni transformation importante, de plus elle est facilement recyclable après usage et surtout, associée à une conception architecturale bioclimatique, procure un certain confort thermique aux occupants.

Pour argumenter le choix de la terre crue, nous avons basé notre étude sur un inventaire des caractéristiques thermo-physiques de ce matériau à savoir la conductivité, la diffusivité, et l'effusivité thermiques ainsi que la chaleur spécifique. Une métrologie de ces différentes caractéristiques sera développée, puis un choix sera porté et justifié sur la base des essais des résultats de la simulation faite sur la maison étudiée en BTS tout en retenant les caractéristiques thermo-physiques de ce matériau, afin d'obtenir un habitat écologique à base de matériaux locaux et une conception architecturale qui non seulement prend en charge le critère climatique mais s'inspire grandement de toutes les notions architecturales bioclimatiques comme la compacité architecturale, l'orientation par rapport au soleil, les dimensions des ouvertures, la ventilation naturelle, choix du matériau local.

Cette modeste expérience vient justifier les qualités, tant thermiques qu'environnementales

du matériau terre, un matériau aujourd'hui délaissé, abandonné, méprisé, marginalisé.

Elle justifie aussi ces qualités d'utilisation dans une conception architecturale harmonieuse et soucieuse de la problématique du confort thermique et l'efficacité énergétique dans les différents climats riche de notre pays l'Algérie.

1. Présentation de la maison :

La maison qui fait l'objet de cette étude possède une surface habitable de 207 m², elle sera implantée dans trois régions d'Algérie, plus précisément dans la ville de Mohammedia, Chréa, Ghardaïa). Ces régions font partie de différentes zones climatiques que procède notre payé.

Sur le plan architectural, la maison a été conçue en respectant quelques principes de l'architecture bioclimatique : des espaces tampons au nord constitués par les terrasses et le jardin, ainsi qu'une isolation par l'extérieur pour bénéficier d'une forte inertie thermique.

La maison contient trois chambres, une penderie, un grand séjour, un bureau, une cuisine, sanitaires, cellier, et des terrasses avec jardin.

Cette maison se distingue par l'optimisation de certains paramètres de construction dans le but de minimiser la consommation énergétique (Chauffage, climatisation et éclairage).

Pour ce faire, des principes ont été appliqués pour que celle-ci soit la plus économe possible en énergie et cela par :

- Son isolation thermique,
- L'optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire d'une façon passive,
- La présence d'une importante masse thermique,
- L'utilisation de la ventilation naturelle,
- L'utilisation des lampes à basse consommation au lieu des lampes à incandescence halogènes qui consomment plus d'énergie.

2. Modélisation de la maison :

2.1. Présentation du logiciel de modélisation Revit :

Revit est un logiciel d'architecture édité par la société américaine Autodesk qui permet de créer un modèle en 3D d'un bâtiment pour créer divers documents nécessaires à sa construction (plan, perspective, ...).

Revit est un logiciel de CAO, un logiciel multi-métiers destiné aux professionnels du BTP (architectes, ingénieurs, techniciens, dessinateurs-projeteurs et entrepreneurs.)¹.La version utilisée pour la modélisation de la maison est Revit 2017.

¹<https://fr.wikipedia.org/wiki/Revit>

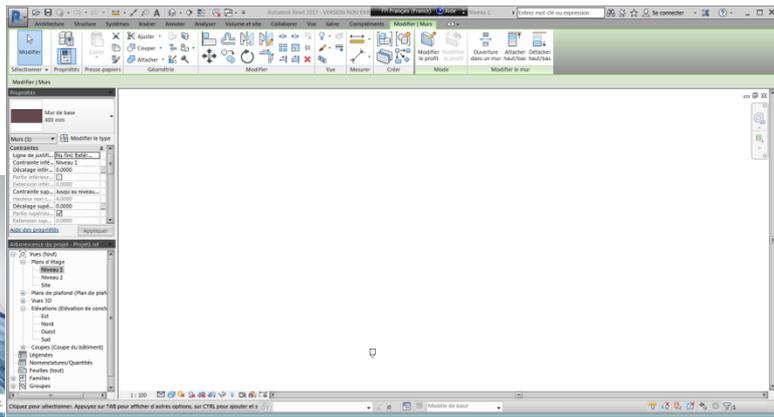


Figure 26 : Logiciel Revit 2017, (source: captures présent par l’auteur le 05/09/2017).

2.2. La contribution de la conception bioclimatique au sein de la maison étudiée :

Pendant la conception du model de la maison étudiée par le logiciel Revit 2017 d’autres critères ont été retenues au-delà du contrôle des déperditions pour la qualité de l’enveloppe du bâtiment, permettant de réduire encore les déperditions et de profiter des apports énergétiques, notamment solaires.

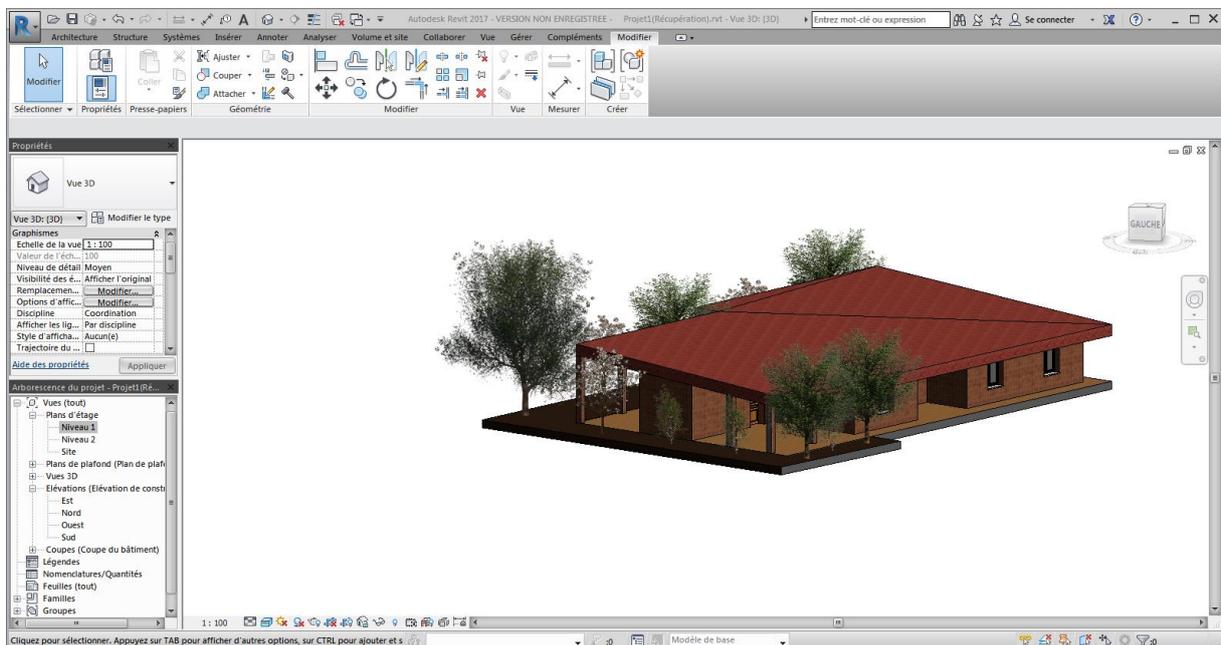


Figure 27 : Maison étudiée en 3D, (source: capture prise par l’auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

2.2.1. Orientation :



Figure 28 : Maison étudiée en 3D, Sens d'orientation (source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

L'implantation et l'orientation des différentes pièces de la maison sont étudiées de manière à trouver le meilleur compromis entre confort thermique d'hiver et confort thermique d'été.

L'objectif est de récupérer au maximum les apports solaires en hiver et de réduire ces mêmes apports en été, notamment les rayonnements directs du soleil.

2.2.2. Conception :

Les fondations sont en semelles filantes réalisées en béton cyclopéen. La hauteur entre plancher bas et sous plafond est variable : elle est de 2,90 m sur le côté Sud et 4 m sur le côté Nord.

L'architecture intérieure a également un rôle à jouer. Elle peut agir sur la profondeur, la forme et l'aménagement des pièces exposées au rayonnement direct du soleil.

De même, chaque zone de vie dans la maison étudiée est positionnée en fonction du moment de la journée où les personnes y passent le plus de temps :

*Le séjour : avec une double orientation, le coin salle à manger est placé au nord -est et le coin de détente est placé au sud-ouest.

*Le bureau : placé au sud-ouest.

*Chambre 01 : placée au sud-ouest.

*Chambre 02 : placée au sud-est.

*Chambre 03 : placée au sud-est.

*Cuisine : placée au nord -est.

*SDB +WC : placée au nord -est.

*Penderie +terrasse +cellier : ces des espaces tampons.

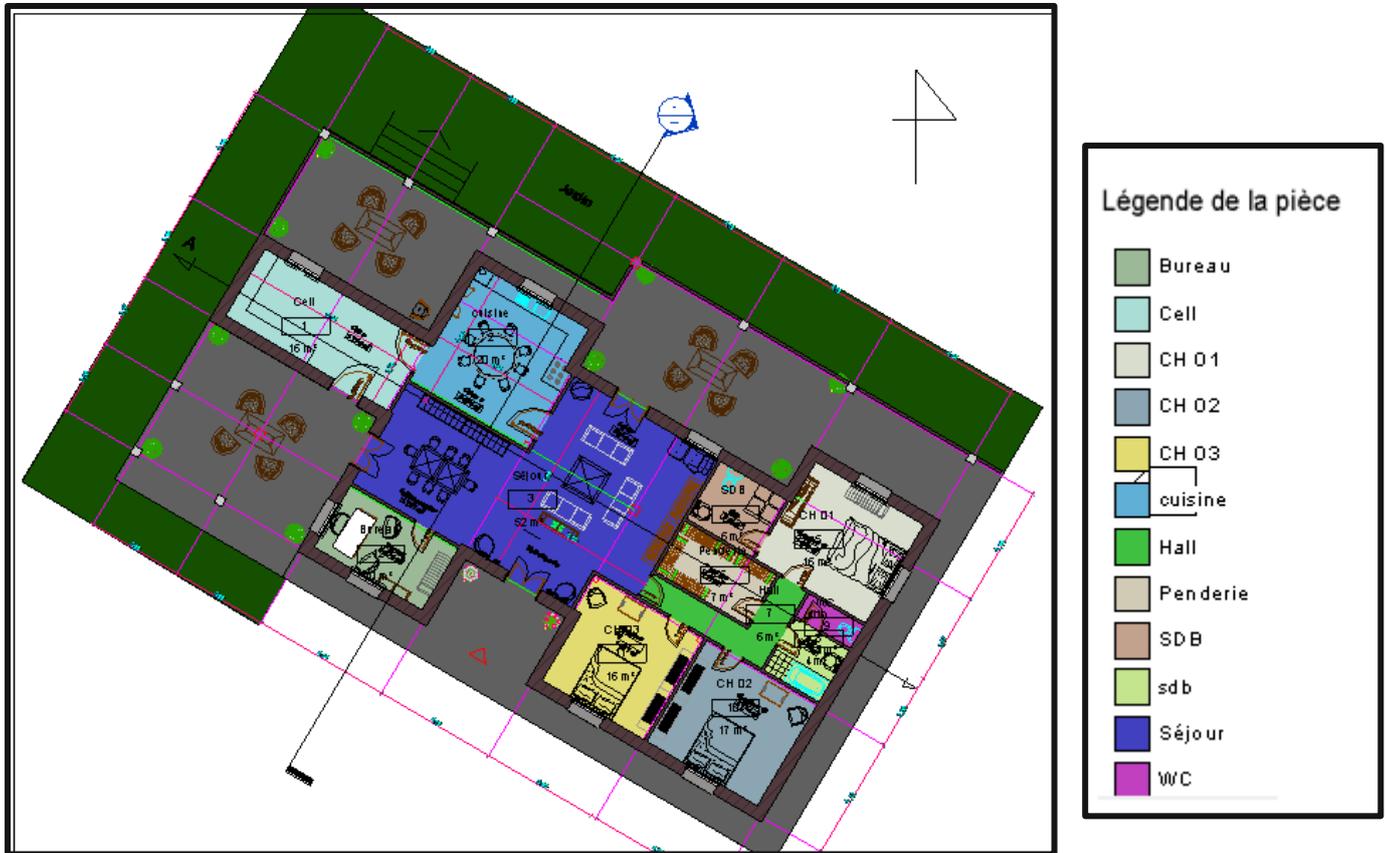


Figure 29 : Plan de rez de chaussée de la Maison étudiée, (source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

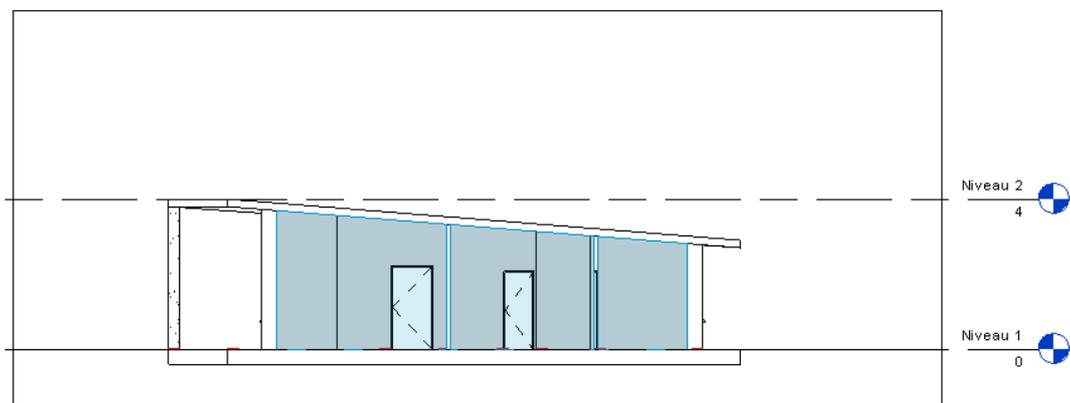


Figure 30:Elévation de Maison étudiée (source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

L'enveloppe extérieure limite les pertes de chaleur en hiver et protège des radiations solaires en été.

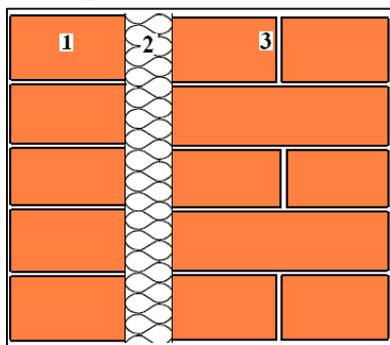
Cette propriété d'atténuation dépend des caractéristiques de transmission thermique des parois en BTS par conduction, convection et radiation.

La conductance thermique des murs en BTS est réduite au maximum par une bonne isolation thermique afin de minimiser les déperditions thermiques vers l'extérieur.

2.3.1 Composition des parois :

A. Mur extérieur :

Les murs en contact avec l'extérieur sont réalisés d'une manière à limiter les déperditions thermiques. Ils sont construits en couche de 43 cm de Blocs de Terre Stabilisés (BTS) et isolés par l'extérieur avec une couche de 9 cm de polystyrène expansé (voir la figure 36).

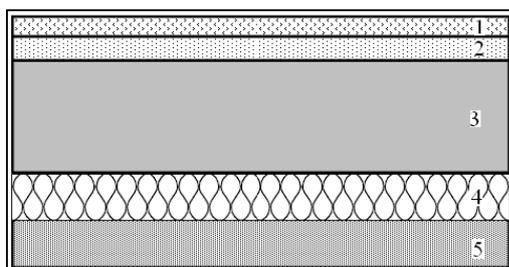


- 1- Mur en BTS (14 cm)
- 2- Panneaux en polystyrène expansé (9 cm)
- 3- Mur en BTS (29 cm)

Figure 31 : Mur extérieur (source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

B. Plancher bas sur terre-plein :

Placer un isolant en polystyrène expansé de 6 cm sous le plancher est absolument nécessaire pour réduire les déperditions de chaleur. La composition du plancher bas est présentée dans la figure ci-dessous.



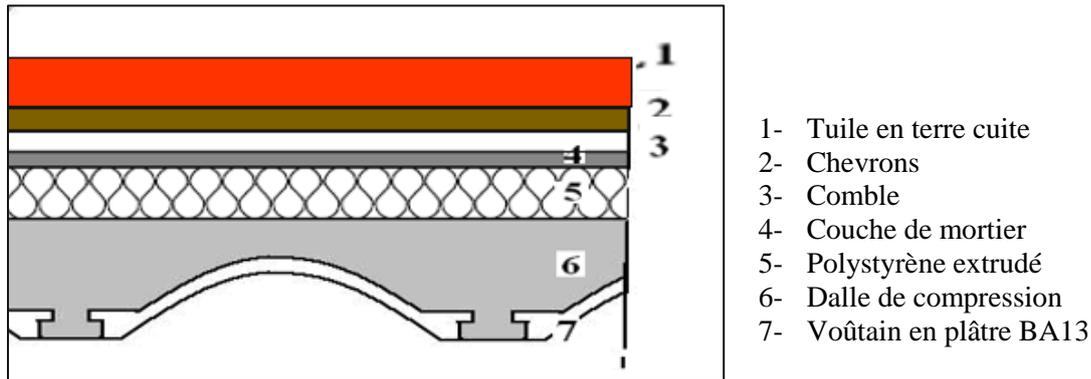
- 1- Carrelage
- 2- Sable + mortier
- 3- Couche de béton
- 4- Polystyrène expansé
- 5- Dalle de compression

Figure 32 : Plancher bas sur terre-plein (source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

C. Plancher haut :

La toiture, orientée vers le sud et inclinée de 10°, est constituée de voutains en plâtre placés sur des poutrelles en béton armé.

Le plancher haut est isolé sur toute sa surface de façon à minimiser les pertes de chaleur et augmenter la température du plafond des pièces. La figure 38 présente les différentes couches qui constituent la toiture.



- 1- Tuile en terre cuite
- 2- Chevrons
- 3- Comble
- 4- Couche de mortier
- 5- Polystyrène extrudé
- 6- Dalle de compression
- 7- Voûtain en plâtre BA13

Figure 33 : Toiture (source: capture prise par l’auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

D. Résistance thermique des parois :

Le matériau terre offre une forte inertie thermique grâce à ses caractéristiques thermo-physiques.

Une bonne inertie avec un haut niveau d’isolation sur toutes les parties de la maison, pour la diminution des apports de chaleur.

Les caractéristiques thermiques et les matériaux qui composent les éléments de la maison sont donnés dans le tableau 07.

Tableau 07 : Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison. (source:R. Yezou, 'Contribution à l’Etude des Propriétés Thermo-physiques des Matériaux de Construction Cohérents et non Cohérents', Thèse de Docteur-Ingénieur, INSA, Lyon, 1998, Schématiser par l’auteur).

	Composition	Epaisseur (cm)	λ (W/m.K ⁻¹)	R = e/ λ (m ² .K/W)	R _g (m ² .K/W)	U (W/m ² .K)
Mur extérieur	BTS	0,14	1,3	0,11	2,75	0,36
	Polystyrène	0,09	0,040	2,25		
	BTS	0,29	1,3	0,22		
Plancher Bas	Béton lourd	0,05	1,75	0,03	1,82	0,54
	Polystyrène expansé	0,06	0,040	1,50		
	Béton lourd	0,15	1,75	0,09		
	Mortier + sable	0,03	1,15	0,03		
	Carrelage	0,02	1,7	0,01		
Plancher haut	Couche de mortier	0,03	1,60	0,02	4,36	0,23
	Polystyrène expansé	0,16	0,040	4,00		
	Béton lourd	0,08	1,75	0,05		
	Voûtain en plâtre	0,04	0,35	0,11		

2.4. Occultation nocturne :

L'utilisation d'une isolation mobile durant la nuit devant les fenêtres améliore les performances des fenêtres et augmente le confort de la maison.

L'occultation nocturne a un impact important sur l'efficacité énergétique des ouvertures, car elle limite les échanges de chaleur qui se produisent à travers les fenêtres pendant la nuit.

La maison étudiée possède une occultation nocturne appropriée sous forme des volets en bois.

2.5. Masse thermique :

L'utilisation d'une masse thermique importante a pour but de répartir dans le temps l'apport des différents gains énergétiques afin de diminuer les surchauffes.

Cette masse thermique permet aussi de redistribuer la chaleur qu'elle contient lorsque les autres formes de gains sont moins importantes. La principale composante de cette masse thermique est constituée d'un mur en BTS (Bloc de Terre Stabilisé), ce mur, qualifié de mur thermique est directement exposé aux rayons solaires durant une bonne partie des journées d'hiver. Il accumule alors la chaleur du soleil pendant le jour pour la redistribuer le soir après le coucher du soleil.

2.6. Ventilation naturelle :

La ventilation a un double objectif : le premier est de veiller à ce que l'air intérieur soit de bonne qualité, en maintenant les polluants qu'il contient à des concentrations sans effet ou d'effet limité sur la santé. Ceci est impératif pour le bien-être des occupants, mais aussi pour éviter toute dégradation du bâti, pouvant être causée par exemple par un excès d'humidité.

Le second objectif de la ventilation des pièces est d'y maintenir des conditions de confort thermique acceptables pour les occupants, essentiellement en saison chaude, grâce à un apport d'air neuf qui rafraîchit directement les occupants, par échanges convectifs.

Cependant, la ventilation constitue une charge de chauffage puisqu'il faut absolument chauffer l'air frais que l'on fait entrer dans la maison. Le système de ventilation dont est munie cette maison a l'avantage d'être naturel.

Ce type de ventilation permet de limiter les déperditions par renouvellement d'air et de diminuer ainsi la dépense énergétique sur le poste de chauffage.

Les ouvrants :

Les fenêtres, (porte fenêtres) et les portes :

Pour les fenêtres, les portes fenêtres et les chassés hauts nous avons opté pour le double vitrage, dont le coefficient de conductivité thermique est de : $\text{Vitrage} = 1,5 \text{W/m K}$,



Figure34 : détail de fenestres et porte fenetre. (Source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017)

Les portes en bois, avec une conductivité de bois $=2,5W/m K$,



Figure 35 : portes (Source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017)

2.7. Protections contre le rayonnement solaire :

Les fenêtres sont pourvues de protections solaires, les stores extérieurs pour éviter l'échauffement sont thermiquement plus efficaces que les stores intérieurs.

Les avancées de toiture pour une protection solaire,



Figure 36 : Plan de toiture en 3D de la Maison étudiée, (source: capture prise par l'auteur le 15/09/2017 depuis Revit 2017).

La terrasse au nord avec une hauteur de mur de 2.00m et un jardin avec des végétations persistantes représente des espaces tampons.

Ainsi un jardin avec des végétations saisonnières au sud est conçu comme un espace de protection.

Synthèse :

La conception passive de la maison étudiée se base sur les concepts de l'architecture bioclimatique tout en focalisant son principe sur l'utilisation du matériau terre BTS comme élément essentiel de son enveloppe extérieure.

La maison modélisée avec le logiciel Revit 2017 nous a permis d'obtenir un modèle complet et détaillé qui sera par la suite semi a de nombreuses variables et cela selon son implantation dans les trois zones climatiques des villes proposées (El Mohammadia, Chréa et Ghardaïa) lors de la deuxième partie de ce chapitre qui est la simulation numérique afin de répondre et d'affirmer le confort thermique et l'efficacité énergétique de cette maison.

3. Choix du site et analyse climatique :

Dans notre étude nous avons pris comme stations trois régions de l'Algérie qui se distinguent principalement par leurs étages bioclimatiques, et qui sont les suivantes : **El Mohammadia, Chréa, Ghardaïa.**

3.1. Le climat en Algérie :

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale. Plus de 4/5 de sa superficie est désertique d'où une large variété géographique et climatique allant du littoral au désert.

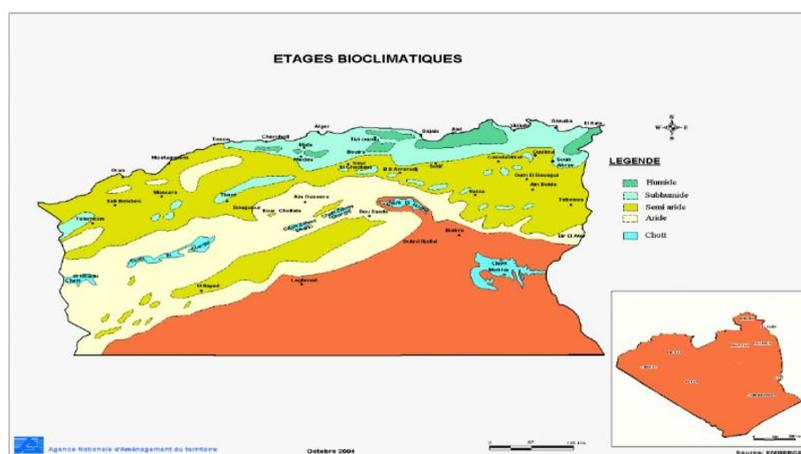


Figure 37: Carte bioclimatique de l'Algérie /
(source : Vertigo : la revue électronique en science de l'environnement).

La conception du bâtiment doit être conçue suivant les zones climatiques. Pour cela, certains critères de base sont à prendre en considération pour chaque site d'implantation.

Les dispositifs à **entreprendre dans la réalisation de bâtiment** liés à ses zones sont :

➤ **Les pertes de chaleur doivent être minimisés :**

- Une bonne organisation des espaces.
- Une masse thermique importante de l'enveloppe.
- Utilisation des matériaux locaux.

- **Une bonne isolation de l'enveloppe.**
- **Une forme compacte des bâtiments.**
- **Une bonne orientation du bâtiment.**
- **Les apports solaires doivent être maximisés :**

- Le choix des matériaux en termes d'inertie thermique.
- Un stockage de ses apports par l'inertie thermique.
- La réduction des apports de chaleur moyenne.

- **Un aménagement des espaces verts extérieurs adéquats proches afin de réduire la température extérieure, et avoir une protection (vent, soleil).**

3.2. Situation des sites :

3.2.1. El Mohammadia :

C'est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie, située dans la banlieue Est d'Alger. Elle était à l'origine le quartier *Lavigerie* de la commune de Maison Carrée lors de la colonisation française. Couvre une superficie de 790 hectares soit 7,90 km². Les coordonnées géographiques de Mohammadia sont : latitude nord 36° 43' 60" et longitude est 3° 7' 60".

Elle est constituée principalement d'habitat collectif et semi-collectif.



Figure 38 : Carte de localisation d'El Mohammadia /
(source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mohammadia_\(Alger\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mohammadia_(Alger))).

3.2.2. Chr ea :

La commune de Chr ea est située au sud de la wilaya de Blida, sur les hauteurs de la ville de Blida, à environ 18 km au sud-est de Blida et à environ 64 km au sud-ouest d'Alger et à environ 26 km au nord-est de Médéa. Couvre une superficie de 8029 hectares soit 80,29 km². Les coordonnées géographiques de Chr ea sont : latitude nord 36  25' 32" et longitude est 2  52' 36".

Ancienne station climatique, elle fut certainement la première station de ski d'Afrique.

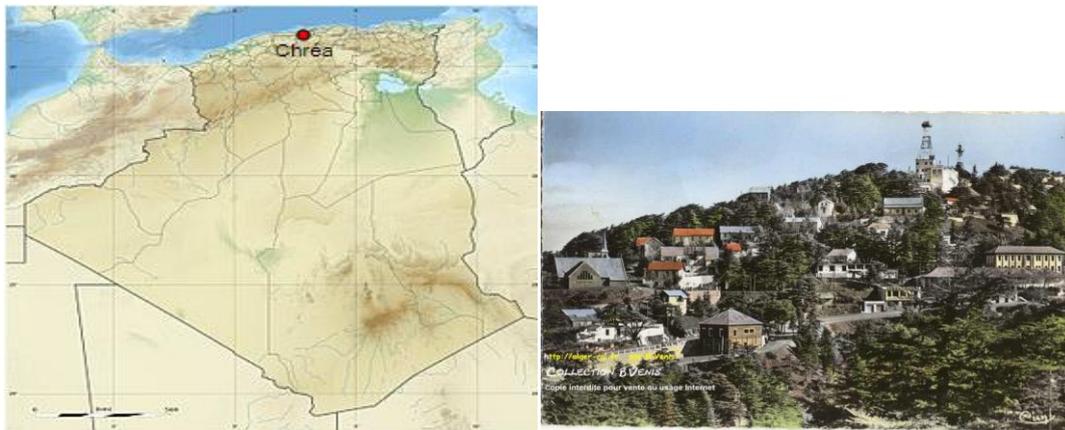


Figure 39: Carte de localisation de Chr ea / (source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Chr ea>).

3.2.3. Ghardaïa :

C' est une commune de la wilaya de Ghardaïa en Algérie, dont elle est le chef-lieu, située à 600 km au sud d'Alger, à 190 km au sud de Laghouat et à 190 km à l'ouest de Ouargla, Les coordonnées géographiques de Ghardaïa sont :Latitude : 32 29.4564' Nord et Longitude : 3 40.4082' Est.

Elle est la capitale de la Vallée du Mزاب. Ghardaïa fait partie du patrimoine mondial et elle est consid eree comme site touristique d'importance majeure en Algérie, de par son architecture et son histoire.



Figure 40 : Carte de localisation de Ghardaïa / (source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ghardaia>).

3.3. Analyse climatique des zones d'études :

Plusieurs formules, indices et expressions graphiques sont proposés pour caractériser le climat d'une localité ou d'une région donnée.

Nous avons utilisé les données climatiques d'une période de dix ans provenant du logiciel **Meteonorme** de : El Mohammadia Alger, Chréa Blida et de Ghardaïa pour déterminer l'état bioclimatique de chaque zone d'étudiée.

3.3.1. Présentation du logiciel Meteonorme :

Meteonorme est une combinaison unique de sources de données fiables et d'outils de calculs sophistiqués.

Base de données climatologiques précises et représentatives pour n'importe quel endroit sur terre qui comprend plus de 8000 stations météorologiques².

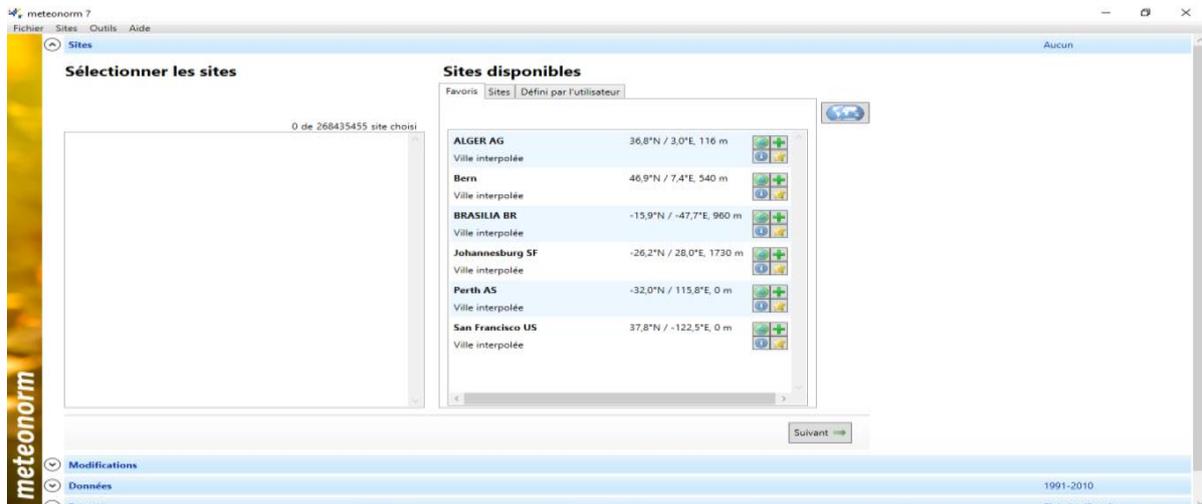
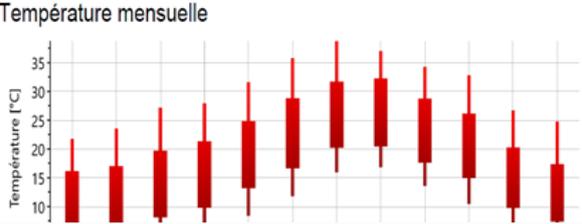
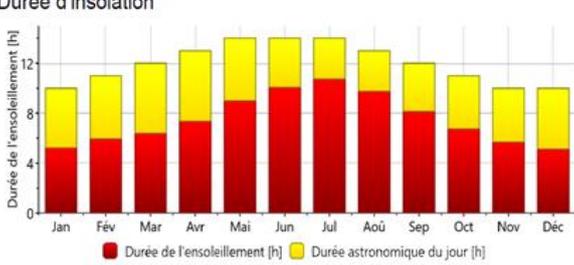
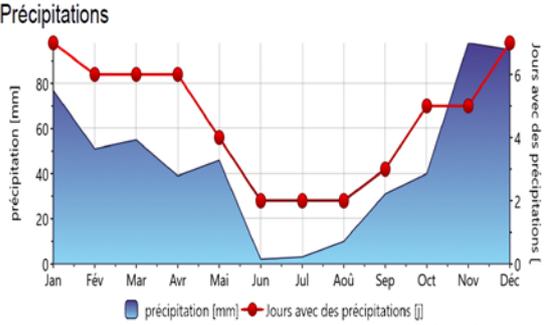
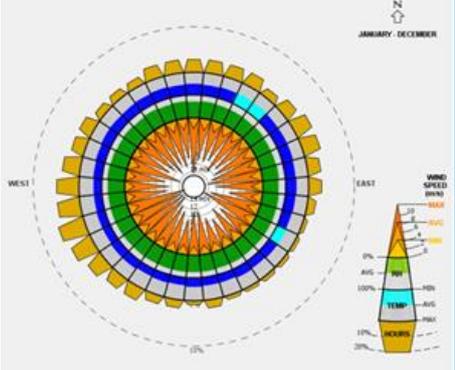
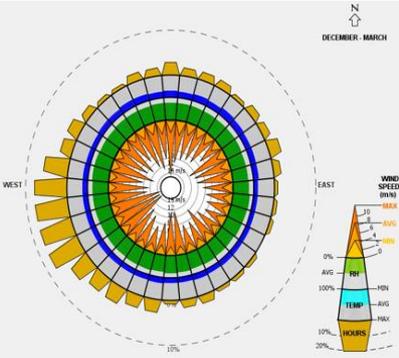
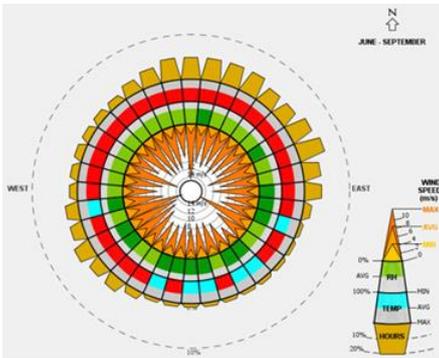


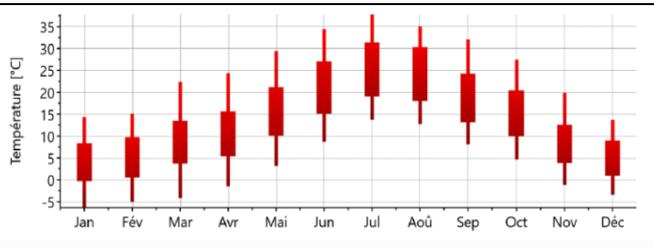
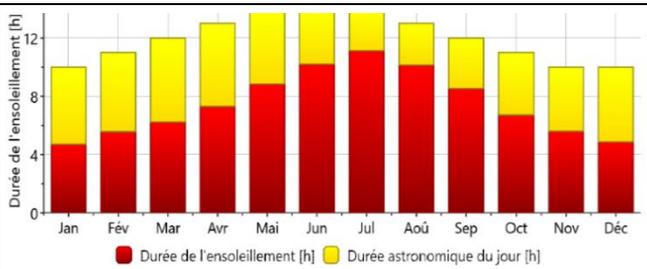
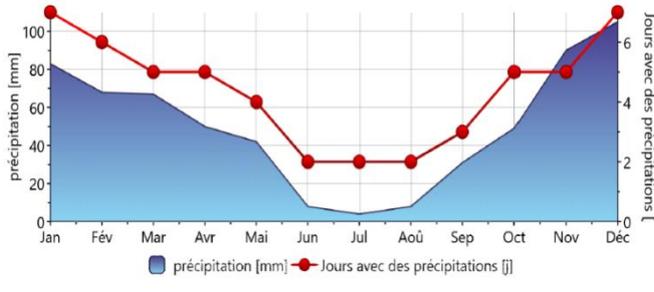
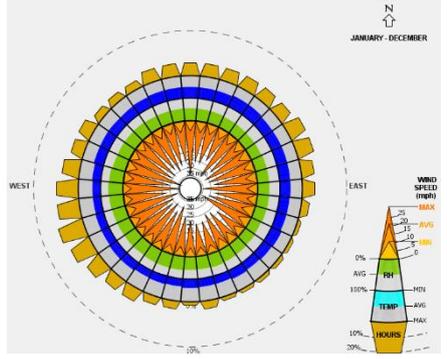
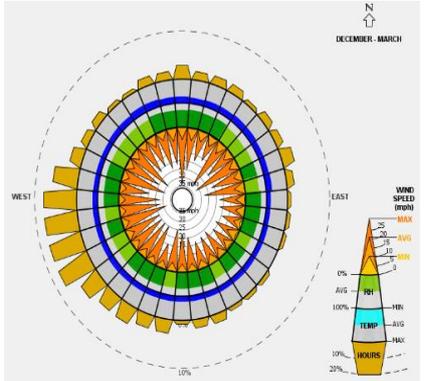
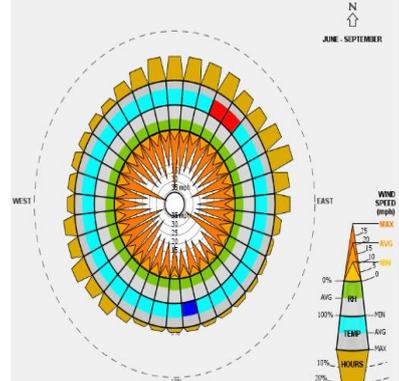
Figure 41 : Logiciel Meteonorme V7 (source : capture prise par l'auteur le 09/10/2017).

²<http://www.izuba.fr/logiciel/stations-meteonorme>

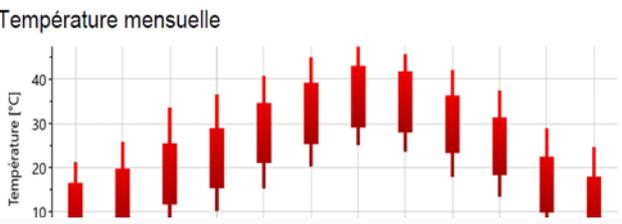
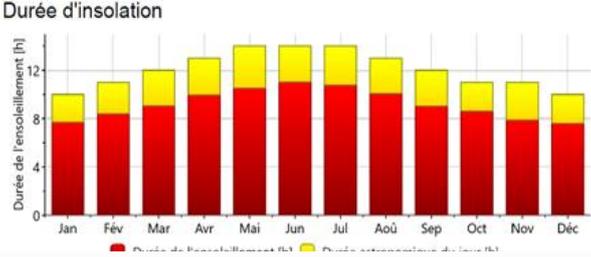
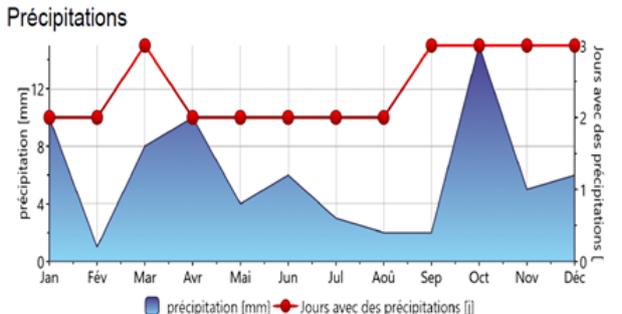
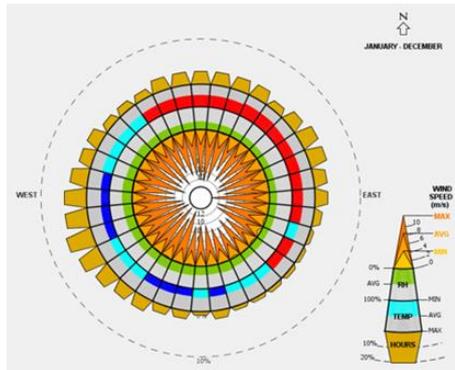
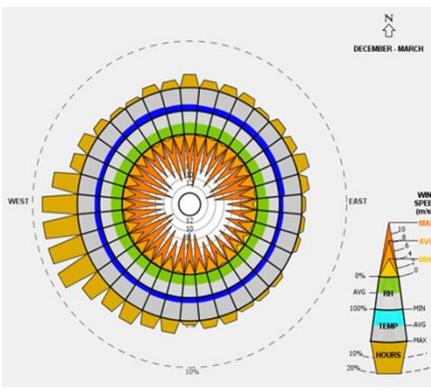
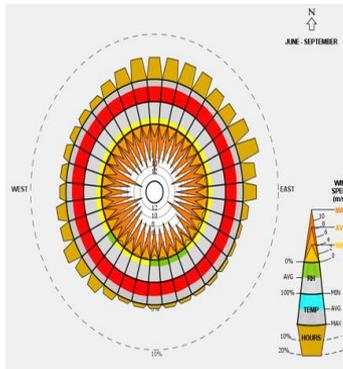
3.3.2. L'analyse climatique de la zone d'El Mohammadia Alger :

<p>1- Température mensuelle</p>  <p>Température mensuelle</p> <p>Source : métronome V7.1.3.19872</p> <p>La température varie entre le maximum de 38°C au mois de juillet et le minimum de -5 °C en mois de janvier.</p>	<p>2- Durée d'insolation</p>  <p>Durée d'insolation</p> <p>Source : métronome V7.1.3.19872 Les jours les plus éclairés sont enregistrés durant la période d'été. Concernant la période d'hivers, nous relevons une durée d'insolation qui varie entre le minimum de 5 h en janvier et le maximum de 10 h en juillet.</p>
<p>3- Précipitation</p>  <p>Précipitations</p> <p>Source : métronome V7.1.3.19872 La pluviométrie est d'environ 9 mois sur l'année, la quantité de pluie atteint le maximum en mois de Novembre ou elle atteint 110 mm</p>	<p>4- les vents (toute l'année)</p>  <p>Les vents dominants c'est « Sud-Ouest »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>
<p>- Vents d'hivers</p>  <p>(Décembre – mars) « Sud-Ouest »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>	<p>- Vents d'été</p>  <p>(Juin – Septembre) « Nord-Est »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>

3.3.3. L'analyse climatique de la zone de Chr ea Blida :

<h4>1- Température mensuelle</h4>  <p>Source : m�tronomie V7.1.3.19872</p> <p>La température varie entre le maximum de 40 �C en mois de juillet et le minimum de -5 �C en mois de janvier.</p>	<h4>2- Durée d'insolation</h4>  <p>Source : m�tronomie V7.1.3.19872 Les jours les plus éclairés sont enregistrés durant la période d'été. Concernant la période d'hivers, nous relevons 90 heures d'insolation varie entre le minimum de 5 h en janvier et le maximum de 11 hen juillet.</p>
<h4>3- Précipitation</h4>  <p>Source : m�tronomie V7.1.3.19872 La pluviométrie est d'environ 9 mois sur l'année, la quantité de pluie atteint le maximum en mois de janvier et de décembre ou elle atteint 110 mm</p>	<h4>4- les vents (toute l'année)</h4>  <p>Les vents dominants c'est « Sud-Ouest »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>
<h4>- Vents d'hivers</h4>  <p>(Décembre – mars) « Sud-Ouest »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>	<h4>- Vents d'été</h4>  <p>(Juin – Septembre) « Nord-Est »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>

3.3.4. L'analyse climatique de la zone de Ghardaïa :

<h4>1- Température mensuelle</h4>  <p>Température mensuelle</p> <p>Source : métronome V7.1.3.19872</p> <p>La température varie entre le maximum de 48 °C en mois de juillet et le minimum de 5 °C en mois de janvier.</p>	<h4>2- Durée d'insolation</h4>  <p>Durée d'insolation</p> <p>Source : métronome V7.1.3.19872 Les jours les plus éclairés sont enregistrés durant la période d'été. La durée d'insolation varie entre le minimum de 10h au mois de décembre et le maximum de 12 h en mai, juin et juillet.</p>
<h4>3- Précipitation</h4>  <p>Précipitations</p> <p>Source : métronome V7.1.3.19872 La quantité de pluie atteint le maximum en mois de janvier et de décembre ou elle atteint seulement les 14 mm.</p>	<h4>4- les vents (toute l'année)</h4>  <p>Les vents dominants c'est « Sud-Ouest »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>
<h4>- Vents d'hivers</h4>  <p>(Décembre – mars)</p> <p>« Sud-Ouest »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>	<h4>- Vents d'été</h4>  <p>(Juin – Septembre)</p> <p>« Nord-Est »</p> <p>Source : Climate Consultant 6.0</p>

3.3.5. Synthèse climatique :

Afin d'arriver à classer les étages bioclimatiques des trois villes d'El Mohammadia, Chréa et de Ghardaïa nous avons eu recours au Climagramme d'Emberger.

Climagramme d'Emberger :

Le quotient pluvio-thermique d'Emberger (Q2) est une expression synthétique qui permet d'intégrer une région à un étage bioclimatique en utilisant la formule suivante :

$$Q = 2000P/M^2 - m^2$$

P: Précipitation annuelle exprimée en millimètres (mm).

M: La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud exprimée en Kelvin.

m: La moyenne des températures minimales du mois le plus froid exprimée en Kelvin³.

- Après calcul, le positionnement des valeurs du Q2 (74.45) et de m (6.2°C), relatives à la région d'El Mohammadia, sur le climagramme d'Emberger montre que cette dernière appartient à l'étage bioclimatique **sub-humide** à hiver doux et tempéré.
- Le positionnement des valeurs du Q2 (76,33) et de m (-5°C), relatives à la région Chréa, sur le climagramme d'Emberger montre que cette dernière appartient à l'étage bioclimatique **sub-humide** à hiver froid.
- Le positionnement des valeurs du Q2 (6.16) et de m (6.2°C), relatives à la région de Ghardaïa, sur le climagramme d'Emberger montre que cette dernière appartient à l'étage bioclimatique **saharien** à hiver doux et tempéré.

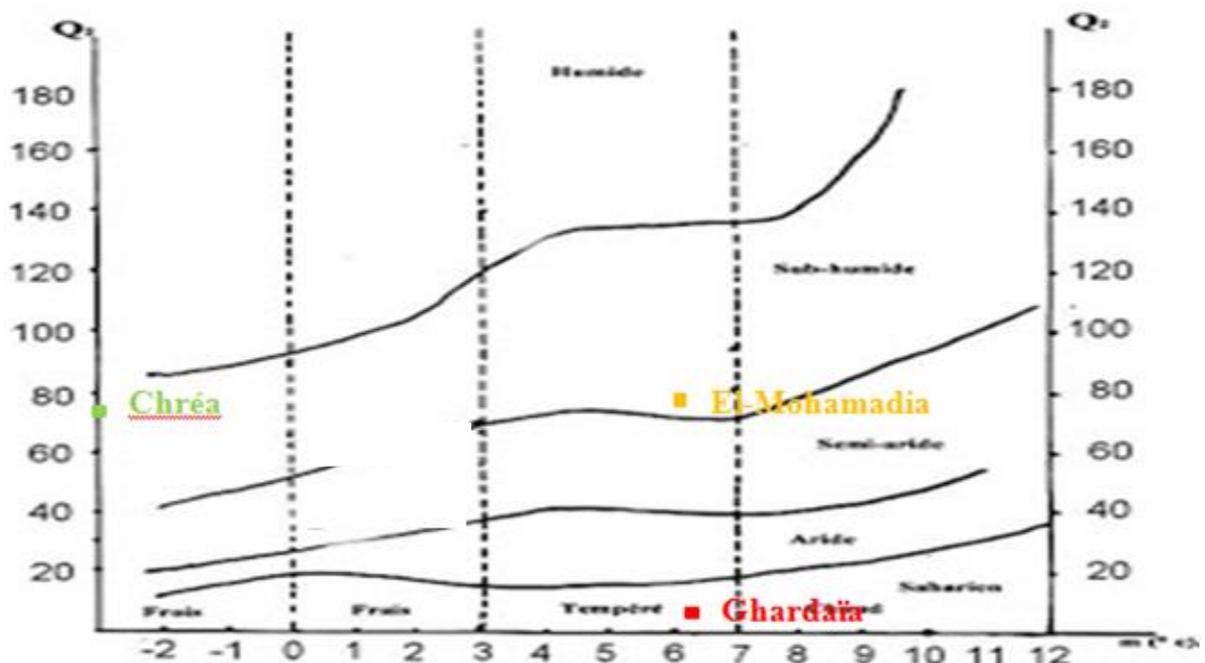


Figure 42 : Positionnement des zones d'études sur le climagramme d'Emberger

(Source : Climagramme d'Emberger, Schématiser par l'auteur)

³https://fr.wikipedia.org/wiki/Quotient_pluviométrique

4. Simulation :

Introduction :

L'évaluation de l'ambiance thermique des bâtiments est un sujet de préoccupation et de recherche depuis quelques décennies, cette évaluation du confort thermique sur l'enveloppe extérieure de la maison étudiée est l'appui pratique dans cette recherche, ce volet pratique consiste à déceler les qualités du matériau BTS sous les différents climats proposés des trois régions de l'Algérie. En proposant une approche de vérification par une simulation numérique.

4.1. Protocole de simulation :

Le logiciel utilisé pour réaliser cette simulation est **PLEIADES+COMFIE**,

Dans le cadre de cette étude le recours à ce type de logiciel est indispensable afin d'utiliser une simulation thermique dynamique (STD), ce qui permet de faire évaluer virtuellement la maison sur une année entière pour étudier le comportement prévisionnel pour des résultats proche de la réalité,

Pour cela on a choisi de faire des simulations sur différentes compositions de l'enveloppe extérieure dont le BTS est le composant principal par rapport aux différent étages bioclimatiques de nos sites quand on a pu les classer par le climagramme d'Emberger.

Pour cette recherche le scénario de consigne thermostat est fixé à une température du confort de 19° en hiver et de 27° pour l'été.

4.2. Présentation du logiciel de simulation :

Pleiades+COMFIE : (abrégé parfois en "Pleiades" ou "P+C") est un logiciel de simulation énergétique du bâtiment destiné à l'éco-conception et à l'optimisation énergétique de bâtiments. Pleiades est l'interface principale utilisée pour la saisie, le lancement des calculs et l'analyse des résultats.

Pleiades+COMFIE dispose de plusieurs modules de calculs : **STD COMFIE** : est utilisé pour la simulation thermique dynamique (calcul des besoins de chauffage et de refroidissement) et la simulation énergétique dynamique (calcul de la consommation d'équipements de chauffage, climatisation et Eau Chaude Sanitaire).

Le calcul thermique est basé sur le moteur Confie, qui a été développé par le Centre Efficacité énergétique des Systèmes de l'Ecole de Mines de Paris.

Cette interface est associée en amont à son modeleur graphique, **Alcyone**

Alcyone : Le modeleur graphique qui permet de saisir rapidement l'enveloppe du bâtiment, ses caractéristiques thermiques, les systèmes et les informations concernant l'usage.⁴

⁴Association APOGEE, *Revue pratique des logiciels de simulation énergétique dynamique (SED)*, juin 2015.

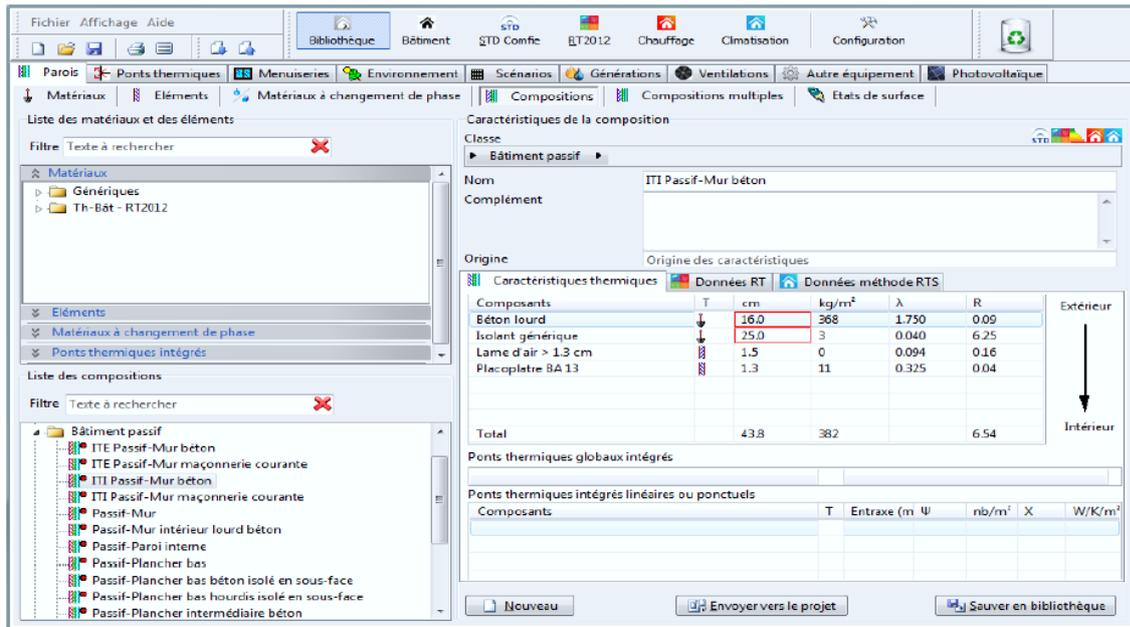


Figure 43 : Logiciel Pleiade+COMFIE (source : capture d'écran prise par l'auteur).

4.3. Méthodologie de simulation :

4.3.1. Création d'un fichier météorologique :

A. Sous logiciel Meteonorme version 7 :

Zone d'El Mohammadia : Climat sub-humide à hiver doux et tempéré

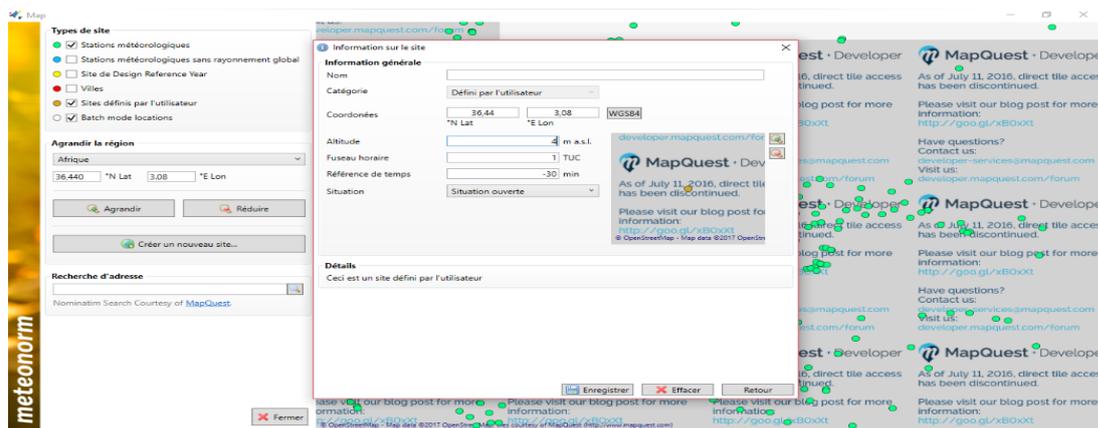


Figure 44 : Création de fichier météorologique de la zone d'El Mohammadia (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel meteonorme).

Zone de Chr a : Climat sub-humide à hiver froid

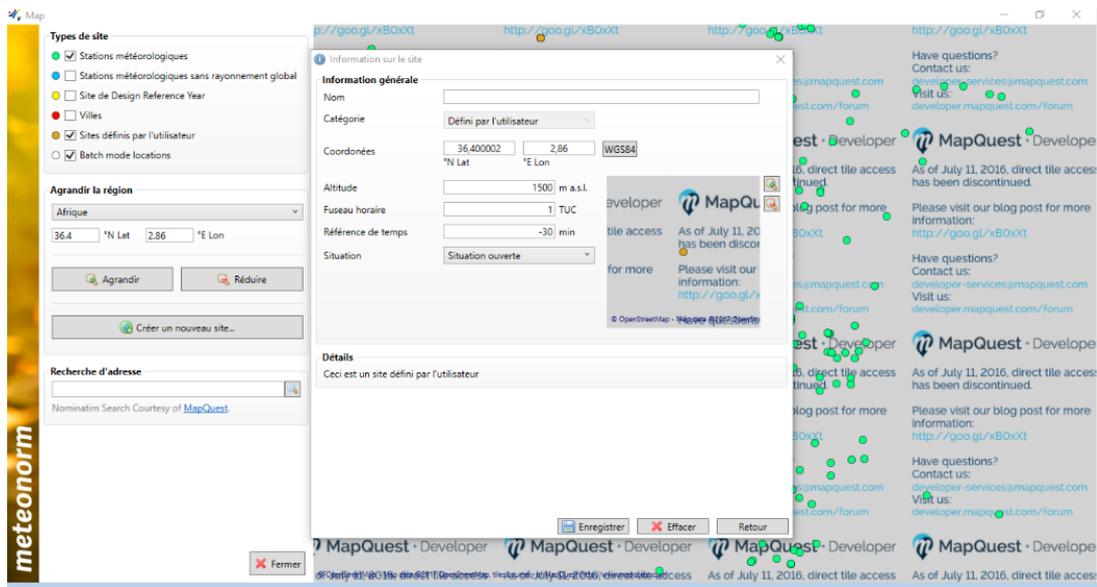


Figure 45 : Création de fichier météorologique de la zone de Chr a (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel meteonorme)

Zone de Ghardaïa : Climat saharien à hiver doux et tempéré

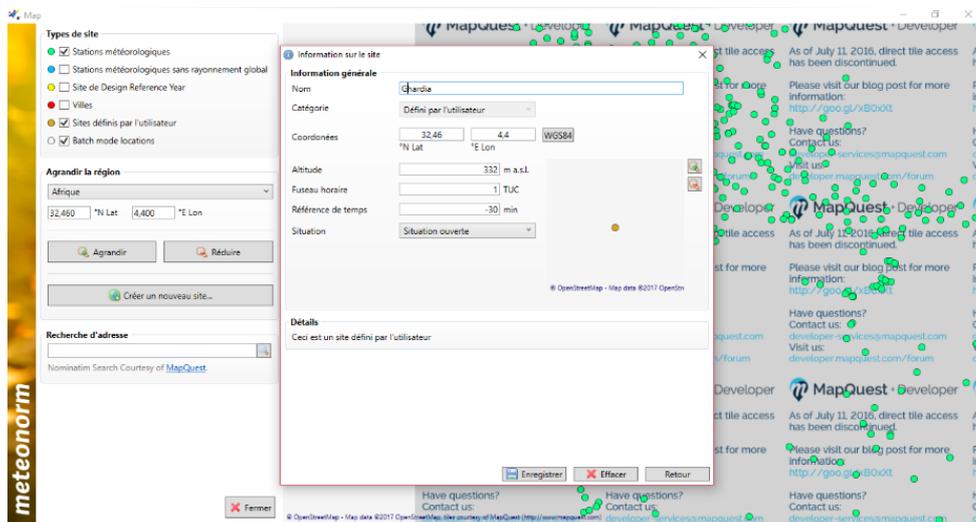


Figure 46 : Création de fichier météorologique de la zone de Ghardaïa (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel meteonorme)

B. Choix du format du fichier :

Pour avoir le format (.TRY), requis par COMFIE, soit à partir de données mensuelles, soit à partir de données horaires disponibles.

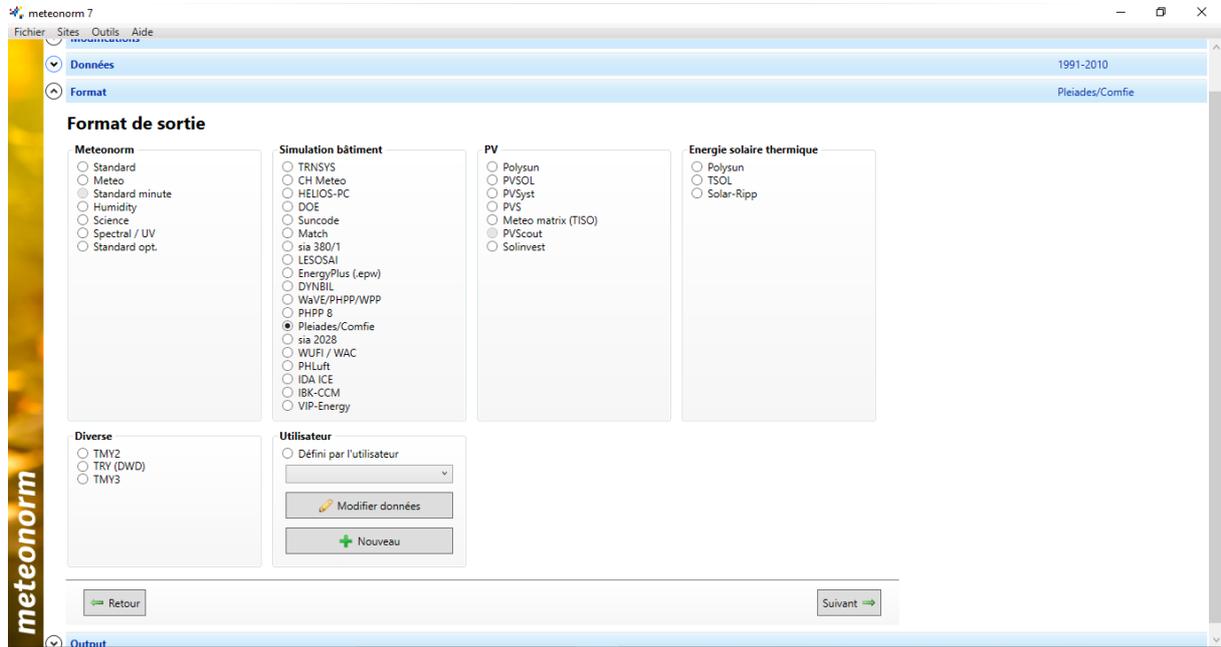


Figure 47 : Choix du format (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel meteonorme).

4.3.2. Présentation du model étudié :

A. Définition des paramètres constructifs sous Alcyone

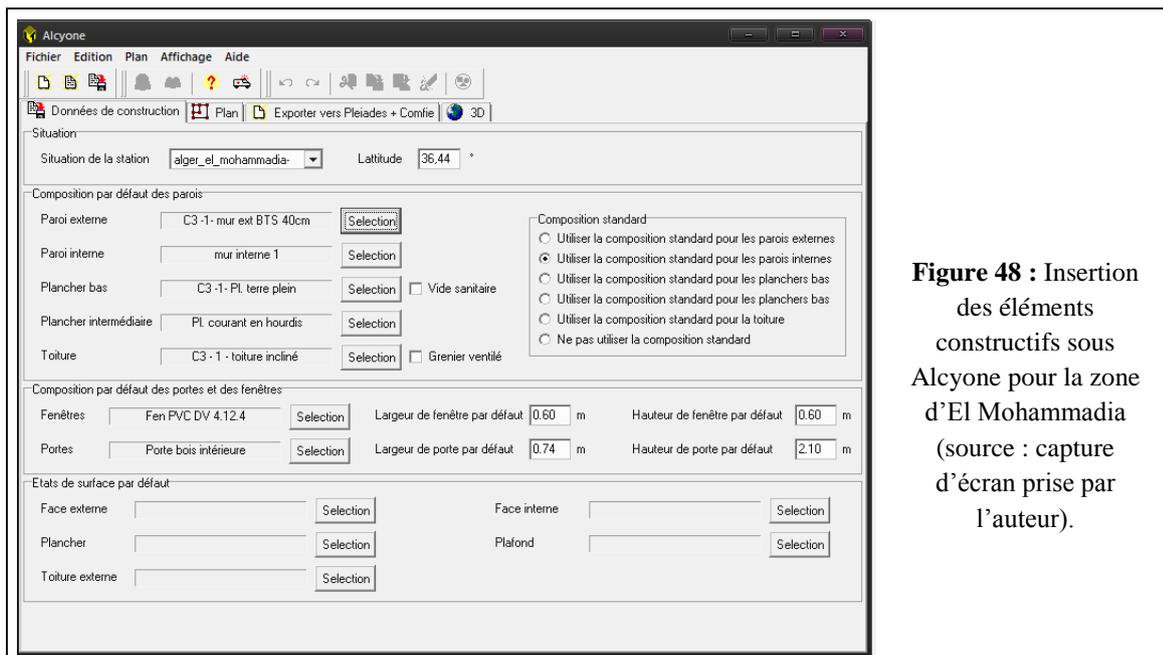


Figure 48 : Insertion des éléments constructifs sous Alcyone pour la zone d'El Mohammadia (source : capture d'écran prise par l'auteur).

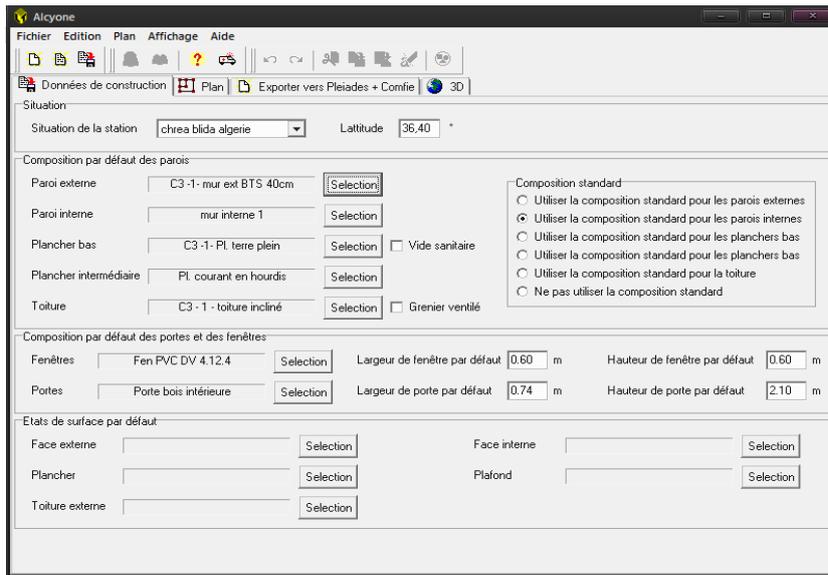


Figure 49:
Insertion des éléments constructifs sous Alcyone pour la zone de Chréa (source : capture d'écran prise par l'auteur).

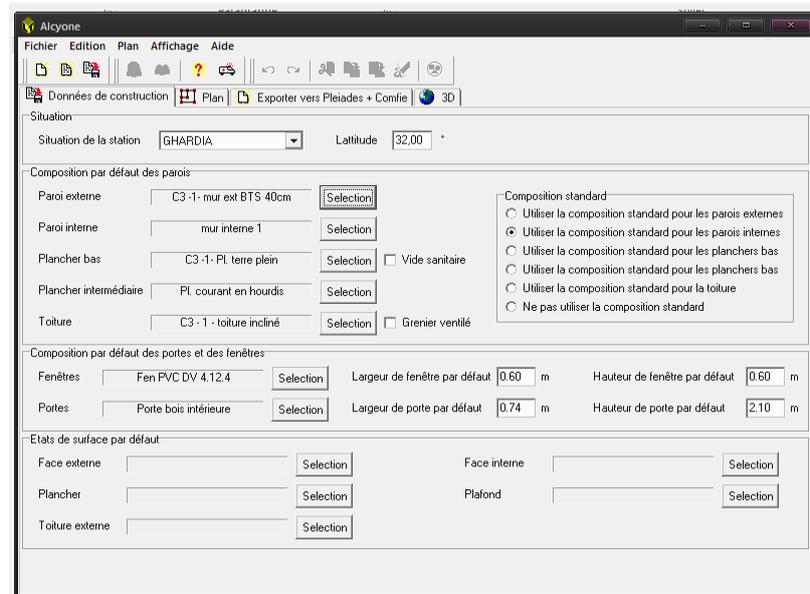


Figure 50 : Insertion des éléments constructifs sous Alcyone pour la zone de Ghardaïa (source : capture d'écran prise par l'auteur).

B. Conception du plan sur le logiciel Alcyone :

Nous permettons de :

- Caractériser les murs et les ouvertures
- Identifier les pièces et les zones selon le confort
- Identification de la position nord

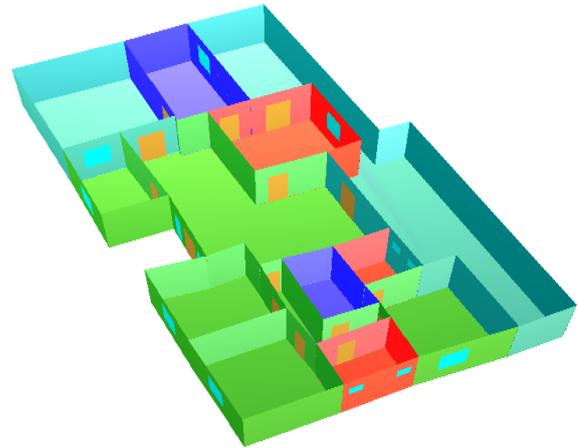
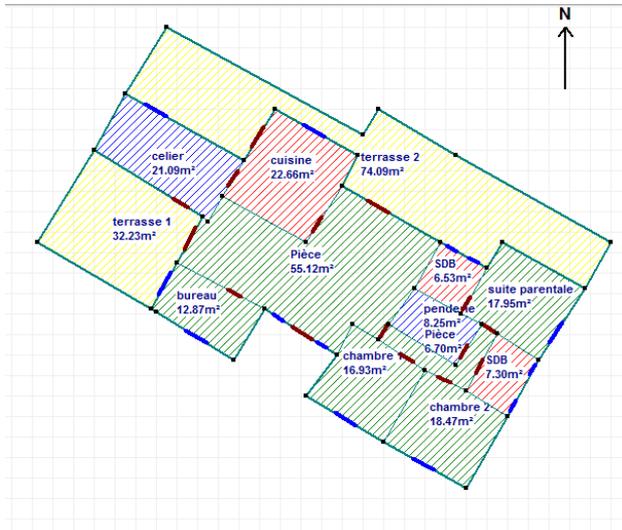


Figure 51 : Plan du rez de chaussée dessiné sous Alcyone (source : capture d'écran prise par l'auteur).

Figure 52 : Volumétrie dessinée sous Alcyone (source : capture d'écran prise par l'auteur).

C. Définition des zones thermiques :

		T_a chauff.	T_a clim.
Maison étudiée	Zone 1 (zone de confort)	Séjour	27 ° C
		Suite	
		Deux chambres	
		Bureau	
Zone 2	Deux salles de bain	19 ° C	Non climatisé
	Cuisine		
Zone 3	Penderie	Non chauffé	Non climatisé
	Cellier		

Figure 53 : Schéma démonstratif des différentes zones thermiques étudiés et leurs scénarios de consigne thermostat / source : auteur

4.3.3. Présentation des variables :

La simulation dans cette étude a pour but de démontrer les résultats obtenus lors d'intervention sur l'enveloppe extérieure de la maison et spécialement sur les murs extérieurs, Pour cela dans chaque étage climatique, on a effectué une étude comparative des variables de compositions qui sont les matériaux de construction, les isolants et les revêtements extérieurs.

L'examen de chaque variable est porté sur son efficacité énergétique et sur le taux du confort thermique atteint.

A. Zone d'El Mohammadia :

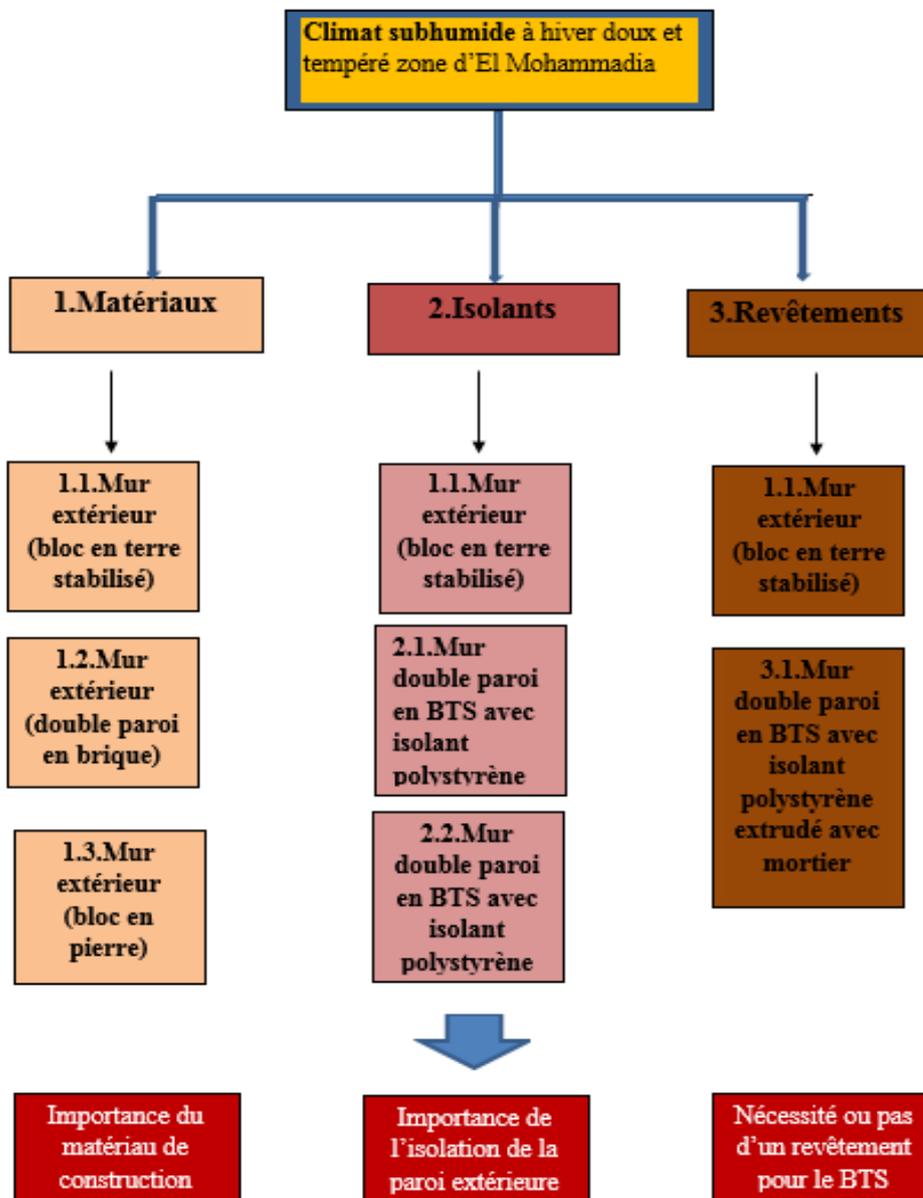


Figure 54: Schéma démonstratif des différentes variables à étudiées dans la zone d'El Mohammadia source : auteur

B. Zone de Chr ea :

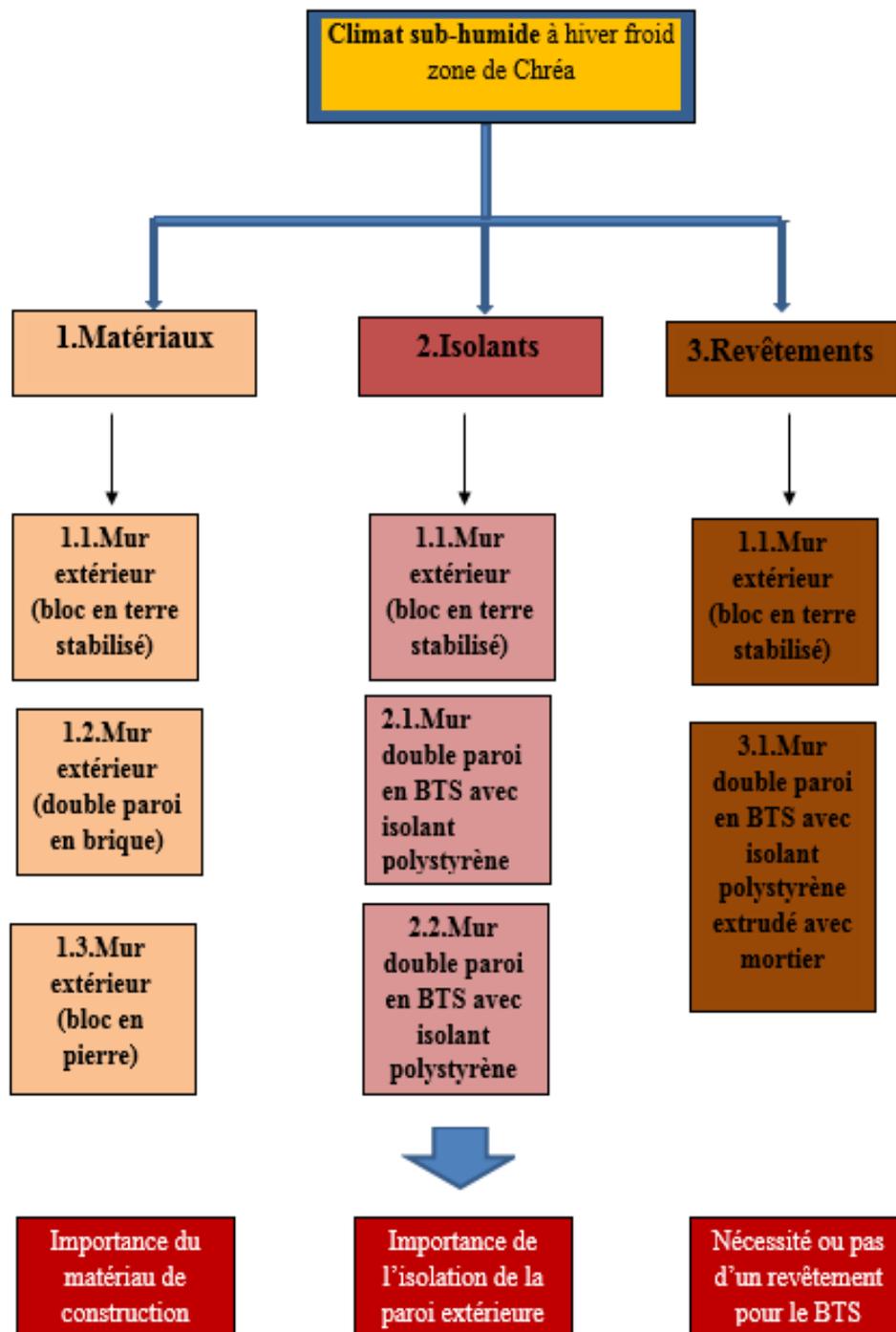


Figure 55 : Schéma démonstratif des différentes variables à tudi es dans la zone de Chr ea
source : auteur

C. Zone de Ghardaïa :

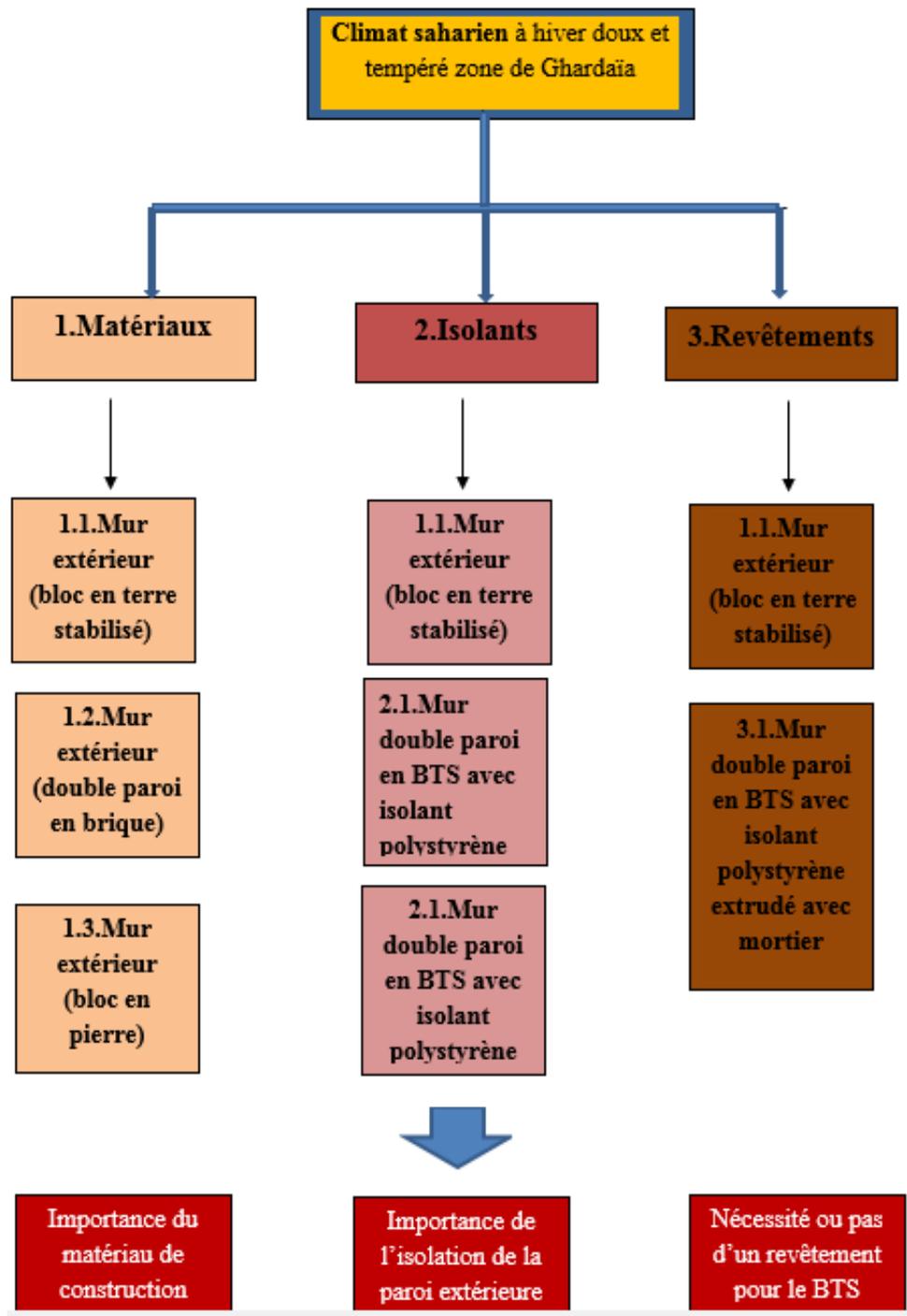


Figure 56 : Schéma démonstratif des différentes variables a étudiées dans la zone de Ghardaïa
source : auteur

4.3.4. Compositions des éléments constructifs avec Pléiades :

A. Composition :

Pour chaque variable on introduit sous pléiades ses composantes et ses caractéristiques thermo-physiques et, ces dernières sont : la conductivité thermique (λ), la chaleur spécifique (R), et la masse volumique (kg/m^3).

1. Matériaux :

Caractéristiques de la composition

Classe: Murs

Nom: C3-1- mur ext BTS 40cm

Complément:

Origine:

Composants	T	cm	kg/m ³	λ	R
bloc en terre stabilisé	M	40.0	800	0.90	0.44
Total		40.0	800		0.44

Extérieur

Intérieur

1. 1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Caractéristiques de la composition

Classe: Murs

Nom: C3-2- mur ext standart (1)

Complément:

Origine:

Composants	T	cm	kg/m ³	λ	R
Mortier	M	2.0	40	1.15	0.02
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21
Lame d'air > 1.3 cm	E	1.5	0	0.09	0.16
Brique creuse de 10 cm	E	10.0	69	0.48	0.21
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06
Total		25.5	194		0.66

Extérieur

Intérieur

1.2. Mur extérieur (double paroi en brique)

Caractéristiques de la composition

Classe: Murs

Nom: C3-3- mur ext pierre 36.5 cas ghardia

Complément:

Origine:

Composants	T	cm	kg/m ³	λ	R
Bloc en pierre ponce de :	E	36.5	219	0.13	2.86
Total		36.5	219		2.86

Extérieur

Intérieur

1.3. Mur extérieur (bloc en pierre)

2. Isolant :

Caractéristiques de la composition

Classe Murs

Nom C3-1- mur ext BTS 40cm

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
bloc en terre stabilisé	M	40.0	800	0.90	0.44
Total		40.0	800		0.44

Extérieur

Intérieur

1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Caractéristiques de la composition

Classe Murs

Nom C3-4- mur ext BTS 14c +polys expc9cm+ bts 29

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
bloc en terre stabilisé	M	29.0	580	0.90	0.32
Polystyrène expansé	M	9.0	2	0.04	2.31
bloc en terre stabilisé	M	14.0	280	0.90	0.16
Total		52.0	862		2.79

Extérieur

Intérieur

2.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé

Caractéristiques de la composition

Classe Murs

Nom C3-5- mur ext BTS 14c +polys extc9cm+ bts 29

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
bloc en terre stabilisé	M	29.0	580	0.90	0.32
Polystyrène extrudé	M	9.0	3	0.03	3.10
bloc en terre stabilisé	M	14.0	280	0.90	0.16
Total		52.0	863		3.58

Extérieur

Intérieur

2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé

3. Revêtements :

Caractéristiques de la composition

Classe Murs

Nom C3-1- mur ext BTS 40cm

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
bloc en terre stabilisé	M	40.0	800	0.90	0.44
Total		40.0	800		0.44

Extérieur

Intérieur

1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Caractéristiques de la composition

Classe Murs

Nom C1- mur ext beton cellulaire+15polys extrudé (8)

Complément

Origine

Composants	T	cm	kg/m ²	λ	R
Mortier	M	2.0	40	1.15	0.02
Béton cellulaire 400	M	25.0	100	0.16	1.56
Polystyrène extrudé	M	15.0	5	0.03	5.17
Plâtre courant	M	2.0	16	0.35	0.06
Total		44.0	161		6.81

Extérieur

Intérieur

3.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier

En fixant les paramètres suivants :

Caractéristiques du vitrage

Classe Fenêtres

Nom Fen PVC DV 4.12.4

Complément ..

Origine Ouvrage "Conception Thermique de l'Habitat"+ règles TH-

Nombre de vitrages 2 Vitrages

Changer les caractéristiques

Facteur solaire moyen 0.57

Coeff U moyen 2.47 W/(m2.K)

% de vitrage 70 %

Vitrage

Facteur solaire 0.81

Coeff U Vitrage 2.80 W/(m2.K)

Cadre

Coeff U Opaque 1.70 W/(m2.K)

Fenêtre a double vitrage

Caractéristiques du vitrage

Classe Porte-fenêtres

Nom P-Fen bat métal DV 4.12.4

Complément ou alu sans coupure de pont thermique

Origine Ouvrage "Conception Thermique de l'Habitat"+ règles TH-

Nombre de vitrages 2 Vitrages

Changer les caractéristiques

Facteur solaire moyen 0.60

Coeff U moyen 5.09 W/(m2.K)

% de vitrage 74 %

Vitrage

Facteur solaire 0.81

Coeff U Vitrage 4.25 W/(m2.K)

Cadre

Coeff U Opaque 7.50 W/(m2.K)

Porte - Fenêtre a double vitrage

Caractéristiques de la composition

Classe Toitures

Nom C3 - 1 - toiture incliné

Complément Couverture tuiles non ventilée

Origine

Composants	T	cm	kg/m²	λ	R	
Terre cuite	M	1.0	19	1.15	0.01	Extérieur ↓ Intérieur
Lame d'air > 1.3 cm	E	1.5	0	0.09	0.16	
Polystyrène extrudé	M	20	7	0.03	6.90	
Placoplatre BA 13	E	1.3	10	0.32	0.04	
Total		23.8	36		7.11	

Toiture inclinée

Caractéristiques de la composition

Classe Planchers

Nom Pl terre plein

Complément Isolé en sous face

Origine

Composants	T	cm	kg/m²	λ	R	
Béton lourd	M	20.0	460	1.75	0.11	Extérieur ↓ Intérieur
Polystyrène expansé	M	4.0	1	0.04	1.03	
Mortier	M	5.0	100	1.15	0.04	
Carrelage	M	2.0	46	1.70	0.01	
Total		31.0	607		1.19	

Plancher bas sur terre-plein

B. Identification de la station météorologique :

Cette étape permet d'utiliser les paramètres météorologiques des sites d'étude.

Zone d'El Mohammadia : Climat sub-humide à hiver doux et tempéré

Figure 57 : Identification de la station météorologique sous pléiades de la zone d'El Mohammadia (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

Zone de Chr ea : Climat sub-humide à hiver froid



Figure 58 : Identification de la station météorologique sous pléiades de la zone de Chr ea (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

Zone de Ghardaïa : Climat saharien à hiver doux et tempéré

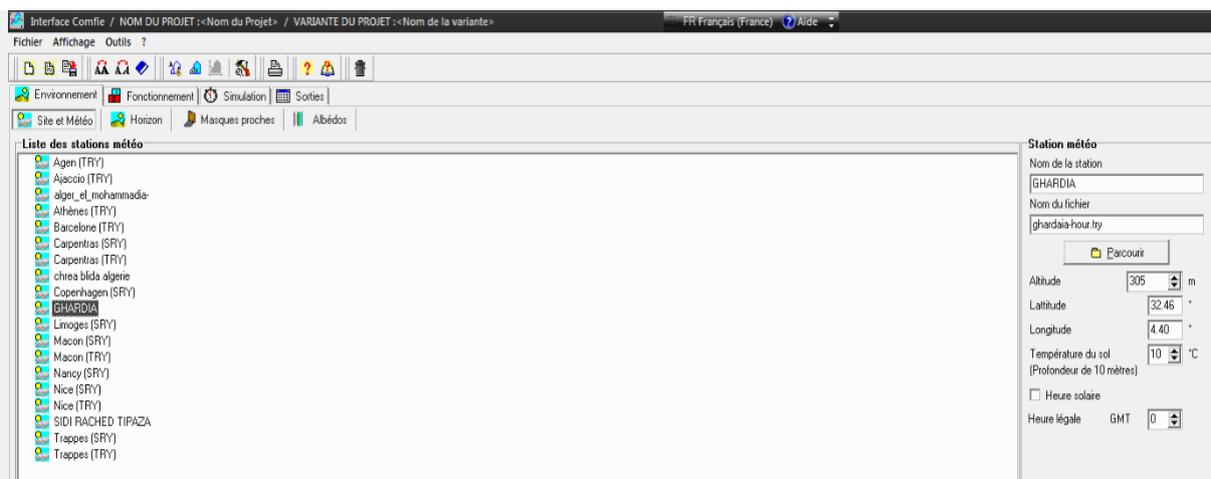


Figure 59 : Identification de la station météorologique sous pléiades de la zone de Ghardaïa (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

4.3.5. Définition des scenarios de fonctionnement :

Dans le cadre de cette étude des scénarios de fonctionnement vont être utilisés afin d'identifier les besoins ainsi que l'évolution des températures. Ces scenarios sont :

A. Scenario d'occupation :

Le scenario d'occupation : permet de déterminer le nombre d'utilisateur du logement ainsi que le taux de fréquentation de l'espace par heure, le but de ce scenario est de déterminer les apports internes produits par les occupants de la maison étudiée.

Pour notre simulation nous avons décidé d'effectuer des scenarios d'occupations similaires pour l'ensemble des zones de la maison afin d'avoir le maximum d'apports internes pour un nombre d'occupants de 04 personnes.

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	25	25	25	25	25	25	100
9 H	25	25	25	25	25	25	100
10 H	25	25	25	25	25	25	100
11 H	25	25	25	25	25	25	100
12 H	50	50	50	50	50	50	100
13 H	50	50	50	50	50	50	100
14 H	25	25	25	25	25	25	100
15 H	25	25	25	25	25	25	100
16 H	25	25	25	25	25	25	100
17 H	25	25	25	25	25	25	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Figure 60 : Scenario d'occupation (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

B. Scenario de consigne de thermostat :

Afin de déterminer les besoins en chauffage et en climatisation on doit intégrer la consigne de thermostat, la zone de confort est fixée à 19c° en hiver et à 27c° en été, cela permettra de déclencher automatiquement le chauffage ou la climatisation si les températures dépassent ces seuils.

°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	19	19	19	19	19	19	19
1 H	19	19	19	19	19	19	19
2 H	19	19	19	19	19	19	19
3 H	19	19	19	19	19	19	19
4 H	19	19	19	19	19	19	19
5 H	19	19	19	19	19	19	19
6 H	19	19	19	19	19	19	19
7 H	19	19	19	19	19	19	19
8 H	19	19	19	19	19	19	19
9 H	19	19	19	19	19	19	19
10 H	19	19	19	19	19	19	19
11 H	19	19	19	19	19	19	19
12 H	19	19	19	19	19	19	19
13 H	19	19	19	19	19	19	19
14 H	19	19	19	19	19	19	19
15 H	19	19	19	19	19	19	19
16 H	19	19	19	19	19	19	19
17 H	19	19	19	19	19	19	19
18 H	19	19	19	19	19	19	19
19 H	19	19	19	19	19	19	19
20 H	19	19	19	19	19	19	19
21 H	19	19	19	19	19	19	19
22 H	19	19	19	19	19	19	19
23 H	19	19	19	19	19	19	19
24 H	19	19	19	19	19	19	19

Figure 61 : Scenario de consigne de thermostat pour chauffage (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	27	27	27	27	27	27	27
1 H	27	27	27	27	27	27	27
2 H	27	27	27	27	27	27	27
3 H	27	27	27	27	27	27	27
4 H	27	27	27	27	27	27	27
5 H	27	27	27	27	27	27	27
6 H	27	27	27	27	27	27	27
7 H	27	27	27	27	27	27	27
8 H	27	27	27	27	27	27	27
9 H	27	27	27	27	27	27	27
10 H	27	27	27	27	27	27	27
11 H	27	27	27	27	27	27	27
12 H	27	27	27	27	27	27	27
13 H	27	27	27	27	27	27	27
14 H	27	27	27	27	27	27	27
15 H	27	27	27	27	27	27	27
16 H	27	27	27	27	27	27	27
17 H	27	27	27	27	27	27	27
18 H	27	27	27	27	27	27	27
19 H	27	27	27	27	27	27	27
20 H	27	27	27	27	27	27	27
21 H	27	27	27	27	27	27	27
22 H	27	27	27	27	27	27	27
23 H	27	27	27	27	27	27	27
24 H	27	27	27	27	27	27	27

Figure 62 : Scenario de consigne de thermostat pour climatisation (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

C. Scenario de ventilation :

On propose un taux de renouvellement standard de 0.6 du volume habitable.

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	100	100	100	100	100	100	100
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	100	100	100	100	100	100	100
12 H	100	100	100	100	100	100	100
13 H	100	100	100	100	100	100	100
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	100	100	100	100	100	100	100
16 H	100	100	100	100	100	100	100
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Figure 63 : Scenario de ventilation d'hiver (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

The screenshot shows a software window titled 'Bibliothèque thermique / NOM DU PROJET : <Nom du projet> / VARIANTE DU PROJET : <Nom de la variante>'. The interface includes a menu bar, a toolbar, and several panels. The main panel displays a table with columns for days of the week (Lundi to Dimanche) and rows for hours (0 H to 24 H). The table shows a percentage of ventilation for each hour. The 'Ventilation d'été' scenario is selected in the left panel, and its characteristics are shown in the bottom-left panel.

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Figure 64 : Scenario de ventilation d'été (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

D. Scenario de puissance dissipée :

Ce scénario permet de déterminer la chaleur émise par les appareils électriques pour la simulation technique dynamique et toujours dans le but d'identifier les apports internes.

The screenshot shows the same software window as Figure 64, but with the 'Puissance dissipée standard' scenario selected. The table shows a constant value of 100 for all hours and days.

Watts	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	100	100	100	100	100	100	100
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	100	100	100	100	100	100	100
12 H	100	100	100	100	100	100	100
13 H	100	100	100	100	100	100	100
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	100	100	100	100	100	100	100
16 H	100	100	100	100	100	100	100
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Figure 65 : Scenario de puissance dissipée (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

E. Scenario d'occultation :

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	95	95	95	95	95	95	95
2 H	95	95	95	95	95	95	95
3 H	95	95	95	95	95	95	95
4 H	95	95	95	95	95	95	95
5 H	95	95	95	95	95	95	95
6 H	95	95	95	95	95	95	95
7 H	95	95	95	95	95	95	95
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	95	95	95	95	95	95	95
20 H	95	95	95	95	95	95	95
21 H	95	95	95	95	95	95	95
22 H	95	95	95	95	95	95	95
23 H	95	95	95	95	95	95	95
24 H	95	95	95	95	95	95	95

Figure 66 : Scenario d'occultation volet d'hiver (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H							
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	95	95	95	95	95	95	95
9 H	95	95	95	95	95	95	95
10 H	95	95	95	95	95	95	95
11 H	95	95	95	95	95	95	95
12 H	95	95	95	95	95	95	95
13 H	95	95	95	95	95	95	95
14 H	95	95	95	95	95	95	95
15 H	95	95	95	95	95	95	95
16 H	95	95	95	95	95	95	95
17 H	95	95	95	95	95	95	95
18 H	95	95	95	95	95	95	95
19 H	95	95	95	95	95	95	95
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H	0	0	0	0	0	0	0

Figure 67 : Scenario d'occultation volet d'été (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

4.3.6. Intégration des scenarios :

On doit intégrer les scenarios selon le fonctionnement de chaque zone thermique.

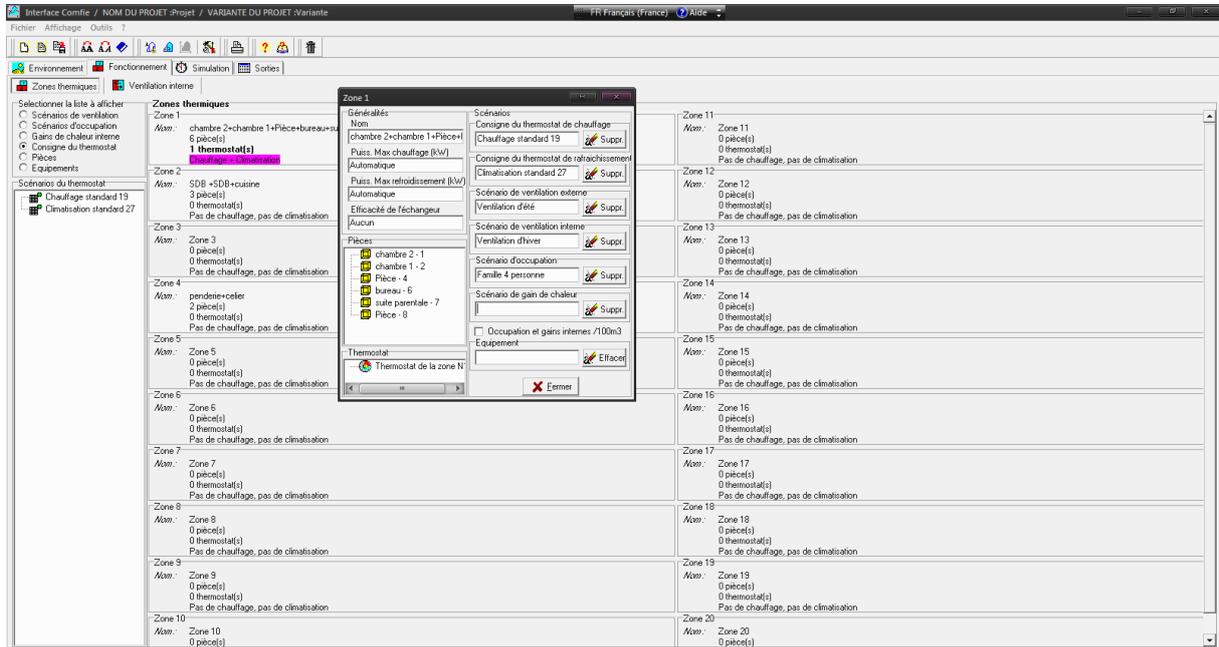


Figure 68 : Intégration des scenarios (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

4.3.7. Lancement de la simulation :

Après le lancement des simulations on a obtenu des résultats qui sont présentés au niveau du troisième chapitre.

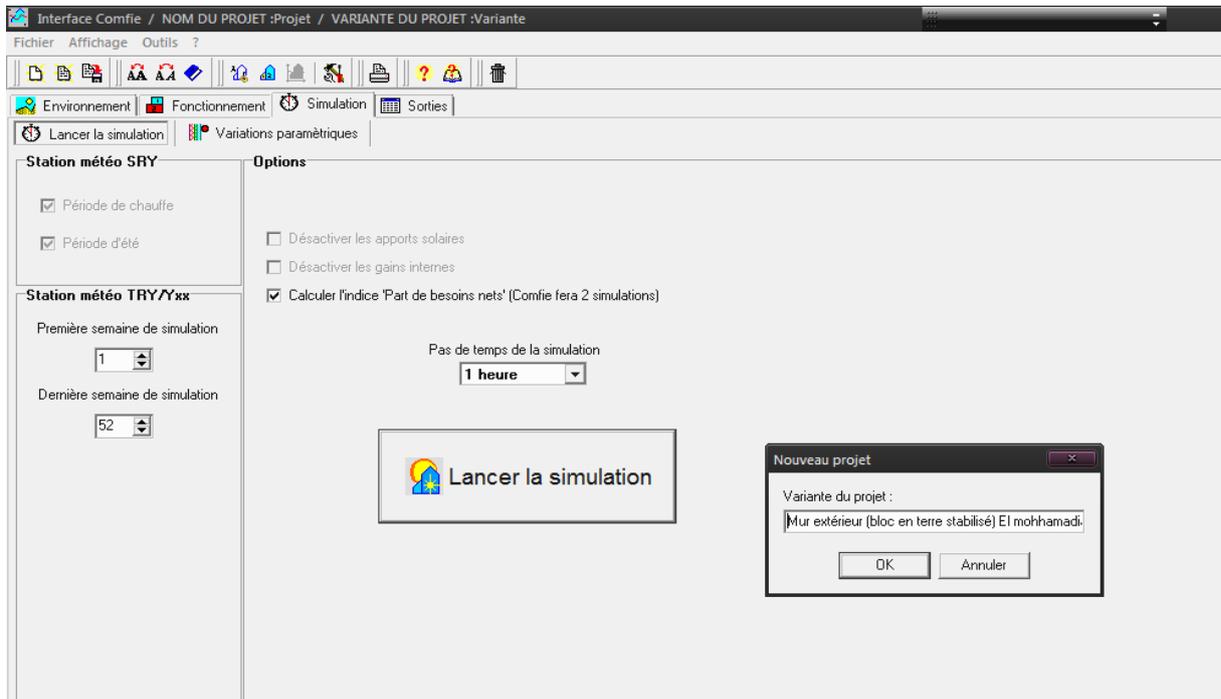


Figure 69 : Lancement de la simulation (source : capture d'écran prise par l'auteur depuis logiciel Pléiades).

Conclusion :

La modélisation de la maison étudiée c'est portée sur l'utilisation des propriétés thermo-physiques des blocs en terre stabilisés comme matériau de construction de l'enveloppe extérieure, ses critères ne sont pas les seuls pris en compte, les paramètres de l'architecture bioclimatique (orientation, compacité, ventilation naturelles,...) sont pris en considération afin d'obtenir une maison optimale et passive qui répond aux exigences du confort thermique avec une efficacité énergétique .

L'implantation de cette maison au niveau des trois villes (El Mohammadia, Chrea et Ghardaïa) a pour but de démontrer les possibilités offertes par le matériau terre BTS à s'intégrer aux différents climats de ses villes classés dans cette étude selon trois étages bioclimatiques (climat sub-humide à hiver doux et tempéré, climat sub-humide à hiver froid et climat saharien à hiver doux et tempéré).

Dans cette étude de nombreuses simulations ont été étudiées avec différentes variables afin de savoir si l'utilisation du Bloc de terre stabilisé(BTS) répond aux exigences du confort thermique et l'efficacité énergétique sous différents types de climats de l'Algérie.

Chapitre 03 : Résultat et discussions :

Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats obtenus après simulation ainsi que les discussions. La consommation énergétique des bâtiments révèle dans quelle mesure les stratégies de conception et de construction d'un projet permis de réduire la demande énergétique de ce bâtiment avec une estimation de consommation annuelle d'énergie en kWh/m² autant qu'indicateur de performance énergétique ¹.

Le diagramme de la performance énergétique a pour principal objet d'informer sur la performance énergétique des bâtiments, cette information communiquée doit nous permettre de comparer avec une relative objectivité les différentes composantes de parois extérieures de l'enveloppe entre eux sous les différents étages bioclimatiques des climats proposés dans cette étude.

Les résultats de la simulation nous apparaissent sous forme de fenêtres tableaux (tableaux suivants) indiquant les besoins de chauffage et les besoins de climatisation, les puissances de chauffage et les puissances de climatisation ainsi que les températures de chaque zone dans la maison étudiée.

1. Résultats de la simulation :

A. Cas d'el Mohammedia Alger :

1. Simulation des Matériaux :

*1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé) :

Voici ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 08 : Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-1- MOHAMMADIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièc	2477 kWh	1221 kWh	2465 W	3138 W	19.00 °C	22.33 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	981 kWh	0 kWh	859 W	-0 W	19.00 °C	22.50 °C	29.61 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	15.63 °C	21.85 °C	29.84 °C
Total	3458 kWh	1221 kWh	3324 W	3138 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	9.20 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	10.60 %	0.00 %	45.45 %		
SDB +SDB+cuisine	8.56 kWh/m3	13.18 (1/10°C)	11.56 %	0.00 %	52.92 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	13.06 (1/10°C)	15.75 %	0.00 %	0.00 %		

¹Label BBC, arrêté du 8 mai 2007, Bâtiments Basse Consommation BBC, Les Solutions d'Isolation STYROFOAM pour une efficacité énergétique durable PDF, Septembre 2010, Dow France S.A.S.Solutions pour Construire.

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 09 : Interprétation des Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
3324	3138	3458	2775	16.70	5.89
		4679		22.6	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

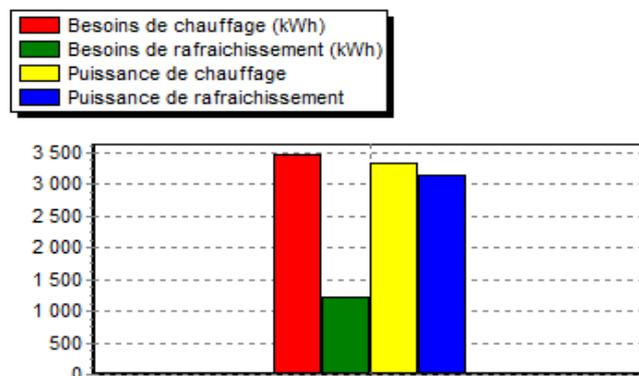


Figure70 : Histogramme des Résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

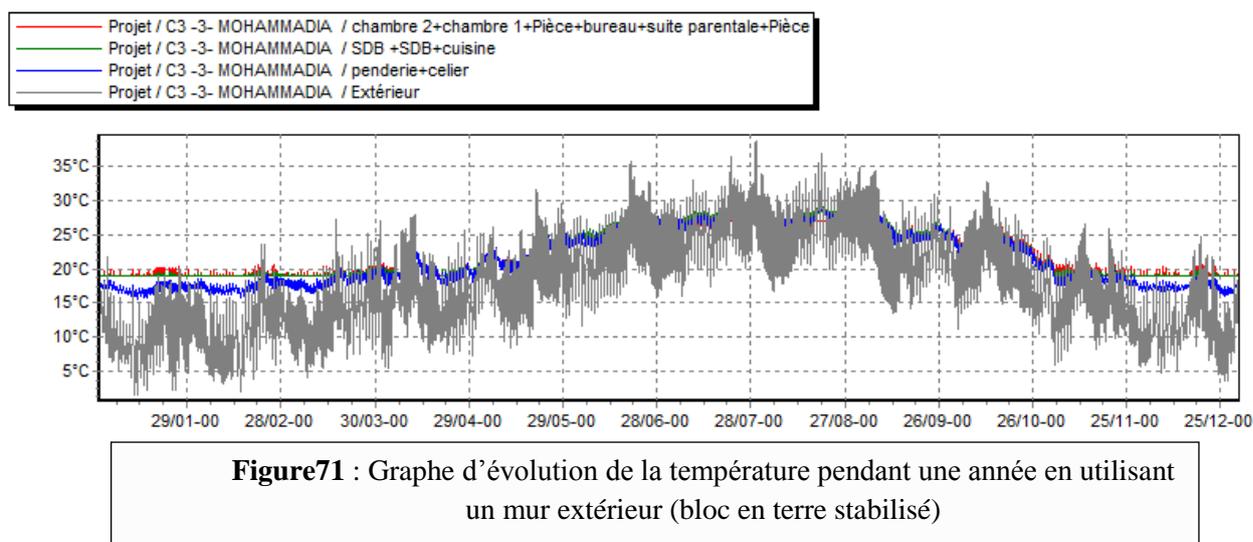
-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance faible de même pour les besoins en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance faible ainsi on constate une baisse importante dans les besoins en climatisations.

➤ Visualisation graphique des températures de l'année complète :



-Remarque :

Selon le graphe présenté ci-dessus les températures dans les différentes zones de la maison sont stables et arrive à rester dans la zone du confort malgré que les températures de l'extérieurs varient de 5c°l'hiver jusqu'à 40c° en été.

On remarque que les températures dans la zone 1 (zone du confort) varient entre 20c°en hiver et 26c° en été.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en BTS de 40 cm nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 22.6 kWh /m² : une bonne efficacité énergétique.
- D'obtenir un faible besoin en chauffage et en climatisation avec une faible puissance : économie d'énergie.
- D'attendre des températures de confort dans l'ensemble de la maison avec des moyennes stables par rapport aux températures d'extérieures : le confort thermique est atteint.

***1.2. Mur extérieur (double paroi en brique) :**

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 10: Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3 -2- MOHAMMADIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Piè	4540 kWh	2431 kWh	4655 W	5285 W	19.00 °C	22.38 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	1767 kWh	0 kWh	1601 W	-0 W	19.00 °C	22.69 °C	31.19 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.50 °C	21.74 °C	31.70 °C
Total	6306 kWh	2431 kWh	6256 W	5285 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	17.34 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	10.12 %	0.00 %	50.64 %		
SDB +SDB+cuisine	15.42 kWh/m3	20.94 (1/10°C)	13.40 %	0.00 %	57.79 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	19.73 (1/10°C)	19.84 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Interprétation des Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
6256	5285	6306	2431	30.46	11.74
		8737		42.20	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

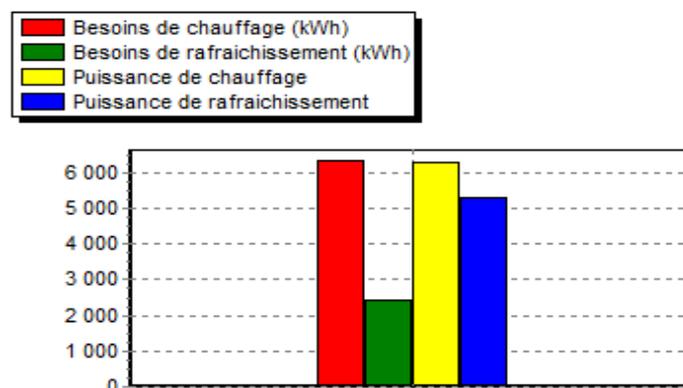


Figure72 : Histogramme des Résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance élevée de même pour les besoins en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance élevée ainsi on constate un besoin modéré en climatisations.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en brique nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 42.20 kWh /m² : une efficacité énergétique.
- D'obtenir un grand besoin en chauffage et en climatisation avec une haute puissance : économie d'énergie non atteinte.
- D'attendre le confort thermique avec une grande consommation d'énergie surtout dans la période hivernale.

***1.3. Mur extérieur (bloc en pierre) :**

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 12 : Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-3- MOHAMMADIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièce	5152 kWh	2775 kWh	4053 W	4144 W	19.00 °C	22.34 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	2047 kWh	0 kWh	1429 W	-0 W	19.00 °C	22.69 °C	30.18 °C
penderie+cellier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	14.17 °C	21.66 °C	30.22 °C
Total	7199 kWh	2775 kWh	5481 W	4144 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surchar	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	19.72 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	5.74 %	0.00 %	49.04 %		
SDB +SDB+cuisine	17.86 kWh/m3	17.61 (1/10°C)	7.33 %	0.00 %	57.32 %		
penderie+cellier	0.00 kWh/m3	16.61 (1/10°C)	9.93 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 13 : Interprétation des Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
5481	4144	7199	2775	34.77	13.46
		9974		48.18	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

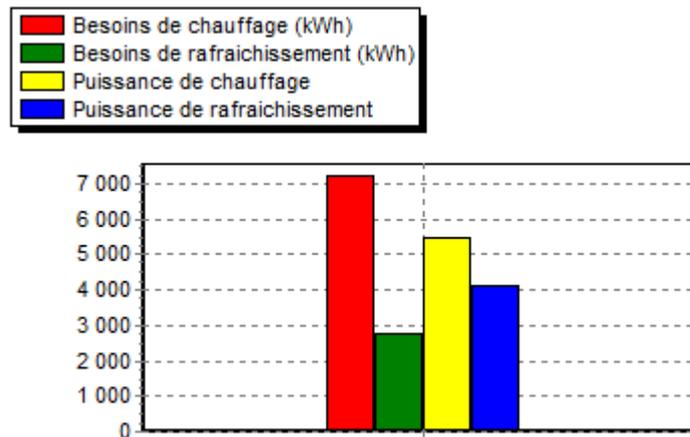


Figure78 : Histogramme des Résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

- la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance très élevée de même pour les besoins en chauffage.
- la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance moyenne ainsi on constate un besoin modéré en climatisations.

➤ Synthèse :

L'utilisation du mur en bloc en pierre nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 48.18 kWh /m² : une efficacité énergétique.
- D'obtenir un grand besoin en chauffage et un besoin modéré en climatisation avec une haute puissance : économie d'énergie non atteinte.
- D'attendre le confort thermique avec une grande consommation d'énergie surtout dans la période hivernale.

2. Simulation Isolant :

La simulation dans le cas de l'isolant a été réalisée entre les deux variables suivantes :

*1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé) : voir tableau n : 08

*2.1 Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 14: Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3 -4- MOHAMMADIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièc	2347 kWh	1160 kWh	2331 W	2910 W	19.00 °C	22.28 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	956 kWh	0 kWh	818 W	-0 W	19.00 °C	22.45 °C	29.17 °C
penderie+cellier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	16.01 °C	21.82 °C	29.19 °C
Total	3304 kWh	1160 kWh	3148 W	2910 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	8.72 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	7.87 %	0.00 %	43.36 %		
SDB +SDB+cuisine	8.35 kWh/m3	11.41 (1/10°C)	8.39 %	0.00 %	51.97 %		
penderie+cellier	0.00 kWh/m3	10.70 (1/10°C)	10.48 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Interprétation des Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
3148	2910	3304	1160	15.96	5.60
		4464		21.56	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

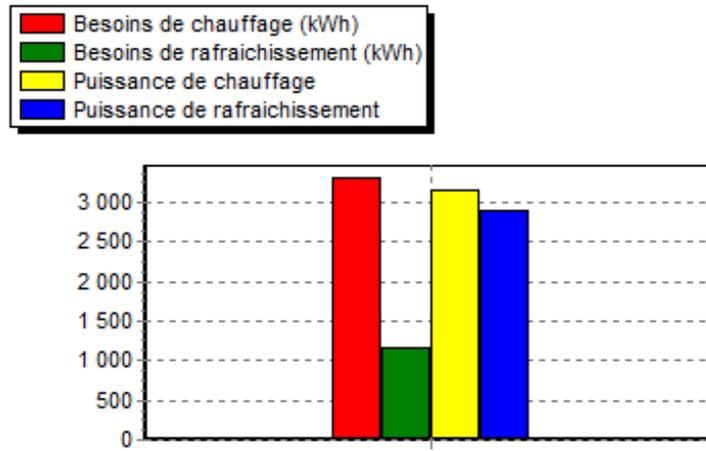


Figure79 : Histogramme des Résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance faible de même pour les besoins en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance faible ainsi on constate une baisse considérable dans les besoins en climatisations.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 21.56 kWh /m² : une bonne efficacité énergétique.
- D'obtenir un faible besoin en chauffage et surtout en climatisation avec une faible puissance : économie d'énergie.

***2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé :**

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE

Tableau 16 : Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-5-MOHAMMADIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièr	2187 kWh	1063 kWh	2235 W	2842 W	19.00 °C	22.28 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	893 kWh	0 kWh	785 W	-0 W	19.00 °C	22.43 °C	29.10 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	16.14 °C	21.83 °C	29.11 °C
Total	3080 kWh	1063 kWh	3020 W	2842 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	8.09 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	8.09 %	0.00 %	42.71 %		
SDB +SDB+cuisine	7.79 kWh/m3	10.66 (1/10°C)	8.52 %	0.00 %	51.29 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	9.89 (1/10°C)	10.52 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Interprétation des Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
3020	2842	3080	1063	14.87	5.13
		4143		20.01	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

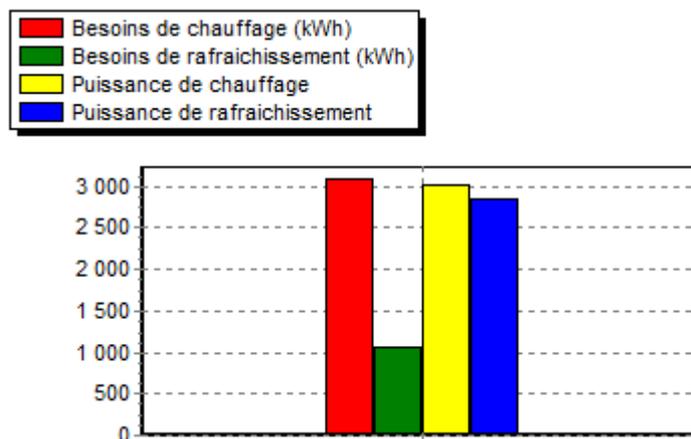


Figure80 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

- la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance très faible de même pour les besoins en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance très faible ainsi on constate une baisse très importante dans les besoins en climatisations.

➤ Visualisation graphique des températures de l'année complète :

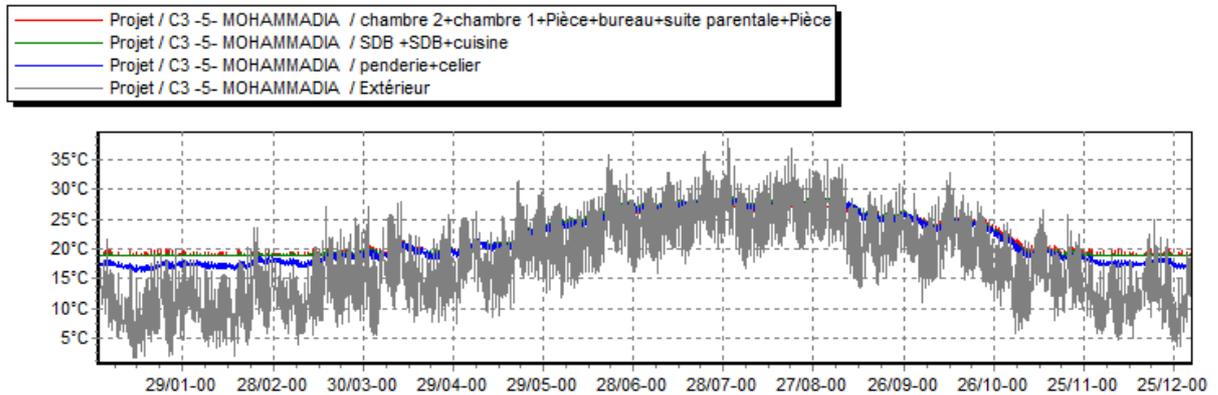


Figure81 : Graphe d'évolution de la température pendant une année en utilisant un mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé

-Remarque :

Selon le graphe présenté ci-dessus les températures dans les différentes zones de la maison sont stables et arrive à rester dans la zone du confort malgré que les températures de l'extérieurs varient de 5c°l'hiver jusqu'à 40c° en été.

On remarque que les températures dans la zone 1 (zone du confort) varie entre 19c°en hiver et 26c° en été.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 20.01 kWh /m² : une très bonne efficacité énergétique.
- D'obtenir un très faible besoin en chauffage et surtout en climatisation avec une faible puissance : économie d'énergie.
- D'attendre des températures de confort dans l'ensemble de la maison avec des moyennes stables par rapport aux températures d'extérieures : le confort thermique est atteint.

3. Simulation Revêtements :

1.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé : voir tableau n : 08

3.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE

Tableau 18: Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-6- MOHAMMADIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièr	2184 kWh	1061 kWh	2231 W	2841 W	19.00 °C	22.28 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	891 kWh	0 kWh	784 W	-0 W	19.00 °C	22.43 °C	29.10 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	16.15 °C	21.83 °C	29.11 °C
Total	3075 kWh	1061 kWh	3015 W	2841 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	8.07 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	8.10 %	0.00 %	42.69 %		
SDB +SDB+cuisine	7.78 kWh/m3	10.78 (1/10°C)	8.53 %	0.00 %	51.27 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	9.86 (1/10°C)	10.52 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 19: Interprétation des Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
3015	2841	3075	1061	14.85	5.13
		4136		19.98	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

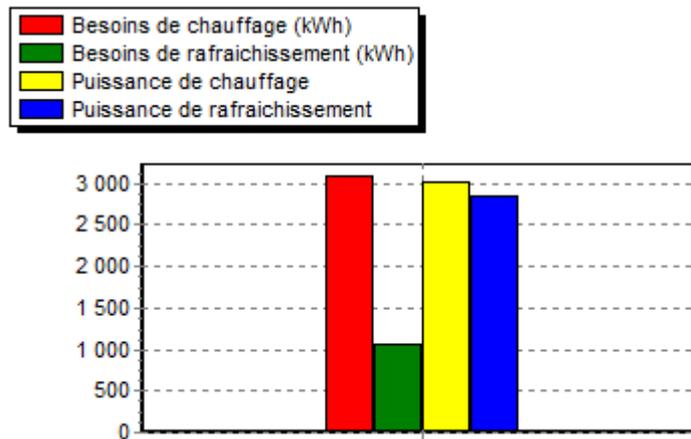


Figure82: Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate quand on a obtenu les mêmes résultats de simulation du mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé.

➤ Synthèse :

- **-L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier** nous offre les mêmes résultats d'utilisation de ce mur sans mortier. Sauf que l'un indice de performance énergétique annuel est réduit à 19.98 kWh /m² : une très bonne efficacité énergétique.
- L'obtention du confort thermique ce fait même sans revêtements grâce au mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé, le revêtement améliore l'efficacité énergétique.

4. Comparaison et évaluation des résultats :

Composition de variable	Besoin de chauffage. (KWh/m ²)	Besoin de climatisation. (KWh/m ²)	IPE (KWh/m ² /an)	Taux de réduction % par rapport au mur en brique
1. Matériaux				
1.1	16.7	5.89	22.6	- 46.44%
1.2	30.46	11.74	42.20	0 %
1.3	34.77	13.46	48.18	+14.17%
<p>Les résultats de comparaison entre les trois compositions nous révèlent que la consommation d'énergie est réduite à 46.44% en utilisant le bloc en terre stabilisé comme composition de la paroi extérieure et nous permet d'avoir une puissance d'énergie réduite avec des températures de confort stables d'une moyenne de 20c° en hiver et de 27c° en été.</p>				
2. Isolant				
2.1	15.96	5.6	21.56	- 48.9%
2.2	14.87	5.13	20.01	- 52.58%
<p>Nous avons apporté une amélioration la composition de la variable (1.1) qui est l'isolation, après nous avons établi une comparaison entre les composantes des deux variables (2.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé) et (2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) le résultat nous révèle que la consommation d'énergie est réduite à 52.58 % en utilisons la composition (2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) comme composition de la paroi extérieure et nous permet d'avoir une puissance d'énergie très faible avec des températures de confort stables d'une moyenne de 19c° en hiver et de 26c° en été.</p>				
3. Revêtements				
3.1	14.85	5.12	19.98	-52.65%
<p>La consommation d'énergie est réduite à 52.65 % en ajoutant un revêtement de type mortier la composition (2.2 Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) comme composition de la paroi extérieure avec les mêmes résultats de besoins et de températures du mur sans revêtements.</p>				

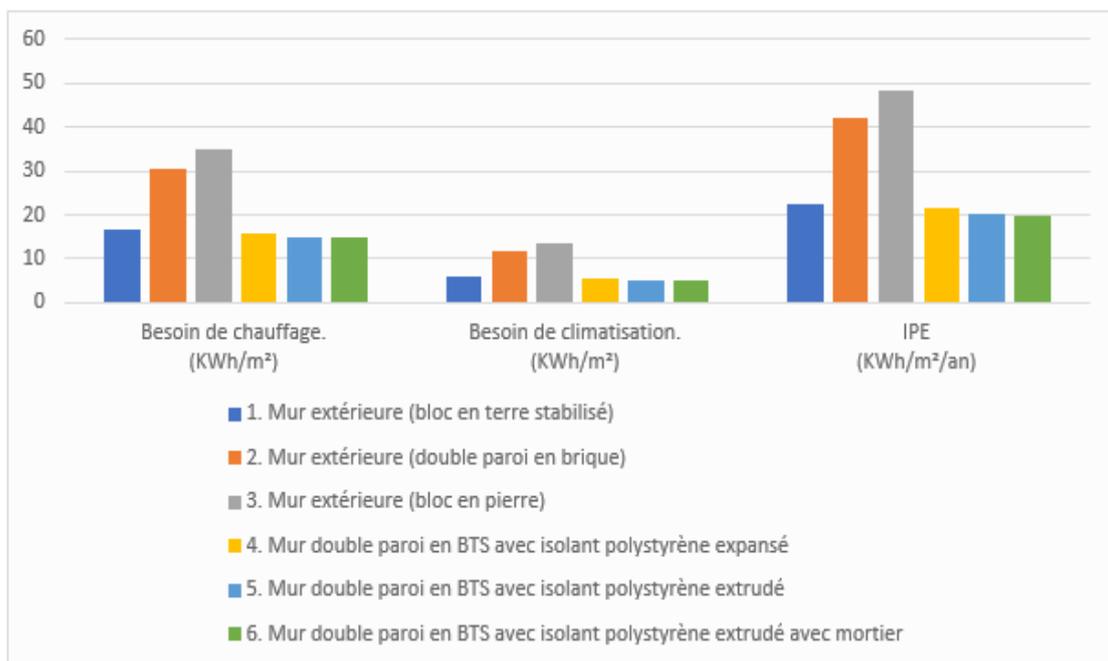


Figure83 : Histogramme de comparaison des besoins annuelle en chauffage et climatisation de notre cas d'étude El Mohammadia Alger / source : auteur

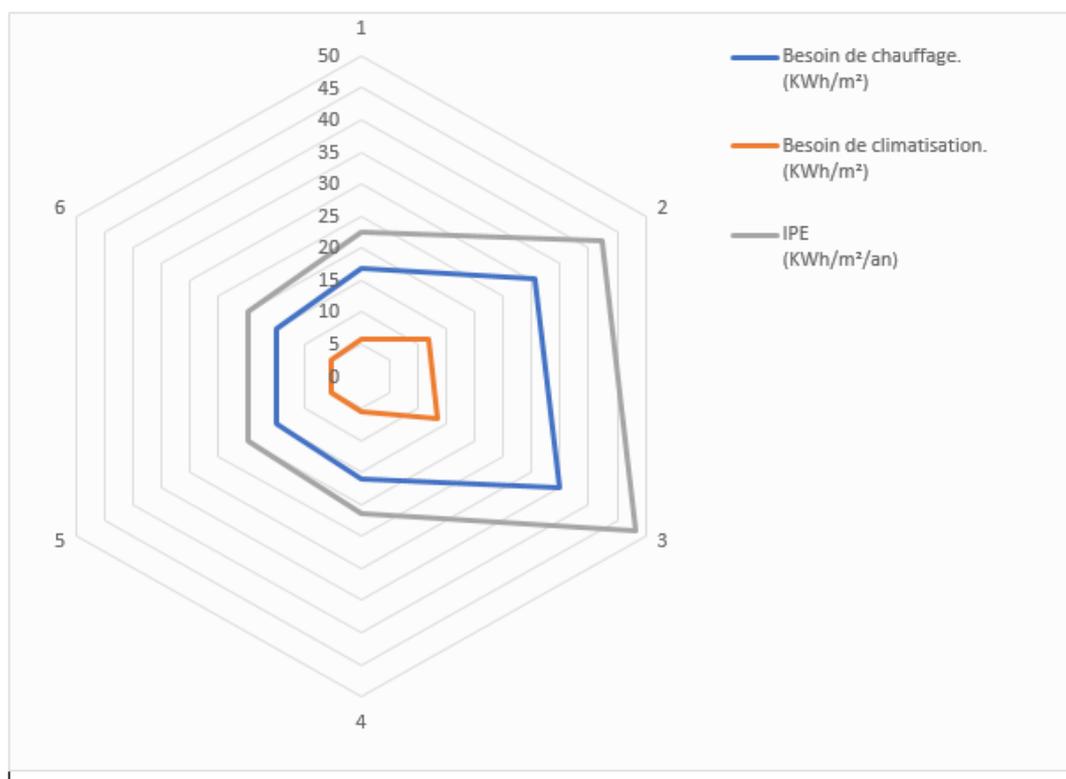


Figure84 : Rader du besoin annuel en chauffage et climatisation de notre cas d'étude a el Mohammadia Alger source : auteur

Synthèse :

- Grace aux résultats de comparaison obtenus de la simulation dans cette étude des différentes variables proposées on constate que la consommation d'énergie est réduite à 46.44% en adoptant le bloc en terre stabilisé de 40 cm d'épaisseur et elle peut être aussi réduite aussi jusqu'à 52.65 % en utilisant l'isolation et un revêtement avec le bloc en terre stabilisé.
- Les températures intérieures du confort sont atteintes et stables malgré les changements de températures extérieures, ce qui confirme la bonne inertie thermique du matériau BTS.
- Une baisse de consommation d'énergie et un très faible besoin d'énergie offre une bonne efficacité énergétique à la maison.
- L'isolation de l'enveloppe extérieure de la maison participe au confort thermique.
- Le revêtement adéquat au matériau terre BTS comme le mortier utilisé dans cette étude améliore légèrement l'efficacité énergétique de la maison.
- L'utilisation du BTS dans la commune de El Mohammadia Alger qui est une zone climatique méditerranéenne sub – humide a hiver tempéré répond aux exigences du confort thermique avec une excellente efficacité énergétique.

B. Cas de Chréa Blida :

1. Simulation des Matériaux :

1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé) :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 20: Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet /' C3 -1- CHREA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Piè	7839 kWh	345 kWh	3901 W	2393 W	19.00 °C	21.03 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	2925 kWh	0 kWh	1341 W	-0 W	19.00 °C	21.11 °C	29.03 °C
penderie+cellier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.45 °C	19.43 °C	28.86 °C
Total	10764 kWh	345 kWh	5242 W	2393 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surchar	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	20.36 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	8.21 %	0.00 %	63.56 %		
SDB +SDB+cuisine	25.52 kWh/m3	12.03 (1/10°C)	7.83 %	0.00 %	70.20 %		
penderie+cellier	0.00 kWh/m3	9.94 (1/10°C)	15.23 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 21 : Interprétation des Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
5242	2399	10764	345	52.00	1.66
		11109		53.66	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

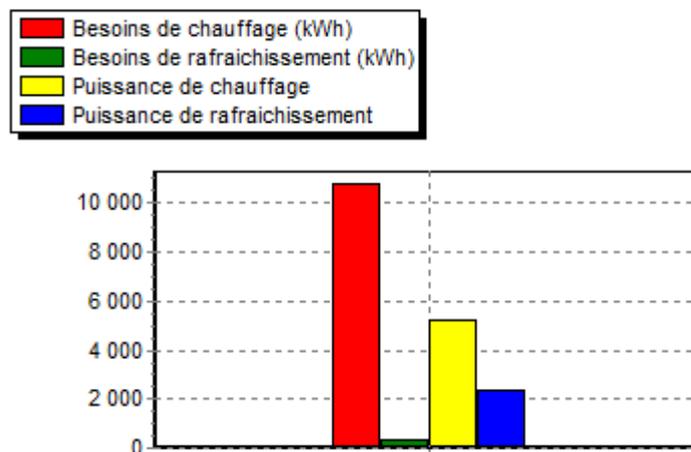


Figure85 : Histogramme des Résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance faible mais pour le besoin en chauffage c'est très élevé.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance faible ainsi on constate une baisse importante dans les besoins en climatisations.

➤ Visualisation graphique des températures de l'année complète :

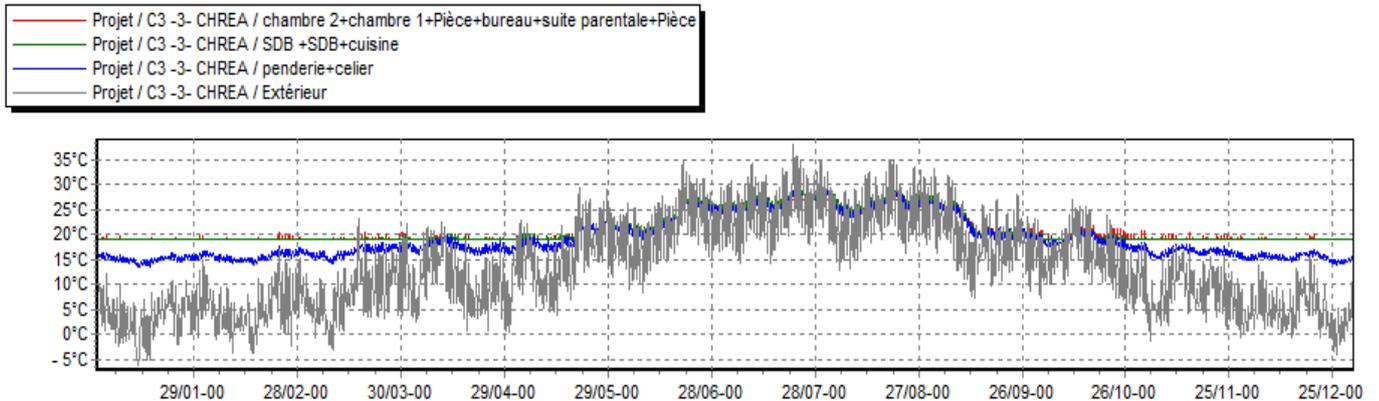


Figure86 : Graphe de l'évolution de la température pendant une année en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Selon le graphe présenté ci-dessus les températures dans les différentes zones de la maison sont stables et arrive à rester dans la zone du confort malgré que les températures de l'extérieurs varient de -5°C l'hiver jusqu'à 35°C en été.

On remarque que les températures dans la zone 1 (zone du confort) varie entre 19°C en hiver et 26°C en été.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en BTS de 40 cm nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 53.66 kWh /m^2 : une bonne efficacité énergétique.
- D'obtenir un faible besoin en climatisation avec une faible puissance : économie d'énergie et aussi d'obtenir un besoin important en chauffage qui s'explique par l'étage bioclimatique de la région mais avec une faible puissance de chauffage nécessaire pour attendre le confort.
- D'attendre des températures de confort dans l'ensemble de la maison avec des moyennes stables par rapport aux températures d'extérieures : le confort thermique est atteint.

1.2. Mur extérieur (double paroi en brique) :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 22 : Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

Résumer							
Projet sélectionné : Projet / C3-2- CHREA							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièc	13283 kWh	1180 kWh	7023 W	4380 W	19.00 °C	21.19 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	4896 kWh	0 kWh	2400 W	-0 W	19.00 °C	21.38 °C	30.66 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	9.97 °C	18.98 °C	30.74 °C
Total	18179 kWh	1180 kWh	9423 W	4380 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	35.98 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	7.94 %	0.00 %	67.06 %		
SDB +SDB+cuisine	42.73 kWh/m3	21.35 (1/10°C)	9.74 %	0.00 %	72.87 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	20.63 (1/10°C)	20.45 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Interprétation des Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
9423	4380	18179	1180	87.82	5.70
		19359		93.52	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

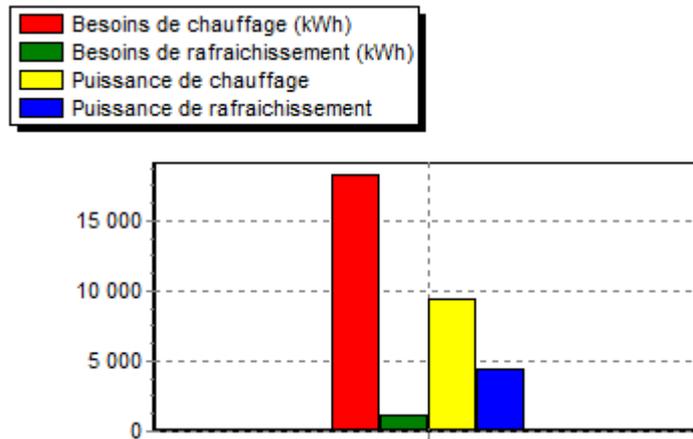


Figure87 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance très élevée de même pour les besoins en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance élevée ainsi on constate un besoin modéré en climatisations.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en brique nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 93.52 kWh /m² : une efficacité énergétique non atteinte.
- D'obtenir un grand besoin en chauffage avec une haute puissance : économie d'énergie non atteinte.
- D'attendre le confort thermique avec une grande consommation d'énergie surtout dans la période hivernale.

1.3. Mur extérieur (bloc en pierre) :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 24 : Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-3- CHREA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièr	15543 kWh	1255 kWh	6868 W	3593 W	19.00 °C	21.23 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	5730 kWh	0 kWh	2357 W	-0 W	19.00 °C	21.43 °C	29.90 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	10.70 °C	18.81 °C	29.73 °C
Total	21272 kWh	1255 kWh	9225 W	3593 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	41.78 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.15 %	0.00 %	67.16 %		
SDB +SDB+cuisine	50.00 kWh/m3	16.5 (1/10°C)	5.19 %	0.00 %	73.10 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	15.46 (1/10°C)	10.04 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 25 : Interprétation des Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
9225	3593	21272	1255	102.76	6.06
		22527		108.82	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

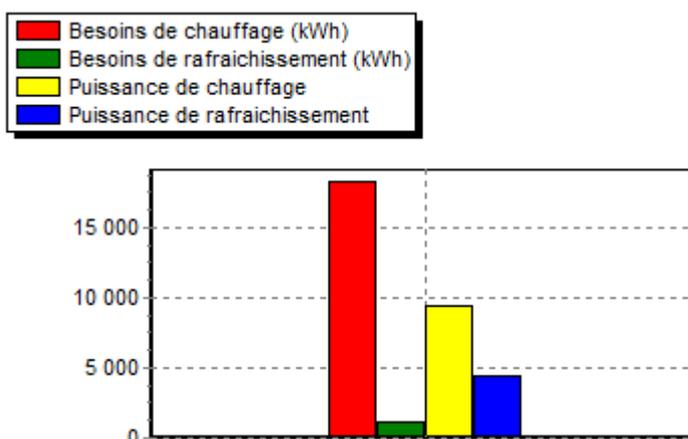


Figure88 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

- la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance très élevée de même pour les besoins en chauffage.
- la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance élevée ainsi on constate un besoin modéré en climatisations.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en en bloc en pierre nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 108.82 kWh /m² : une efficacité énergétique non atteinte.
- D'obtenir un grand besoin en chauffage avec une haute puissance : économie d'énergie non atteinte.
- D'attendre le confort thermique avec une grande consommation d'énergie surtout dans la période hivernale.

2. Simulation Isolant :

1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé) : voir tableau n : 08

2.1Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 26 : Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

Résumer							
Projet sélectionné : Projet / C3-4-CHREA							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièc	7750 kWh	263 kWh	3721 W	1999 W	19.00 °C	21.02 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	2915 kWh	0 kWh	1281 W	-0 W	19.00 °C	21.10 °C	28.54 °C
penderie+cellier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	13.88 °C	19.42 °C	28.20 °C
Total	10664 kWh	263 kWh	5002 W	1999 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	19.93 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	6.08 %	0.00 %	62.99 %		
SDB +SDB+cuisine	25.44 kWh/m3	8.53 (1/10°C)	5.69 %	0.00 %	70.16 %		
penderie+cellier	0.00 kWh/m3	6.04 (1/10°C)	10.27 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 27 : Interprétation des Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
5002	1999	10664	263	51.51	1.27
		4464		52.78	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

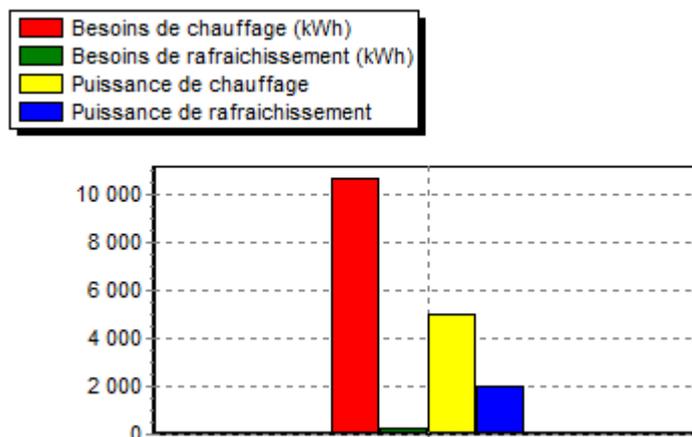


Figure89 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance faible mais pour le besoin en chauffage c'est très élevé.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance très faible ainsi on constate une baisse considérable dans les besoins en climatisations.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 52.78 kWh /m² : une efficacité énergétique atteinte.
- D'obtenir un très faible besoin en climatisation avec une faible puissance : économie d'énergie et aussi d'obtenir un besoin important en chauffage qui s'explique par l'étage bioclimatique de la région mais avec une faible puissance de chauffage nécessaire pour attendre le confort.

2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE

Tableau 28 : Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

Résumer							
Projet sélectionné : Projet / C3-5-CHREA							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièr	7302 kWh	215 kWh	3557 W	1865 W	19.00 °C	20.99 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	2750 kWh	0 kWh	1222 W	-0 W	19.00 °C	21.06 °C	28.44 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	14.12 °C	19.46 °C	28.09 °C
Total	10052 kWh	215 kWh	4779 W	1865 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	18.70 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	6.27 %	0.00 %	62.51 %		
SDB +SDB+cuisine	24.00 kWh/m3	7.92 (1/10°C)	5.75 %	0.00 %	69.78 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	6.65 (1/10°C)	10.28 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 29 : Interprétation des Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
4779	1865	10052	215	48.56	1.03
		10267		49.59	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

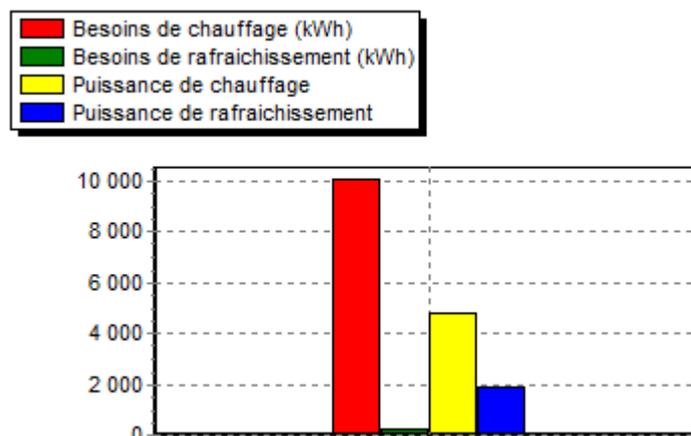


Figure90 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance très faible mais pour le besoin en chauffage c'est très élevé.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance très réduite ainsi on constate une baisse très importante dans les besoins en climatisations.

- Visualisation graphique des températures de l'année complète :

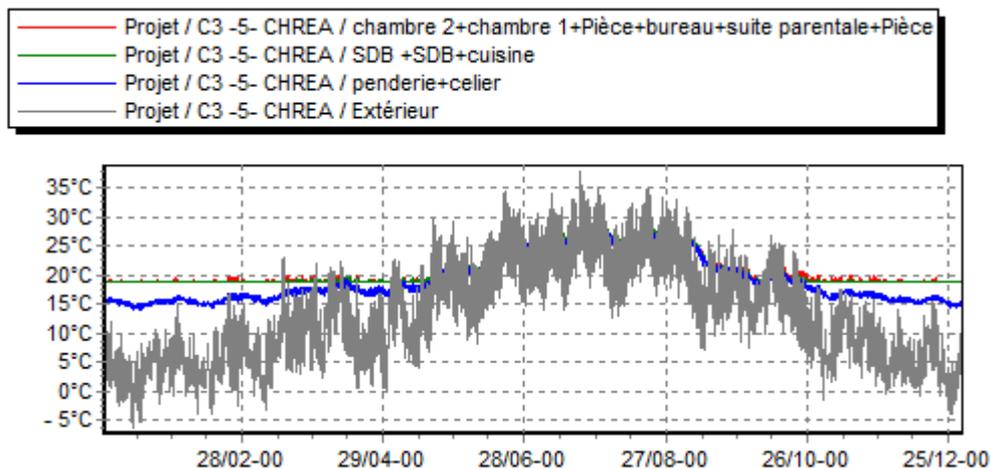


Figure91 : Graphe d'évolution de la température pendant une année en utilisant un mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé

-Remarque :

Selon le graphe présenté ci-dessus les températures dans les différentes zones de la maison sont stables et arrive à rester dans la zone du confort malgré que les températures de l'extérieurs varient de -5c°l'hiver jusqu'à 35c° en été.

On remarque que les températures dans la zone 1 (zone du confort) varient entre 19c°en hiver et 25c° en été.

- **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 49.59 kWh /m² : une très bonne efficacité énergétique.
- D'obtenir un très faible besoin vraiment réduit en climatisation avec une très faible puissance : économie d'énergie et aussi d'obtenir un besoin élevé en chauffage qui s'explique par l'étage bioclimatique de la région mais avec une très faible puissance de chauffage nécessaire pour attendre le confort
- D'attendre des températures de confort dans l'ensemble de la maison avec des moyennes stables par rapport aux températures d'extérieures : le confort thermique est atteint.

3. Simulation Revêtements :

1.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé : voir tableau n : 08

3.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE

Tableau 30 : Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier)

Résumer							
Projet sélectionné : Projet / C3-6-CHREA							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièr	7302 kWh	215 kWh	3557 W	1865 W	19.00 °C	20.99 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	2750 kWh	0 kWh	1222 W	-0 W	19.00 °C	21.06 °C	28.44 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	14.12 °C	19.46 °C	28.09 °C
Total	10052 kWh	215 kWh	4779 W	1865 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	18.70 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	6.27 %	0.00 %	62.51 %		
SDB +SDB+cuisine	24.00 kWh/m3	7.92 (1/10°C)	5.75 %	0.00 %	69.78 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	6.65 (1/10°C)	10.28 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau31 : Interprétation des Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh))		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
4779	1865	10052	1061	14.85	5.13
		10267		49.59	

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate quand on a obtenu exactement les mêmes résultats de simulation du mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé.

➤ **Synthèse :**

-L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier nous offre les mêmes résultats d'utilisation de ce mur sans mortier.

-L'obtention du confort thermique ce fait même sans revêtements grâce au mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé.

4. Comparaison et évaluation des résultats :

Composition de variable	Besoin de chauffage. (KWh/m ²)	Besoin de climatisation. (KWh/m ²)	IPE (KWh/m ² /an)	Taux de réduction % par rapport au mur en brique
1. Matériaux				
1.1	52	1.66	53.66	-42.62%
1.2	87.82	5.7	93.52	0.00%
1.3	102.76	6.60	108.82	+16.36%
Les résultats de comparaison entre les trois compositions nous révèlent que la consommation d'énergie est réduite à 42.62% en utilisant le bloc en terre stabilisé comme composition de la paroi extérieure et nous permet d'avoir une puissance d'énergie réduite avec des températures de confort stables d'une moyenne de 19c° en hiver et de 26c° en été.				
2. Isolant				
2.1	51.51	1.27	52.78	-43.56%
2.2	48.56	1.03	49.59	-46.97%
Nous avons apporté une amélioration la composition de la variable (1.1) qui est l'isolation, après nous avons établi une comparaison entre les composantes des deux variables (2.1. Mur double parois en BTS avec isolant polystyrène expansé) et (2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) le résultat nous révèle que la consommation d'énergie est réduite à 46.97 % en utilisons la composition (2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) comme composition de la paroi extérieure et nous permet d'avoir une puissance d'énergie très faible avec des températures de confort stables d'une moyenne de 19c° en hiver et de 25c° en été				
3. Revêtements				
3.1	48.56	1.03	49.59	-46.97%
La consommation d'énergie en ajoutant un revêtement de type mortier a la composition (2.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) n'a pas changer par rapport à ce mur sans revêtement.				

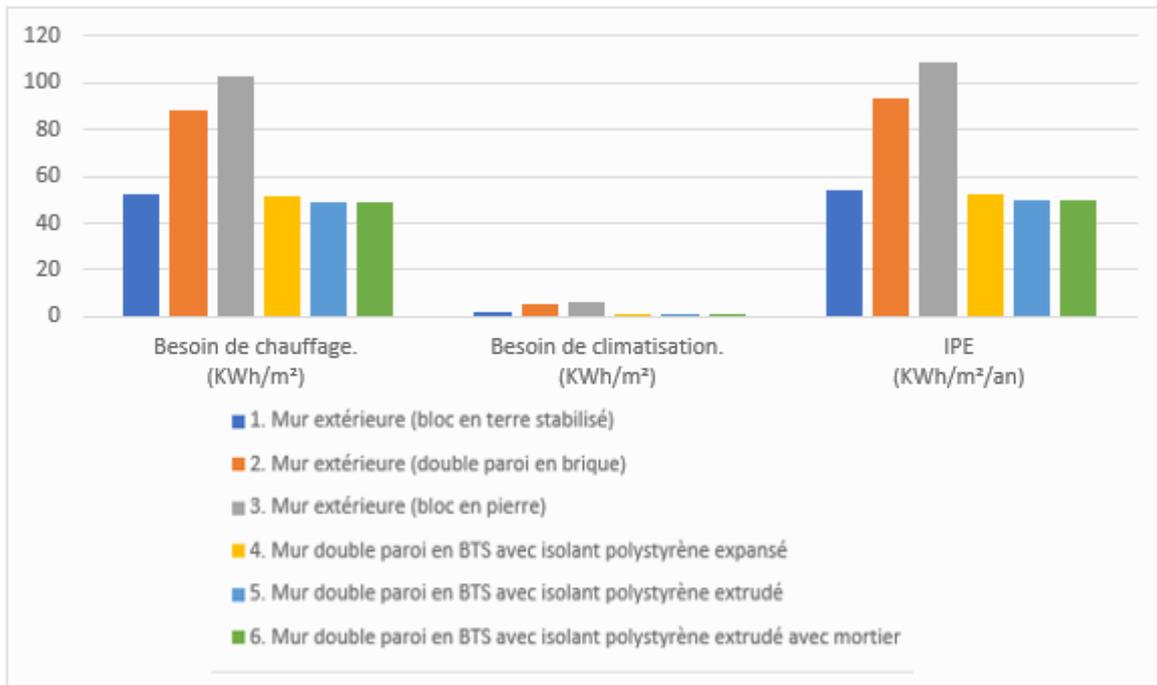


Figure92 : Histogramme de comparaison des Besoin annuelle en chauffage et climatisation de notre cas d'étude a Chréa Blida / source : auteur

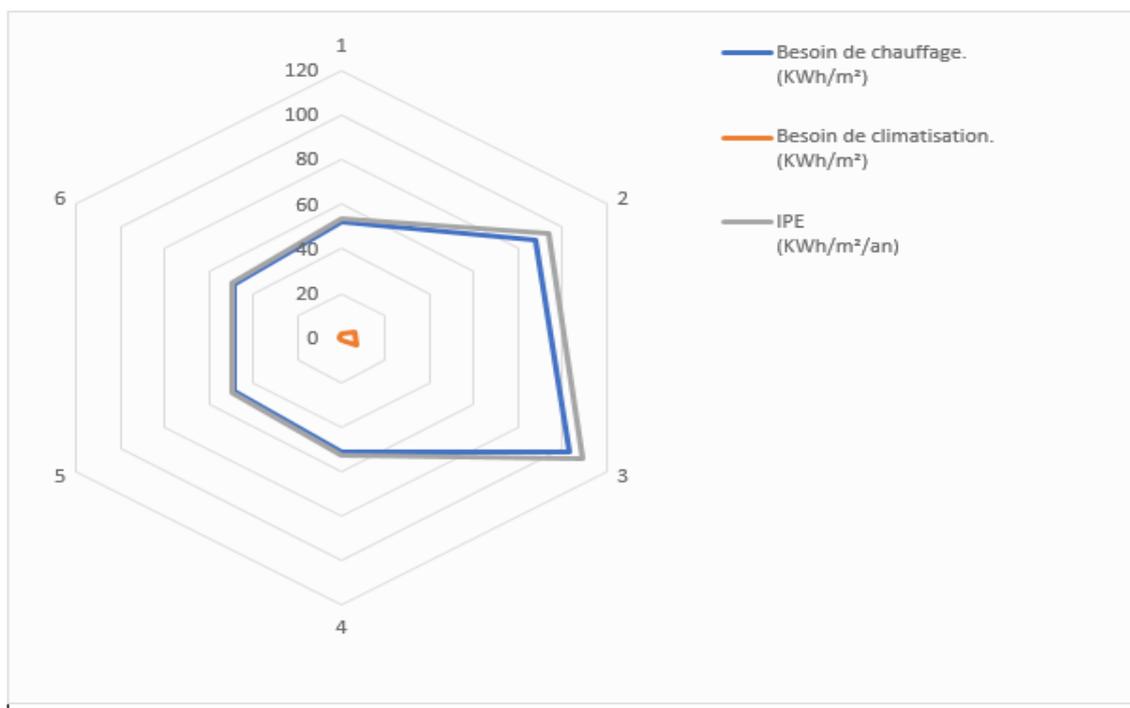


Figure93 : Rader 02 du besoin annuel en chauffage et climatisation de notre cas d'étude a Chréa Blida source : auteur

Synthèse :

- Les résultats de comparaison de sortie de simulation entre les compositions nous révèlent que la consommation d'énergie est réduite à 46.62% en adoptant le bloc en terre stabilisé de 40 cm d'épaisseur et elle peut être aussi réduite jusqu'à 46.97 % en utilisant l'isolation avec le bloc en terre stabilisé.
- Les températures intérieures du confort sont atteintes et stables malgré les changements de températures extérieures, ce qui confirme la bonne inertie thermique du matériau BTS.
- Une baisse de consommation d'énergie en chauffage et un faible besoin d'énergie en chauffage offre une bonne efficacité énergétique à la maison malgré le climat froid de la région.
- L'isolation de l'enveloppe extérieure de la maison participe au confort thermique.
- Le revêtement pour le matériau terre BTS dans cet étage bioclimatique n'améliore pas l'efficacité énergétique de la maison. Alors, seulement l'utilisation du bloc en terre stabilisé peut répondre à notre objectif.
- L'utilisation du BTS dans la commune de Chréa Blida qui est une zone climatique méditerranéenne sub- humide avec hiver froid répond aux exigences du confort thermique avec une excellente efficacité énergétique.

C. Cas de Ghardaïa :

1. Simulation des Matériaux :

1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé) :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 32 : Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-1- GHARDAIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièc	805 kWh	6910 kWh	2233 W	4751 W	19.00 °C	24.25 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	502 kWh	0 kWh	839 W	-0 W	19.00 °C	24.90 °C	31.41 °C
penderie+cellier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	15.96 °C	24.73 °C	32.27 °C
Total	1307 kWh	6910 kWh	3072 W	4751 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	19.19 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	10.70 %	0.00 %	21.07 %		
SDB +SDB+cuisine	4.38 kWh/m3	25.13 (1/10°C)	11.74 %	0.00 %	38.50 %		
penderie+cellier	0.00 kWh/m3	30.06 (1/10°C)	13.83 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 33 : Interprétation des Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
3072	2399	4751	6910	6.31	33.38
		8217		39.69	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

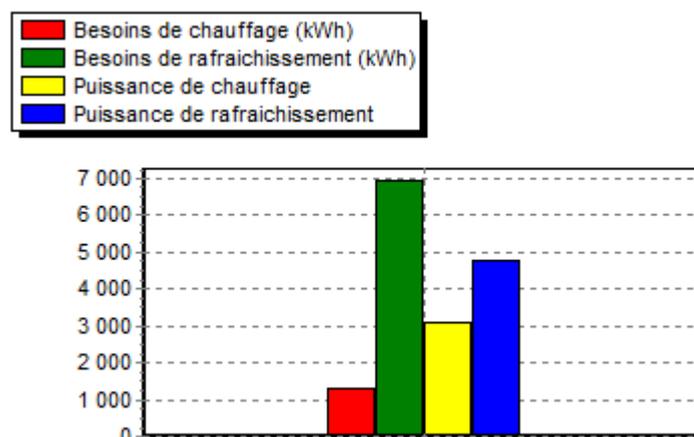


Figure94 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance faible de même pour le besoin en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance élevée ainsi on constate un important besoin en climatisations.

- Visualisation graphique des températures de l'année complète :

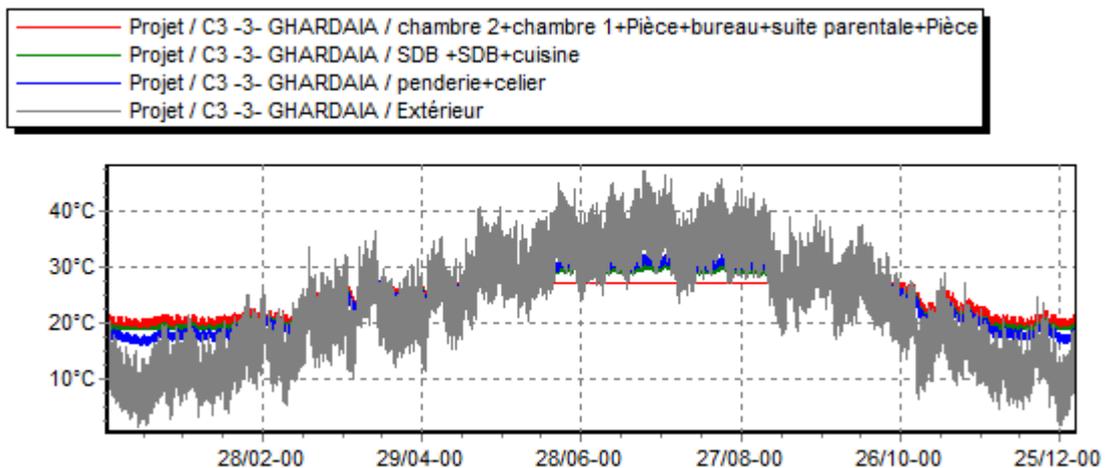


Figure95 : Graphe d'évolution de la température pendant une année en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé)

-Remarque :

Selon le graphe présenté ci-dessus les températures dans les différentes zones de la maison sont stables et arrive à rester dans la zone du confort malgré que les températures de l'extérieurs varient de 8c°l'hiver jusqu'à 45c° en été.

On remarque que les températures dans la zone 1 (zone du confort) varie entre 20c°en hiver et 27c° en été.

- **Synthèse :**

L'utilisation du mur en BTS de 40 cm nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 39.69 kWh /m² : une bonne efficacité énergétique.
- D'obtenir un faible besoin en chauffage avec une faible puissance : économie d'énergie et aussi d'obtenir un besoin important en climatisation qui s'explique par l'étage bioclimatique de la région mais avec une puissance modérée de climatisation nécessaire pour attendre le confort.
- D'attendre des températures de confort dans l'ensemble de la maison avec des moyennes stables par rapport aux températures d'extérieures : le confort thermique est atteint.

1.2. Mur extérieur (double paroi en brique) :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 34 : Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-2- GHARDAJA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Piè	1823 kWh	12539 kWh	4276 W	7712 W	19.00 °C	24.18 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	1041 kWh	0 kWh	1513 W	-0 W	19.00 °C	25.37 °C	33.78 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	14.18 °C	25.27 °C	35.26 °C
Total	2864 kWh	12539 kWh	5789 W	7712 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	35.72 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	9.79 %	0.00 %	28.68 %		
SDB +SDB+cuisine	9.09 kWh/m3	39.33 (1/10°C)	12.86 %	0.00 %	47.97 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	48.00 (1/10°C)	18.80 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 35 : Interprétation des Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
5789	7712	2864	12539	13.83	60.57
		15403		74.71	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

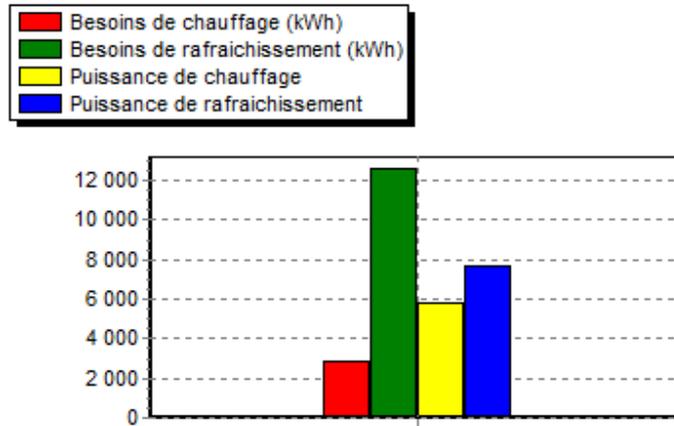


Figure96 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

- la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance faible de même pour les besoins en chauffage.
- la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance élevée ainsi on constate un besoin très élevé en climatisations.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en brique nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 77.71 kWh /m² : une efficacité énergétique non atteinte.
- D'obtenir un grand besoin en climatisation avec une haute puissance : économie d'énergie non atteinte.
- D'attendre le confort thermique avec une grande consommation d'énergie surtout dans la période estivale.

1.3. Mur extérieur (bloc en pierre) :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 36 : Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-3- GHARDAIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièce	2003 kWh	14844 kWh	3530 W	7807 W	19.00 °C	24.14 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	1292 kWh	0 kWh	1391 W	-0 W	19.00 °C	25.54 °C	33.81 °C
penderie+cellier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	14.83 °C	25.44 °C	35.12 °C
Total	3295 kWh	14844 kWh	4921 W	7807 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surcha	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	41.91 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	5.82 %	0.00 %	27.11 %		
SDB +SDB+cuisine	11.28 kWh/m3	39.30 (1/10°C)	7.37 %	0.00 %	51.36 %		
penderie+cellier	0.00 kWh/m3	43.65 (1/10°C)	8.65 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 37 : Interprétation des Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
4921	7807	3295	14844	15.91	71.71
		18139		87.62	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

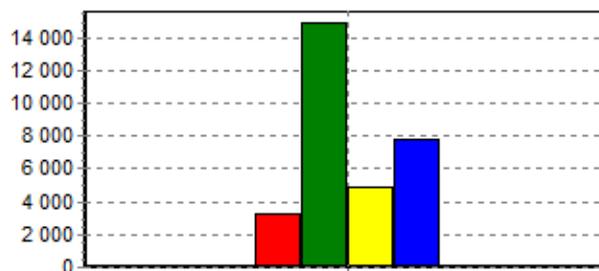
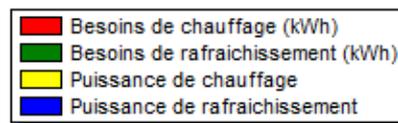


Figure97 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)

Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance très élevée de même pour les besoins en climatisation.

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance élevée ainsi on constate un besoin modéré en chauffage.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en en bloc en pierre nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 87.62 kWh /m² : une efficacité énergétique non atteinte.
- D'obtenir un grand besoin en climatisation avec une haute puissance : économie d'énergie non atteinte.
- D'attendre le confort thermique avec une grande consommation d'énergie surtout dans la période estivale.

2. Simulation Isolant :

1.1. Mur extérieur (bloc en terre stabilisé) : voir tableau n : 08

2.1 Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE :

Tableau 38: Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-4- GHARDAIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Piè	681 kWh	6830 kWh	2035 W	4553 W	19.00 °C	24.23 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	510 kWh	0 kWh	819 W	-0 W	19.00 °C	24.90 °C	31.09 °C
penderie+cellier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	16.26 °C	24.73 °C	31.89 °C
Total	1191 kWh	6830 kWh	2854 W	4553 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surchar	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure	18.68 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	7.84 %	0.00 %	18.13 %		
SDB +SDB+cuisine	4.45 kWh/m3	24.74 (1/10°C)	8.56 %	0.00 %	39.87 %		
penderie+cellier	0.00 kWh/m3	26.99 (1/10°C)	9.42 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 39: Interprétation des Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
2854	4553	1191	6830	5.75	32.99
		8021		38.74	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

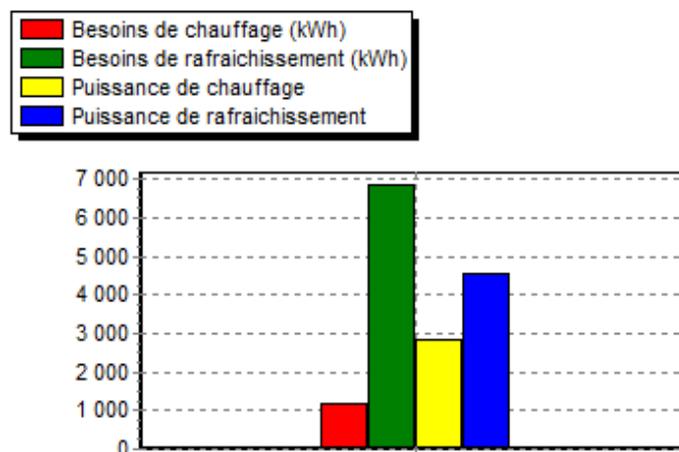


Figure98 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance très faible de même pour le besoin en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance faible ainsi on constate une baisse dans les besoins en climatisations.

➤ **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 38.74 kWh /m² : une efficacité énergétique atteinte.
- D'obtenir un très faible besoin en chauffage avec une faible puissance : économie d'énergie et aussi d'obtenir un besoin important en climatisation qui s'explique par l'étage bioclimatique de la région mais avec une faible puissance de climatisation nécessaire pour attendre le confort.

2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE

Tableau 40 : Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-5- GHARDAIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièr	605 kWh	6346 kWh	1942 W	4359 W	19.00 °C	24.24 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	464 kWh	0 kWh	786 W	-0 W	19.00 °C	24.85 °C	30.90 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	16.37 °C	24.67 °C	31.63 °C
Total	1070 kWh	6346 kWh	2728 W	4359 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surchar	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	17.29 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	8.02 %	0.00 %	17.06 %		
SDB +SDB+cuisine	4.05 kWh/m3	23.30 (1/10°C)	8.69 %	0.00 %	38.42 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	25.35 (1/10°C)	9.45 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 41 : Interprétation des Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
2728	4359	1070	6346	5.16	30.65
		7416		35.82	

- Comparaison des besoins par rapport aux puissances nécessaires : besoins en chauffage +besoin de climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation :

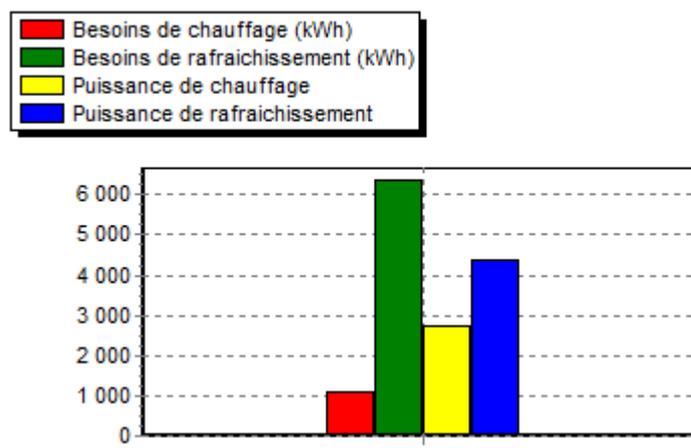


Figure99 : Histogramme des résultats des besoins en chauffage +en besoins en climatisation, puissance de chauffage +puissance de climatisation en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate que :

-la puissance de chauffage pour atteindre le confort est une puissance très faible et réduite de même pour le besoin en chauffage.

-la puissance de climatisation pour atteindre le confort est une puissance très faible ainsi on constate une baisse considérable dans les besoins en climatisations.

- Visualisation graphique des températures de l'année complète :

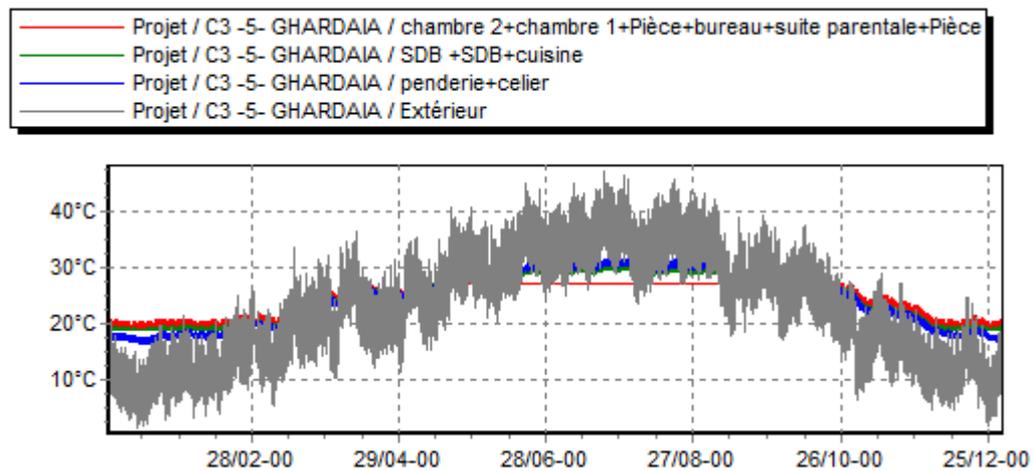


Figure100 : Graphe d'évolution de la température pendant une année en utilisant un mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé

-Remarque :

Selon le graphe présenté ci-dessus les températures dans les différentes zones de la maison sont stables et arrive à rester dans la zone du confort malgré que les températures de l'extérieurs varient de 8c°l'hiver jusqu'à 45c° en été.

On remarque que les températures dans la zone 1 (zone du confort) varie entre 19c°en hiver et 27c° en été

Et aussi une certaine stabilisée est remarqué dans ses températures et spécialement dans la période estivale ou la chaleur atteindra les 48 c°.

- **Synthèse :**

L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé nous a permis :

- D'attendre un indice de performance énergétique annuel de 35.82 kWh /m² : une très bonne efficacité énergétique.
- D'obtenir un très faible besoin vraiment réduit en chauffage avec une très faible puissance : économie d'énergie et aussi d'obtenir un besoin légèrement élevé en climatisation qui s'explique par l'étage bioclimatique de la région mais avec une très faible puissance de climatisation nécessaire pour attendre le confort
- D'attendre des températures de confort dans l'ensemble de la maison avec des moyennes stables par rapport aux températures d'extérieures : le confort thermique est atteint.

3. Simulation Revêtements :

1.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé : voir tableau n : 08

3.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier :

Voici -ci-dessus les résultats obtenus après le lancement de la simulation avec le logiciel Pléiade+COMFIE

Tableau 42 : Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier)

Résumer							
Projet sélectionné : <input type="text" value="Projet / C3-6- GHARDAIA"/>							
Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
chambre 2+chambre 1+Pièce	604 kWh	6337 kWh	1938 W	4355 W	19.00 °C	24.24 °C	27.00 °C
SDB +SDB+cuisine	463 kWh	0 kWh	785 W	-0 W	19.00 °C	24.85 °C	30.90 °C
penderie+celier	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	16.38 °C	24.67 °C	31.62 °C
Total	1067 kWh	6337 kWh	2723 W	4355 W			
Zones	Besoins Chaud+F	Moyenne Surchar	Amplification de T	Taux d'inconfort	Part de besoin ne		
chambre 2+chambre 1+Pièce+bure:	17.26 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	8.03 %	0.00 %	17.04 %		
SDB +SDB+cuisine	4.04 kWh/m3	23.27 (1/10°C)	8.69 %	0.00 %	38.38 %		
penderie+celier	0.00 kWh/m3	25.31 (1/10°C)	9.45 %	0.00 %	0.00 %		

Interprétation des résultats :

- D'après les résultats obtenus pour une surface de 207 m² les besoins annuels et saisonniers de chauffage et de climatisation ainsi que les puissances nécessaires pour les assurés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 43 : Interprétation des Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier)

Puissance pour les besoins annuels (W)		Les besoins annuels de la maison pour les zones étudiées(KWh)		IPE annuel (KWh/m ²)	
Puissance de chauffage (W)	Puissance de climatisation (W)	Besoins en chauffage de la maison en hiver (KWh)	Besoins en climatisation de la maison en été(KWh)	Besoins en chauffage de la maison en hiver(KWh/m ²)	Besoins en climatisation de la maison en été (KWh/m ²)
2723	4355	1070	6346	5.15	30.61
		7404		35.76	

-Remarque :

Selon les résultats obtenus on constate quand on a obtenu exactement les mêmes résultats de simulation du mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé.

➤ **Synthèse :**

-L'utilisation du mur en double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier nous offre les mêmes résultats d'utilisation de ce mur sans mortier.

-L'obtention du confort thermique ce fait même sans revêtements grâce au mur extérieur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé.

4. Comparaison et évaluation des résultats :

Composition de variable	Besoin de chauffage. (KWh/m ²)	Besoin de climatisation. (KWh/m ²)	IPE (KWh/m ² /an)	Taux de réduction % par rapport au mur en brique
1. Matériaux				
1.1	6.31	33.38	39.69	-46.87
1.2	13.83	60.57	74.71	0.00%
1.3	15.91	71.71	87.62	+17.28%
Les résultats de comparaison entre les trois compositions nous révèlent que la consommation d'énergie est réduite à 46.87% en utilisant le bloc en terre stabilisé comme composition de la paroi extérieure et nous permet d'avoir une puissance d'énergie réduite avec des températures de confort stables d'une moyenne de 20c° en hiver et de 27c° en été.				
2. Isolant				
2.1	5.75	32.99	38.74	-48.14%
2.2	5.16	30.65	35.82	-52.05%
Nous avons apporté une amélioration la composition de la variable (1.1) qui est l'isolation, après nous avons établi une comparaison entre les composantes des deux variables (2.1. Mur double parois en BTS avec isolant polystyrène expansé) et (2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) le résultat nous révèle que la consommation d'énergie est réduite à 52.05 % en utilisons la composition (2.2. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) comme composition de la paroi extérieure et nous permet d'avoir une puissance d'énergie très faible avec des températures de confort stables d'une moyenne de 19c° en hiver et de 25c° en été.				
3. Revêtements				
3.1	5.15	30.61	35.76	-52.13%
La consommation d'énergie en ajoutant un revêtement de type mortier a la composition (2.1. Mur double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé) n'a pas changer par rapport à ce mur sans revêtement.				

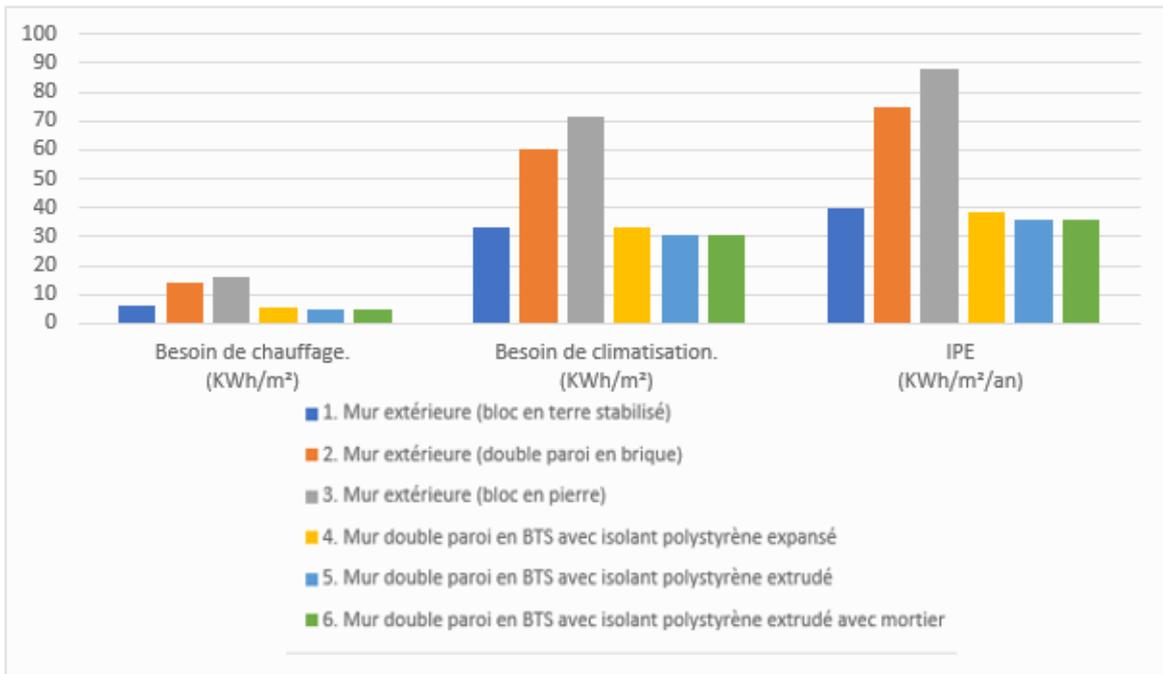


Figure101 : Histogramme de comparaison des besoins annuelle en chauffage et climatisation de notre cas d'étude à la ville de Ghardaïa / source : auteur

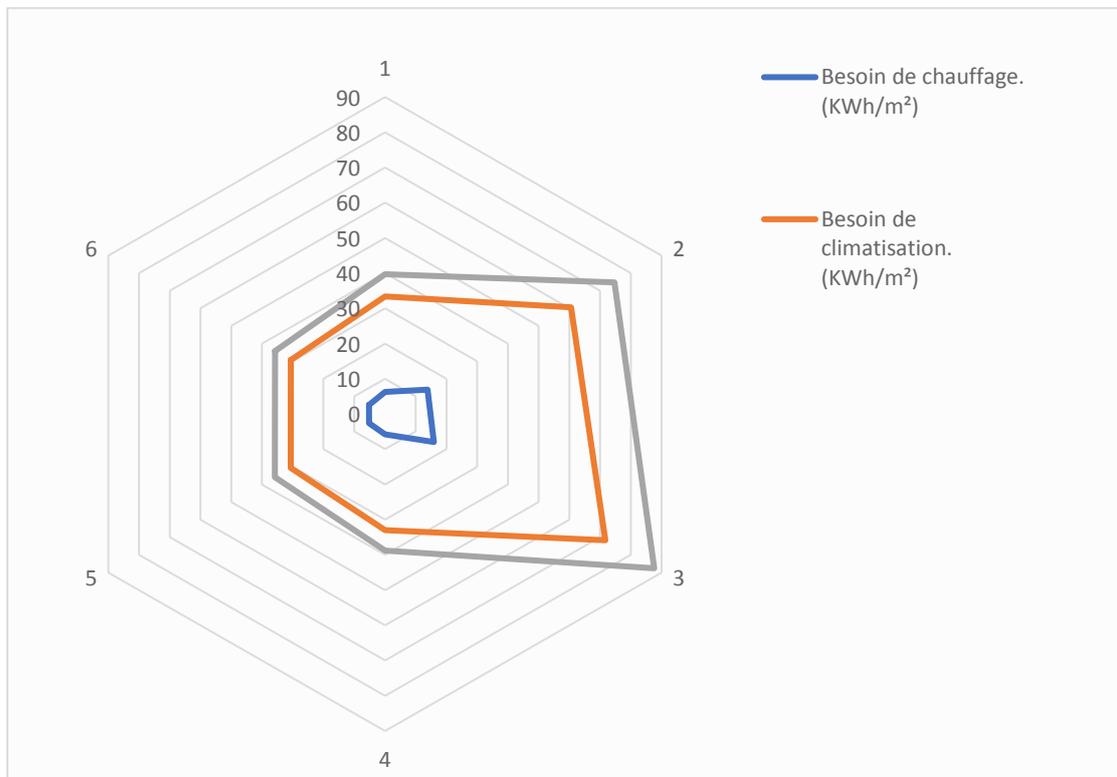


Figure102 : Radar 03 du besoin annuelle en chauffage et climatisation de notre cas d'étude à la ville de Ghardaïa / source : auteur

Synthèse :

- Les résultats de comparaison de sortie de simulation entre les compositions nous révèlent que la consommation d'énergie est réduite à 46.87% en adoptant le bloc en terre stabilisé de 40 cm d'épaisseur et elle peut être aussi réduite jusqu'à 52.13 % en utilisant l'isolation avec le bloc en terre stabilisé
- Les températures intérieures du confort sont atteintes et stables malgré les changements de températures extérieures, ce qui confirme la bonne inertie thermique du matériau BTS.
- Une baisse de consommation d'énergie en climatisation et un faible besoin d'énergie en climatisation offre une bonne efficacité énergétique à la maison malgré le climat chaud de la région.
- L'isolation de l'enveloppe extérieure de la maison participe au confort thermique.
- Le revêtement pour le matériau terre BTS dans cet étage bioclimatique n'améliore pas l'efficacité énergétique de la maison. Alors, seulement l'utilisation du bloc en terre stabilisé peut répondre à notre objectif.
- L'utilisation du BTS dans la commune de Ghardaïa qui est une zone climatique saharienne répond aux exigences du confort thermique avec une excellente efficacité énergétique.

2. Comparaison des résultats des trois villes :

L'ensemble des résultats relatifs aux calculs des IPE (Indices de Performance Energétique) et les taux de la consommation d'énergies concernant la variable du mur en BTS et celle du mur en BTS avec isolant polystyrène extrudé sous les différents climats des villes présentés dans cette étude sont résumés dans le tableau suivant, ces derniers présentent des comparaisons entre les résultats du chauffage, de climatisation et des besoins annuels sont interprétées sous forme d'histogrammes.

Ville/ Étage bioclimatique	Composition de variable	Besoin de chauffage. (KWh/m ²)	Besoin de climatisation. (KWh/m ²)	IPE (KWh/m ² /an)
1. Mur en BTS/BTS avec isolant				
El Mohammadia (sub-humide a hiver doux et tempéré)	1.1	16.7	5.89	22.6
	2.2	14.87	5.13	20.01
Chrèa (sub-humide a hiver froid)	1.1	52	1.66	53.66
	2.2	48.56	1.03	49.59
Ghardaïa (sahariena hiver doux et tempéré)	1.1	6.31	33.38	39.69
	2.2	5.16	30.65	35.82
<p>*On constate que l'association de l'isolant polystyrène extrudé avec la composition du mur en BTS nous offre de meilleurs résultats sur l'ensemble des climats.</p> <p>*Les résultats de comparaison des besoins en chauffage entre les trois climats nous révèlent que le besoin d'énergie le plus élevé pour chauffer est celui de la ville de Chrèa.</p> <p>*Les résultats de comparaison des besoins en climatisation entre les trois climats nous révèlent que le besoin d'énergie le plus élevé pour rafraîchir est celui de la ville de Ghardaïa.</p> <p>*Les résultats du besoin annuels nous montre que ses des taux réduits de besoin en chauffage et en climatisation sur l'ensemble des villes mais celui d'El Mohammadia enregistre la moyenne la plus faible.</p>				
2. Mur en BTS/Mur en brique				
El Mohammadia (sub-humide a hiver doux et tempéré)	1.1	16.7	5.89	22.6
	1.2	30.46	11.74	42.20
Chrèa (sub-humide a hiver froid)	1.1	52	1.66	53.66
	1.2	87.82	5.7	93.52
Ghardaïa (sahariena hiver doux et tempéré)	1.1	6.31	33.38	39.69
	1.2	13.83	60.57	74.71
<p>*Nous avons calculé le taux de réduction apporté dans chaque ville par l'utilisation du mur BTS : El Mohammedia de 46.44%, Chrèa de 42.62% et Ghardaïa de 46.87%.</p> <p>*Ce qui apporte une amélioration et une réduction de 45% au niveau national par rapport à</p>				

l'utilisation de la brique creuse qui est le matériau le plus employé dans la mise en œuvre en Algérie.

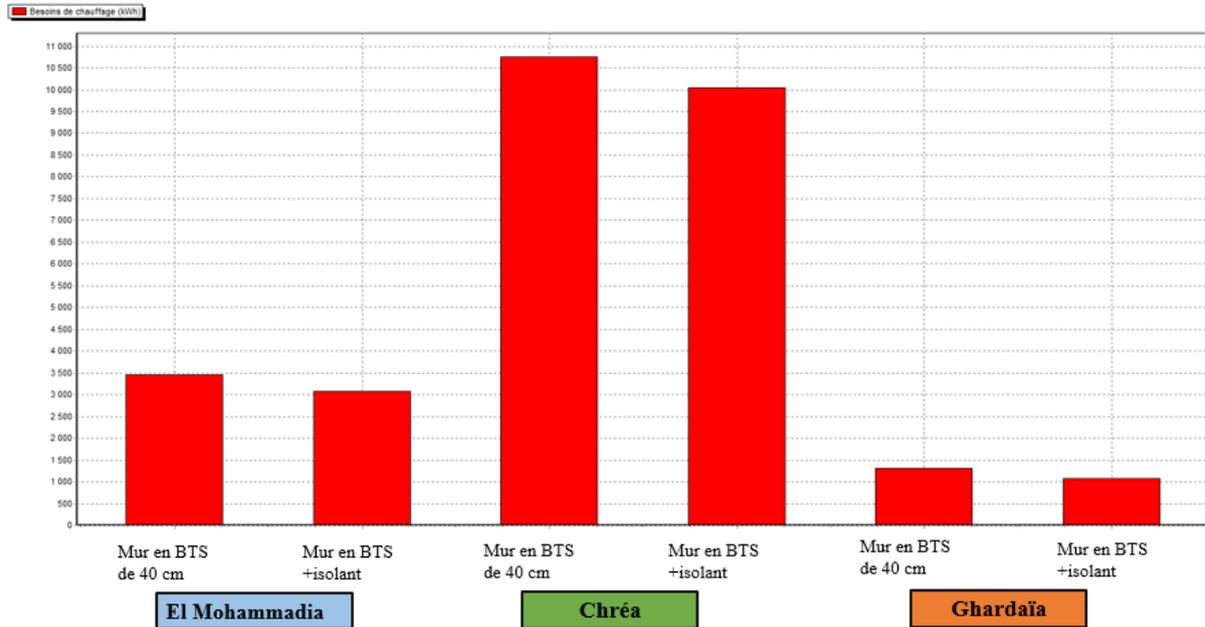


Figure103: Histogramme de comparaison des besoins en chauffage des villes d'El Mohammadia, de Chréa et de Ghardaïa / source : auteur depuis Pléiades

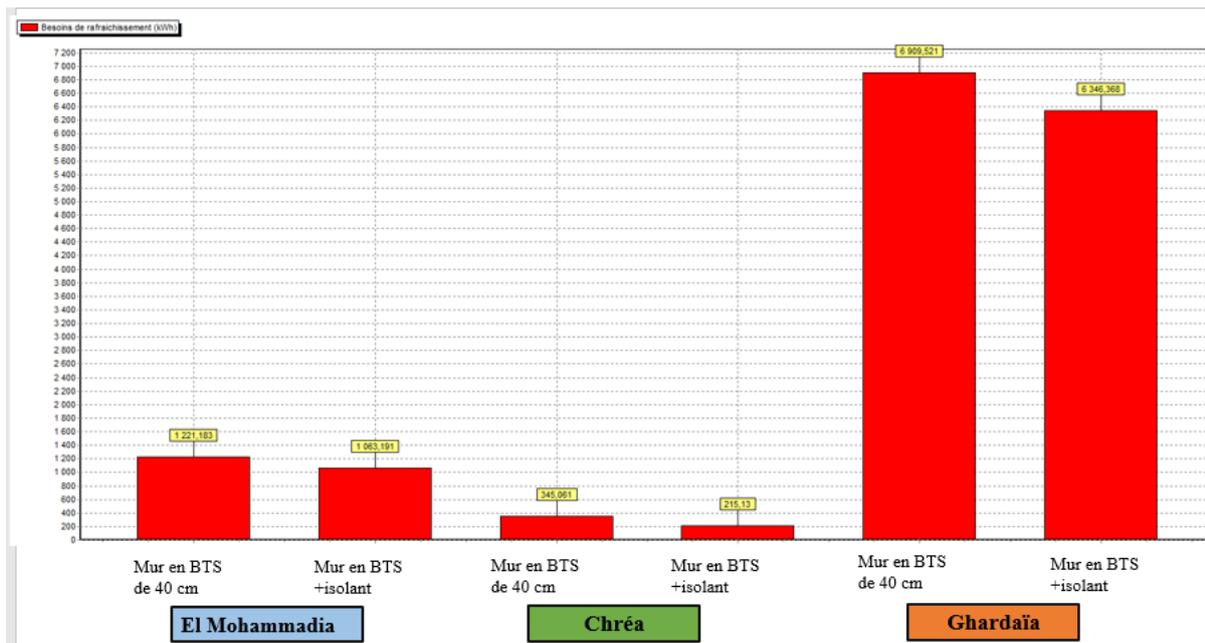


Figure104 : Histogramme de comparaison des besoins en climatisation des villes d'El Mohammadia, de Chréa et de Ghardaïa / source : auteur depuis Pléiades

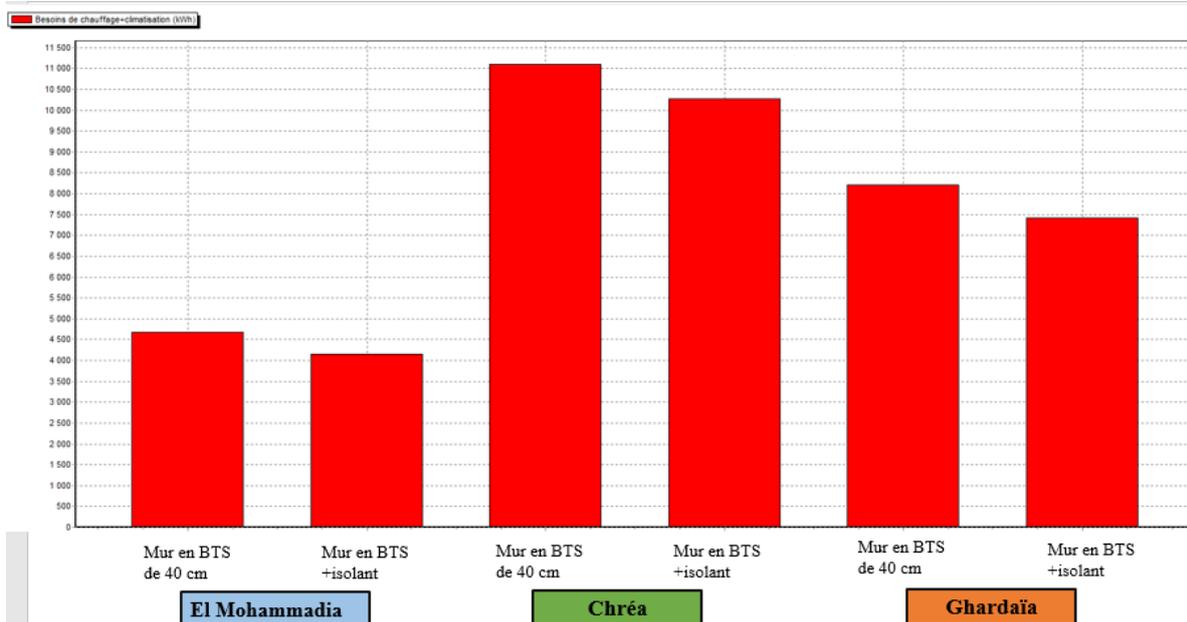


Figure105 : Histogramme de comparaison des besoins annuels en chauffage et en climatisation des villes d'El Mohammadia, de Chr ea et de Ghardaïa / source : auteur depuis Pléiades

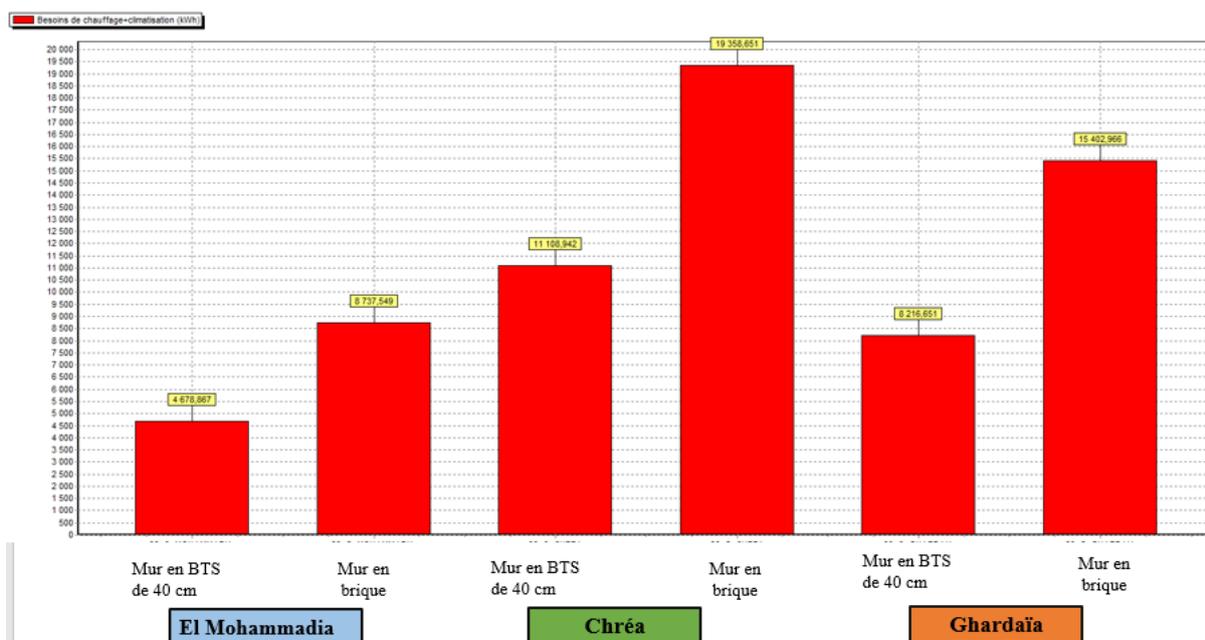


Figure106 : Histogramme de comparaison des besoins annuels des villes d'El Mohammadia, de Chr ea et de Ghardaïa avec l'utilisation du mur en BTS et l'utilisation de mur en brique creuse / source : auteur depuis Pléiades

Synthèse :

- Les résultats de comparaison de sortie de simulation de l'utilisation du mur en BTS dans l'enveloppe extérieure de la maison étudiée sous les différents étages bioclimatiques des villes proposées d'Algérie nous révèlent que la consommation d'énergie est :
- Réduite à 45% en adoptant le bloc en terre stabilisé de 40 cm d'épaisseur sur le niveau national au lieu de la brique creuse
- Relative au climat, le besoin en chauffage augmente en période de froid et le besoin en climatisation augmente en période de chaleur mais toujours avec des moyennes modérées en assurant des températures de confort optimales
- Il est vraiment intéressant d'intervenir au niveau national sous les différents climats riches de notre pays mais le cas le plus adéquat pour l'utilisation du mur en BTS est le climat sub-humide avec hiver doux et tempéré de la zone d'El Mohammadia grâce au résultat le moins faible en besoin annuel.

Conclusion :

La consommation d'énergie du projet est réduite jusqu'à 50% en utilisant les matériaux bloc en terre stabilisé comme matériau qui compose les parois extérieures de notre projet architecturale. Cette réduction est remarquable dans toutes les stations que l'on a étudiées quel que soit l'étage climatique (subhumide avec hiver tempéré « el Mohammadia Alger », sub humide avec un hiver froid « Chréa Blida » ou bien saharien « Ghardaïa ») cela nous révèle que **LE BLOC EN TERRE STABILISÉ** peut répondre aux exigences du confort thermique sous les différents types de climats de l'Algérie avec un résultat relatif au climat du site d'intervention .

Le IPE (indice de performance énergétique) doit être moins ou égale à 50 kWh/m²/an, dans notre cas, il varie entre **19.98kWh/m²/an** et **49.59 kWh/m²/an** selon les différents étages bioclimatiques étudiés. D'autres consommations journalières peuvent s'ajouter mais ne devraient pas franchir le cap de 50 kWh/m²/an, de ce fait, on déduira que notre objectif principal a été atteint et nous pouvons donc certifier notre maison à basse consommation énergétique.

La classe énergétique de notre maison étudiée :

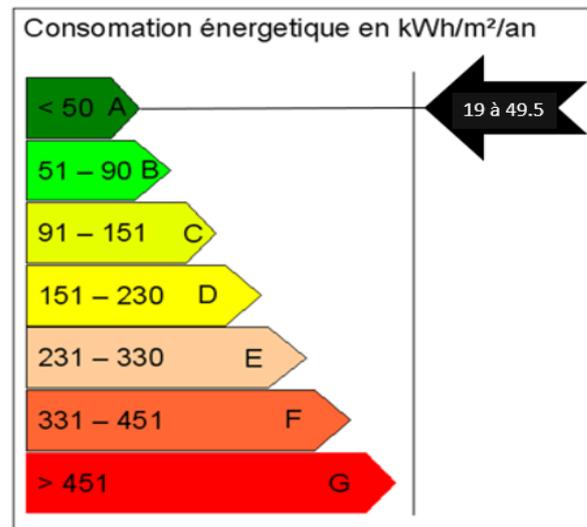


Figure107 : la classe énergétique de notre bâtiment / source : label DPE

Schématiser par l'auteur

L'utilisation des matériaux locaux, BTS (Bloc en Terre Stabilisé) dans cette maison est un système intéressant par sa consommation énergétique, ses propriétés thermo-physique offrant une excellente inertie thermique et une bonne isolation thermique, ainsi que par la disponibilité locale de la matière première,

Par conséquent une baisse de consommation d'énergie grâce à un très faible besoin en énergies (chauffage et climatisation) ce qui démontre que le confort est atteint tout en offrant un respect à l'environnement,

Pour ce but les principes de la conception passive de l'architecture bioclimatique sont intégrés avec succès faisant que de l'utilisation de l'architecture en terre en employant le matériau terre BTS une réponse au confort thermique.

Les résultats expérimentaux présentés par cette simulation permettent de comprendre le comportement thermique de l'enveloppe de la maison étudiée. Ces résultats montrent aussi que les températures intérieures et extérieures sont très faiblement corrélées, par contre celles d'intérieure sont relativement stables, comprise la plupart du temps entre 19 et 27 °C malgré le changement des températures d'extérieur.

Ceci s'explique par l'effet de l'isolation renforcée et de l'inertie thermique importante des parois en BTS. Ces résultats prouvent que cette maison répond aux exigences du confort thermique et de l'efficacité énergétique.

Liste des abréviations :

- BTS : Blocs en Terre Stabilisés.
- BTC : bloc de terre comprimée.
- CRATerre : Centre de recherche et d'application en terre.
- ONU : Organisation des Nation Unies .
- UBC : Uniform Building Code.
- PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement.
- RILEM : La Réunion International des Laboratoires d'Essais et de recherche sur les Matériaux et les constructions.
- CIB : le Conseil International du Bâtiment pour la Recherche l'Etude et la documentation .
- CNERIB : Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment.
- SCTB : Scientifique Centre et Technique du Bâtiment .
- La norme ISO : L'Organisation internationale de normalisation.
- DTR : Le Document Technique Réglementaire.
- STD : simulation thermique dynamique.
- CAO : La conception assistée par ordinateur
- BTP :Bâtiments et travaux publics .

Liste des tableaux :

Tableau 01: Les opérations de construction en terre en Algérie.....	05
Tableau 02 : Mesures préventives pour la maîtrise des pathologies des constructions en terre.....	07
Tableau 03: Dimensions – fabrication destination des B.T.S.....	14
Tableau 04: Résultats expérimentaux de la conductivité thermique du matériau utilisé.....	17
Tableau 05: Résultats de mesure de la chaleur spécifique des éprouvettes.....	18
Tableau 06: Caractéristiques thermo-physiques du BTS.....	19
Tableau 07 : Caractéristiques thermiques des différentes parois de la maison.....	44
Tableau 08 : Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé).....	74
Tableau 09 : Interprétation des Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé).....	75
Tableau 10: Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique).....	76
Tableau 11 : Interprétation des Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique).....	77
Tableau 12 : Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre)....	78
Tableau 13 : Interprétation des Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre).....	78
Tableau 14: Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé).....	80
Tableau 15 : Interprétation des Résultats de la simulation n°4 en utilisant Un mur Extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé).....	80
Tableau 16 : Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé)	81
Tableau 17 : Interprétation des Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé).....	82
Tableau 18: Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier).....	84
Tableau 19: Interprétation des Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier).....	84

Tableau 20 : Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé).....	88
Tableau 21 : Interprétation des Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé).....	89
Tableau 22 : Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique).....	91
Tableau 23 : Interprétation des Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique).....	91
Tableau 24 : Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre).....	92
Tableau 25 : Interprétation des Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre).....	93
Tableau 26 : Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé).....	94
Tableau 27 : Interprétation des Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé).....	95
Tableau 28 : Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé).....	96
Tableau 29 : Interprétation des Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé).....	97
Tableau 30 : Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier).....	99
Tableau 31 : Interprétation des Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier).....	99
Tableau 32 : Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé).....	102
Tableau 33 : Interprétation des Résultats de la simulation n°1 en utilisant un mur extérieur (bloc en terre stabilisé).....	103
Tableau 34 : Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique).....	105

Tableau 35 : Interprétation des Résultats de la simulation n°2 en utilisant un mur extérieur (double paroi en brique).....	105
Tableau 36 : Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre).....	106
Tableau 37 : Interprétation des Résultats de la simulation n°3 en utilisant un mur extérieur (bloc en pierre).....	107
Tableau 38 : Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé).....	108
Tableau 39 : Interprétation des Résultats de la simulation n°4 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène expansé).....	109
Tableau 40 : Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé).....	110
Tableau 41 : Interprétation des Résultats de la simulation n°5 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé).....	111
Tableau 42 : Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier).....	113
Tableau 43 : Interprétation des Résultats de la simulation n°6 en utilisant un mur extérieur (double paroi en BTS avec isolant polystyrène extrudé avec mortier).....	113

Sommaire

Introduction :

Introduction générale	
Problématique de recherche	
Hypothèses	
Objectifs	
Méthodologie de recherche	
Structure du mémoire	

Chapitre 01 : Etat de l'art

Introduction.....	01
1.L'Architecture en terre.....	01
1.1. Historique et évaluation de l'architecture en terre.....	01
1.2. Situation de l'architecture en terre à travers le monde.....	03
1.2.1. Architecture en terre en Algérie.....	05
1.3. Les techniques de construction en terre.....	06
1.4. Les avantages et les inconvénients de l'architecture en terre.....	06
1.4.1. Les avantages du matériau terre.....	06
1.4.2. Les inconvénients du matériau terre.....	07
1.4.3. Impact sur le développement socio-économique du pays.....	08
2. Présentation du matériau de terre BTS.....	09
2.1. Présentation.....	09
2.2. Choix des blocs de terre.....	09
2.3. Avantage du BTS.....	09
2.4. Analyse des terres utilisées pour la fabrication du BTS.....	10
2.4.1. Composition de la terre.....	10
2.4.2. Analyse des terres.....	11
2.5. Production de blocs en terre stabilisés.....	11
2.5.1. Mélange de composants.....	12
A. Addition de l'eau de gâchage – malaxage.....	12
B. Caractéristique spécifique des presses.....	12
C. Procédé de fabrication des blocs de terre.....	13
D. La stabilisation.....	15

2.6. Caractérisation thermo-physique du bloc de terre stabilisé.....	16
2.6.1. Description du dispositif de mesure.....	16
2.6.2. Résultat de mesure.....	17
A. Des conductivités thermiques.....	17
B .De la mesure de la chaleur spécifique.....	17
2.6.3. Interprétation des résultats.....	18
..	
3. Le confort thermique.....	21
3.1. L'architecture et le confort thermique.....	21
3.2. Le confort thermique et l'analyse bioclimatique.....	22
3.2.1. Le confort thermique.....	22
3.2.2. Les outils d'évaluation du confort thermique.....	22
3.3. Notions de confort thermique.....	24
3.4.Les facteurs influant le confort thermique.....	25
3.4.1. La démarche bioclimatique.....	25
3.4.2. La construction passive.....	26
3.5. L'isolation thermique.....	27
3.5.1. Thermo-physiques des matériaux isolants.....	28
3.5.2. Modes de transfert thermique.....	29
3.6. L'inertie thermique.....	30
4. Efficacité énergétique.....	32
4.1. La politique énergétique en Algérie.....	32
4.2. Etat des consommations énergétiques en Algérie	33
4.3. Optimisation énergétique à l'échelle de Bâtiment.....	34
4.4. La consommation d'énergie dans les logements.....	34
Conclusion.....	37

Chapitre 02 : Partie Expérimentale : Cas d'étude et Méthodologie

Introduction.....	38
1. Présentation de la maison.....	39
2. Modélisation de la maison.....	39

2.1. Présentation du logiciel de modélisation Revit.....	39
2.2. La contribution de la conception bioclimatique au sein de la maison étudiée.....	40
2.2.1. Orientation.....	41
2.2.2. Conception.....	41
2.3. Isolation thermique de l'enveloppe.....	43
2.3.1 Composition des parois.....	43
A. Mur extérieur.....	43
B. Plancher bas sur terre-plein.....	43
C. Plancher haut.....	44
D. Résistance thermique des parois.....	44
2.4. Occultation nocturne.....	45
2.5. Masse thermique.....	45
2.6. Ventilation naturelle.....	45
2.7. Protections contre le rayonnement solaire.....	46
3. Choix du site et analyse climatique.....	47
3.1. Le climat en Algérie.....	47
3.2. Situation des sites.....	48
3.2.1. El Mohammadia.....	48
3.2.2. Chréa.....	49
3.2.3. Ghardaïa.....	49
3.3. Analyse climatique des zones d'études.....	50
3.3.1. Présentation du logiciel Meteonorme.....	50
3.3.2. L'analyse climatique de la zone d'El Mohammadia Alger.....	51
3.3.3. L'analyse climatique de la zone de Chréa Blida.....	52
3.3.4. L'analyse climatique de la zone de Ghardaïa.....	53
3.3.5. Synthèse climatique.....	54
4. Simulation.....	55

4.1. Protocole de simulation.....	55
4.2. Présentation du logiciel de simulation.....	55
4.3. Méthodologie de simulation.....	56
4.3.1. Création d'un fichier météorologique.....	56
A. Sous logiciel Meteonorme version 7.....	56
B. Choix du format du fichier.....	58
4.3.2. Présentation du model étudié.....	58
A. Définition des paramètres constructifs sous Alcyone.....	58
B. Conception du plan sur le logiciel Alcyone.....	59
C. Définition des zones thermique.....	60
4.3.3. Présentation des variables.....	61
A.Zone d'El Mohammadia.....	61
B.Zone de Chréa.....	62
C.Zone de Ghardaïa.....	63
4.3.4. Compositions des éléments constructifs avec Pléiades.....	64
A. Composition.....	64
1. Matériaux.....	64
2. Isolant.....	65
3. Revêtements.....	65
B. Identification de la station météorologique.....	66
4.3.5. Définition des scenarios de fonctionnement.....	67
A. Scenario d'occupation.....	68
B. Scenario de consigne de thermostat.....	68
C. Scenario de ventilation.....	69
D. Scenario de puissance dissipée.....	70
E. Scenario d'occultation.....	71
4.3.6. Intégration des scenarios.....	72
4.3.7. Lancement de la simulation.....	72

Chapitre 03 : Résultat et discussions

Introduction.....	74
1. Résultats de la simulation.....	74
A. Cas d'el Mohammedia Alger.....	74
1. Simulation des Matériaux.....	74
2. Simulation Isolant.....	79
3. Simulation Revêtements.....	85
4. Comparaison et évaluation des résultats.....	86
B. Cas de Chréa Blida :	
1. Simulation des Matériaux.....	88
2. Simulation Isolant.....	94
3. Simulation Revêtements.....	98
C. Cas de Ghardaïa.....	102
1. Simulation des Matériaux.....	102
2. Simulation Isolant.....	108
3. Simulation Revêtements.....	112
4. Comparaison et évaluation des résultats.....	114
2. Comparaison des résultats des trois villes.....	116
Conclusion.....	120

Conclusion générale

Bibliographie

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Annexe

Annexe 01 :

Quelques repères chronologiques de la construction en terre :

- **11000 ans** : premières traces de la construction en terre en Amérique du sud ;
- **10000 ans** : en Syrie construction en terre par empilement de pains de terre Façonnés à la main ;
- **8500 ans** : apparition de la brique de terre en Turquie ;
- **8000 ans** : apparition de l'utilisation de la terre dans l'habitat en Europe occidentale (recouvrement de clayonnage) ;
- **5000 ans** : apparition des premières villes d'architecture de terre crue en Mésopotamie.

Ses premières cités découvertes dans l'ancienne Mésopotamie date d'avant même l'invention de l'écriture. La terre crue étant matériau qui se dégrade plus rapidement que la pierre on a moins de vestiges aussi marquants que les pyramides d'Égypte, ils existent pourtant, mais sont moins connus : (Tchoga Zambil en Iran, Mari en Syrie, Shibam au Yémen).

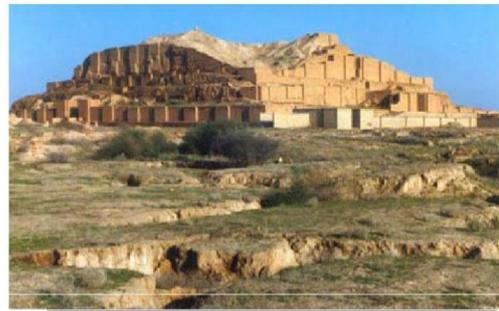


Figure1: Tchoga zambil en Iran,
(source: Encyclopédie interactivewikipédia)



Figure 2: Mari en Syrie,
(source : Encyclopédie interactive wikipédia).



Figure 3: Shibam au Yémen, (source Encyclopédie Interactive wikipédia).

Dans les vallées fertiles de la Mésopotamie, de l'Égypte, de l'Inde et de la Chine, les terres alluviales et la paille des céréales ont permis la mise au point de technologies multiformes et leur diffusion à partir de ces principaux foyers de civilisation pour ensuite se généraliser au grés des migrations et des conquêtes¹.

Dans le continent africain une très grande partie du parc immobilier des zones rurales et même urbaine est en terre utilisée sous une diversité linguistique qui exprime aussi une diversité des techniques de construction ainsi qu'une connaissance très affinée des possibilités qu'offre la terre².

Les premières utilisations de la terre crue en Afrique remontent à 8000 ans, (des cabanes de bois enduites de terre). Les civilisations antiques maîtrisaient l'utilisation de ce matériau on peut citer par exemple la pyramide de Saqqarah, par la suite, son utilisation s'étend sur tout le continent, produisant une diversité et une richesse architecturale exceptionnelles. (L'exemple des mosquées maliennes de Tombouctou XIII^e siècle, et de Djenné, le tombeau des Askia de l'empire Songhaï du XIV au XVI^e siècle ainsi que les palais d'Abomey au Bénin XVII^e siècle).



Figure 4: La grande mosquée de Djenné, (Source : C. Delbecque).

C'est le plus grand édifice au monde construit en adobe et recouvert d'un enduit. Le bâtiment mesure 75m x 75m et 20m de haut. Les murs font de 40 à 60cm d'épaisseur. Des branches de palmiers ont été incluses dans la maçonnerie pour réduire les risques de fissures sur pareil édifice et servent d'échafaudage pour les opérations d'entretien.

D'après les statistiques de l'UNHCR (United Nation High Commission for Refugees), près de 30% de la population mondiale habite actuellement dans des constructions en terre, c'est un matériau stable, écologique et bon marché. (Il a été ainsi constaté que 60% des habitations du Pérou sont bâties en adobe ou en pisé, à Kigali, 38% des logements sont en terre et le recensement de 1971 en Inde attestait que près de 72% du parc immobilier est construit en terre).

Il est également important de remarquer que près de 17% des bâtiments inscrits au patrimoine mondial de l'humanité sont en terre³, c'est-à-dire la longévité qu'offre ce matériau de construction.

Le matériau terre a été extrêmement employé jusqu'au lendemain de la seconde guerre mondiale, le caractère d'urgence des reconstructions qui ont suivi les deux guerres s'adaptait mal à l'aspect saisonnier et à la lenteur de sa construction, la désertification des campagnes.

La généralisation du travail salarié et l'abandon en milieu rural des systèmes d'entraide familiale ont ensuite participé à la disparition de cette architecture.

Au même moment le recours systématique à la production industrielle induit une mutation

¹. Bruno Pignal, Terre crue : Techniques de construction et de restauration, Ed. EYROLLES, 2005, P. 9.

². CRATerre, Traité de construction en terre, édition PARENTHÈSES, 1995, P. 16-17.

³. C. Delbecque, Approche contemporaine de la construction en terre, Histoire de la construction en terre 21 octobre 2011.

des pratiques et des techniques, des matériaux performants et attractifs sont proposés à des prix très concurrentiels. La standardisation des mises en œuvre et le fait que ce matériau soit associé à un contexte de pauvreté (a fui et a oublié) contribue à déconsidérer les savoir-faire anciens qui tombe rapidement dans l'oubli.

Les crises énergétiques qui ont suivi les trente glorieuses ont fait resurgir l'intérêt porté au matériau terre, ainsi que pour ses qualités thermiques et sa bonne compatibilité avec l'environnement.

Les problématiques contemporaines font que l'on soit dans un contexte où la valorisation du patrimoine rural construit en terre s'inscrit dans une dynamique prometteuse⁴. Parallèlement à un ralentissement de la croissance démographique, on assiste à une critique de la production industrielle ainsi qu'à un marché de la construction qui s'oriente vers la réhabilitation de l'existant alors qu'autrefois il était axé sur la construction neuve. Cela fait que l'on est passé d'une production quantitative pure et simple à une préoccupation qualitative visant à purger le parc bâti de l'habitat insalubre.

En Algérie après l'indépendance et face à la situation du logement qui a pris une proportion préoccupante et qui a provoqué une dégradation menaçante du cadre de vie de la population, plusieurs plans de développement du secteur ont été lancés. Cependant leur politique a accordé peu d'intérêt au développement de constructions spécifiques et caractéristiques des différentes localités du pays, et toutes les opérations lancées jusqu'à présent se sont apparentées aux produits de la modernité et l'usage de matériaux importés et donc coûteux.

Plusieurs villes n'ont malheureusement pas été épargnées de tous ces plans d'actions qui ont dégradé la situation du logement, et ont fait apparaître des ensembles d'habitations incohérents, hétérogènes aux tissus développés auparavant par la population, inadéquats au mode de vie de ces dernières qui se sont vu imposées une architecture étrangère.⁵

De ce fait la population a fini par s'imposer ce nouveau cadre bâti au nom du "modernisme" au détriment d'une architecture appropriée à ses besoins et à ses moyens économiques et aux spécificités climatiques de la région.

Cette situation est le résultat de différents facteurs :

- Le manque de culture scientifique et sociale chez les décideurs et les différents acteurs de ce secteur ;
- Leur insensibilité à toute question liée au patrimoine et à l'environnement ;
- leur insouciance à l'égard de la qualité architecturale et celle du cadre de vie du citoyen ;
- La volonté de répondre rapidement à la demande multipliée en logements.
- Ces politiques n'ont fait qu'accentuer la destruction du patrimoine bâti remarquable que recèle ces villes, puisque plusieurs constructions en terre ont été démolies pour être remplacées par des bâtiments dits "modernes".

⁴ .Bruno Pignal, Terre crue : Techniques de construction et de restauration, Ed. EYROLLES, 2005, P. 10.

⁵ .Saliha Benmessaoud, Prospection pour l'introduction de la construction en matériaux locaux dans le secteur du logement à Tamanrasset, Mémoire du diplôme de spécialisation et d'approfondissement- Architecture de Terre ; DSA-Terre 2004-2006

Annexe 02 :

Les techniques de construction en terre :

***Les adobes :**

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue, séchées au soleil.

La terre d'adobe, composée d'argile et de sable, est parfois mélangée à la paille, ou à la cendre selon l'usage.

Technique de constructions en Adobe :



Figure 1: Mouillage et malaxage
(Source : Encyclopédie interactive Wikipédia)



Figure 2: Lissage
(Source : Encyclopédie interactive Wikipédia)

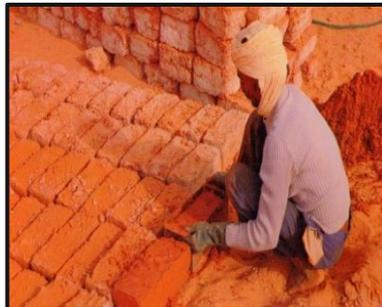


Figure 3: Séchage
(Source : Encyclopédie interactive Wikipédia)

L'adobe est une technique de fabrication d'éléments de maçonnerie appareillée : elle désigne la brique de terre crue moulée et séchée au soleil. C'est un mot à racine arabe (toubia ou toub) transmis au XVI^e siècle en Europe et jusqu'aux Etats-Unis ⁶.

⁶ Terre crue ,techniques de construction et restauration ,Bruno Pignal ,éditions groupe Eyroles ,Paris 2005.

Exemples de constructions en Adobe :

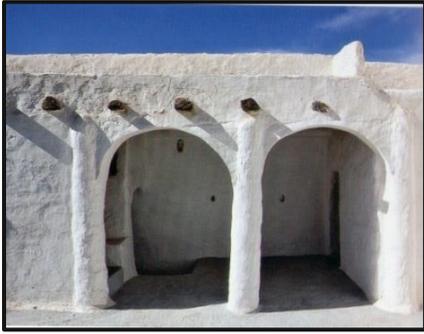


Figure 4: Ksar Beni Izguen, Ghardaïa
(Source : Office de protection et de La vallée du Mزاب)



Figure 5: Ksar Timimoun, Oasis rouge, Adrar
(Source : Office de protection et de La vallée du Mزاب)

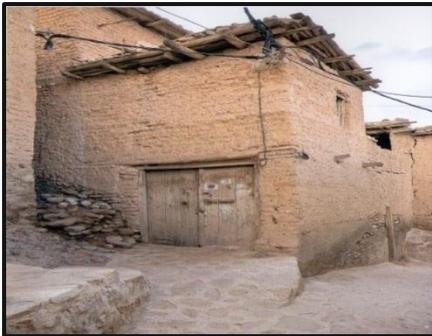


Figure 6: Ksar Menaâ, Batna
(Source : Office de protection et de La vallée du Mزاب)

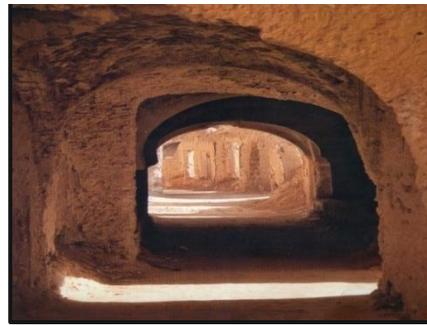


Figure 7: Ksar Timacine, Ouargla
(Source : Office de protection et de La vallée du Mزاب)

*Le torchis :

Le torchis est considéré comme le premier matériau composite de l'histoire; La terre à torchis est une terre assez argileuse, mouillée, et à laquelle sont souvent ajoutées fibres végétales ou animales.

Technique de constructions en torchis:



Figure 8: Le malaxage de la terre
(Source : Encyclopédie interactive Wikipédia)

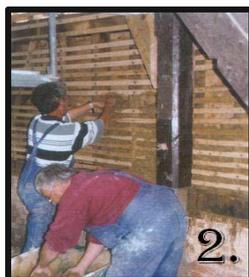


Figure 9: La pose d'une première couche, enroulée à la main autour des fuseaux de bois
(Source : Encyclopédie interactive Wikipédia)

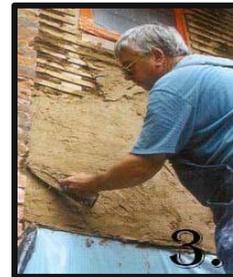


Figure 10: La pose d'une deuxième couche, recouvre l'ensemble du mur
(Source : Encyclopédie interactive Wikipédia)

Contrairement aux autres techniques, le torchis n'est pas une construction porteuse. Des lattis sont fixés sur une structure porteuse en bois, puis garnis d'un mélange de terre et de paille. Elles ne contiennent pas beaucoup de sable, mais se fissurent au séchage ; c'est pourquoi on les mélange à de la paille ⁷.

Exemples de constructions en torchis :



Figure 11: Maison en torchis, a Pas – de- calais (Source : <https://fr.wikipedia.org>)



Figure 12: La ferme du Parcot Dordogne (Source: <https://fr.wikipedia.org>)

* Le bauge :

Cette technique consiste à construire des murs épais et massifs sans coffrage mais par couches successives d'environ 50 cm de hauteur. Le mélange est empilé à l'aide d'une fourche, puis battu avant d'être coupé avec un outil tranchant.

Cette technique consiste à construire des murs épais et massifs sans coffrage mais par couches successives d'environ 50 cm de hauteur. Le mélange est empilé à l'aide d'une fourche, puis battu avant d'être coupé avec un outil tranchant.

Technique de constructions en bauge:



Figure 13: Etapes de construction en bauge (Source: Adobe guide de construction en terre, Wilfredo Carazas édition :CRATerre)

⁷ Bruno Pignal, Terre crue : Techniques de construction et de restauration, édition EYROLLES, 2005, P. 77.

Cette technique offre beaucoup de libertés au constructeur car celui-ci n'est pas limité par l'emploi d'un coffrage, comme pour le pisé par exemple. Avec la bauge, des murs courbes et sinueux ne sont plus un obstacle.

Exemples de constructions en bauge :



Figure 14: Maison construite en bauge a Costa Rica(Source: Adobe guide de construction en terre ,Wilfredo Carazas édition :CRATerre)

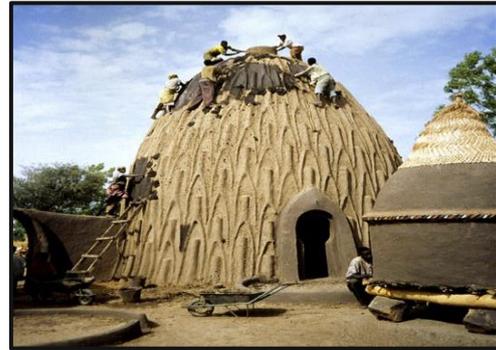


Figure 15: Village construit en bauge a Garoua Cameron (Source: <https://fr.wikipedia.org>)

La terre à piser est généralement prélevée à proximité du chantier. Elle est débarrassée de ses impuretés (matière végétale), légèrement hydratée puis malaxée

Ensuite on déverse de la terre ni trop sèche ni trop humide, dans un coffrage, en couches successives d'égale épaisseur de 15 à 20 cm maximum. (Figure 22)

Ces couches de terre sont compactées, à l'aide d'un pilon (ou passoir) et ramenées à moitié d'épaisseur, de 7 à 10 cm. (figure23)



Figure 16: Technique de coffrage de pisé(Source: <https://fr.wikipedia.org>)



Figure 17: Technique de compactage de pisé(Source: <https://fr.wikipedia.org>)

Exemples de constructions en pisé :



Figure 18: Bâtiment en 6 étages en pisé, construit en 1928 en Allemagne (Source: <https://fr.wikipedia.org>)



Figure 19: Maison en pisé moderne construite au cours des années 1980 en région Rhone-Alpes. (Source: <https://fr.wikipedia.org>)



Figure 20: Bâtiment en pisé, en Autriche (Source: <https://fr.wikipedia.org>)

*Blocs de terre comprimée BTC :

Les blocs de terre comprimée (B.T.C) est une version plus moderne de l'adobe. Les constructions en B.T.C se développent aujourd'hui et constituent la forme la plus répandue de construction en terre crue.

Ces briques présentent l'avantage d'être très résistantes et très souples quant à leur utilisation.



Figure 21: Les étapes de fabrication des Blocs de Terre Comprimée (Source: CNERIB Algérie)



Figure 22: Logements en Blocs en Terre Stabilisée à Beni Messous (Alger)
(Source: CNERIB Algérie)



Figure 23: Edifice public réalisée BTC à Tamanrasset (Source: CNERIB Algérie)



Figure 24: Prototype en BTS réalisé en 2007 au CNERIB (Alger)
(Source: CNERIB Algérie)



Figure 25: prototype en BTC réalisé en 1984 au CNERIB (Source: CNERIB Algérie)

Annexe 03 :

3.La revalorisation de l'architecture de terre, à la lumière des exemples :

Partout dans le monde, les nouvelles techniques de construction, développées avant la deuxième guerre, le recours au calcul des structures et l'application de réglementation en faveur des techniques contemporaines, ont consacré la disparition des techniques locales et traditionnelles dont celles de la terre crue (Coignet, J ET J ,2003).

Les techniques de la construction en terre ayant montré leur fiabilité, pour ses qualités et afin de mieux profiter des avantages de l'architecture de la terre, plusieurs pays ont lancé des programmes de revalorisation de cet art de bâtir.

D'anciennes expériences telles que la réalisation du village de Gournah en Egypte dans les années quarante du siècle passé, réalisée par l'éminent architecte égyptien H.Fathy était une illustration réussie des capacités techniques et formelles de l'architecture de terre (Fathy, 1970)

Dans cette partie, nous allons voir deux expériences de revalorisation relatives à l'architecture de terre, la première est celle du (domaine de la terre) à l'Isle d'Abeau en France, la deuxième est celle du projet pilote Mustapha Ben Brahim à Sidi-Bel-Abbes en Algérie.

3.1. L'opération du (domaine de la terre) à l'Isle d'Abeau en France :

Le projet du (domaine de la terre) est une concrétisation de la deuxième phase de l'exposition internationale du centre Georges Pompidou (des architectes de terre), tenue au début des années 1980 et qui cherchait à montrer la modernité de l'architecture de terre.

Le projet comprend soixante-cinq logements sociaux réalisés au quartier des Fougères dans la ville nouvelle de l'Isle d'Abeau, près de Lyon en France (Dethier, 1986) et présente des typologies variées, avec des techniques constructives aussi diversifiées : le pisé non stabilisé, le bloc de terre stabilisé vibro-compacté en maçonnerie porteuse, et la terre paille non porteuse, en remplissage d'une ossature bois.

L'opération avait pour but, entre autres, de :

. Réaliser un quartier expérimental avec le matériau terre et de la ; prouver sa fiabilité économique et technique.

. Donner naissance à une filière terre organisée et vaincre les préjugés qui constituent l'obstacle psychologique empêchant toute utilisation la terre crue dans le bâtiment.

Ce quartier devait être une démonstration destinée surtout aux pays du tiers monde où subsiste souvent une image défavorable à l'égard de l'architecture de terre, jugée comme primitive et incompatible avec la modernité et le progrès (Dethier, 1986).

Les logements réalisés étaient répartis sur 12 îlots de cinq à dix logements mitoyens avec des surfaces habitables qui vont de 65 à 110m², l'habitation principale était dotée de plusieurs

annexes telles que cava ,buanderie ,serre ,loggia ou balcon et garage , un jardin privatif complétait l'aménagement de chaque parcelle .

Cette opération de construction en terre crue est considérée jusqu'à aujourd'hui comme un réel succès vu l'intérêt qu'elle a suscité chez plusieurs organismes, français et étrangers dont notamment l'organisation des nation unies chargée du logement (habitat)basé à Nairobi (Dethier .1986)

Cependant, les impératifs auxquels tout projet de ce genre reste lié sont la maîtrise des connaissances par l'enseignement et la formation ainsi que l'encadrement juridiques.

Sur le plan psychologique , le projet a orienté , de façon et décisive , le débat national , social et culturel , vers une acceptation du matériau terre crue .



Figure 1 : un des projets du domaine de la terre de l'Isle d'Abeau , quartier des fougères

(la revue durable ,2006)

Cette opération montre le rôle positif que jouent les traditions constructives pour la réussite des projets de revalorisation de l'architecture de terre et affirme la thèse qui dit (qu'il existe de multiples traditions populaires et savantes de la construction en terre, dignes d'un nouvel intérêt en Occident comme dans le Tiers Monde, qu'il faut réhabiliter , revivifier et réactualiser en y associant des connaissances et des technologies nouvelles)(Dethier ,1986)

Dans cette expérience , nous pouvons observer aussi le respect des besoins de la population en espaces ,des logements variés et dotés d'espaces annexes ont permis une meilleure tradition , ils étaient améliorés et adaptés pour répondre aux besoins de la vie moderne.

L'enseignement de ce projet réside aussi dans l'indispensable formation professionnelle des opérations (architectes et entrepreneurs) en amont afin d'optimiser les conditions de réalisation et garantir un meilleur ratio entre la qualité architecturale et l'économie des coûts .

Aussi la formation et la sensibilisation ont permis de dépasser le blocage psychologique chez les différents intervenants ce qui a permis de mener les projets à bout et empêcher que les objections d'ordre technique ne perturbent des travaux , comme le soulignait déjà M.Biau en 1982 : (ce qui conditionne l'avenir du matériaux terre c'est l'organisation de la production , de toute la filière , qui seule pourra éviter des projets sans lendemain) (plan construction et Habitat /EPIDA ,1982).

3.2. Le projet pilote Mustafa ben Brahim à sidi –Bel –Abbès en Algérie :

Lors du premier congrès sur l'habitat rural en Algérie en 1973 (Oudal,1983) l'accent était mis sur l'utilisation des matériaux locaux, de là, est venue l'idée de l'utilisation de la terre stabilisée. Mustafa Ben Brahim près de Sidi-abbès est une opération pilote de construction en terre pour les mille villages agricoles lancés en 1970.

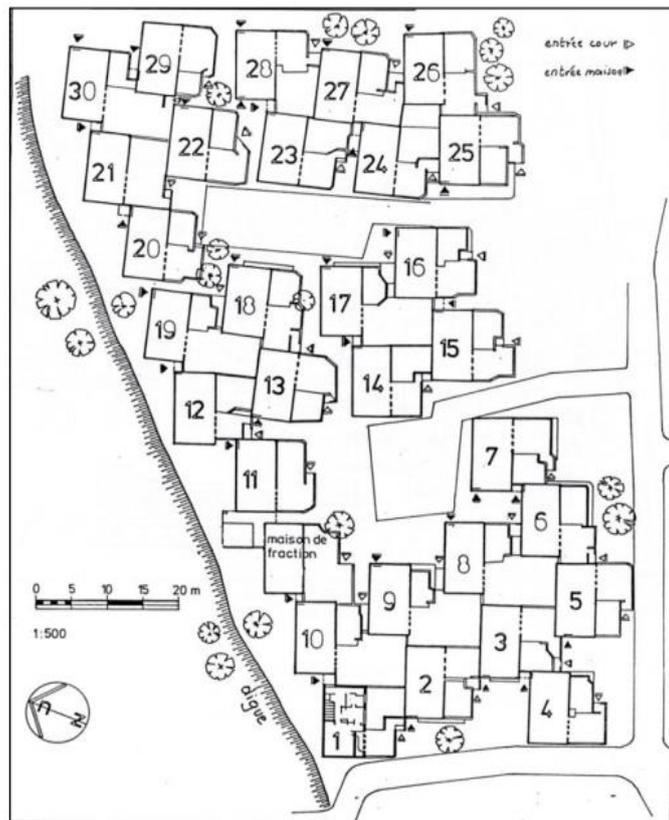


Figure 01 : Plan de masse des maisons en pisé de Mostafa Ben Brahom(Odul 1983)

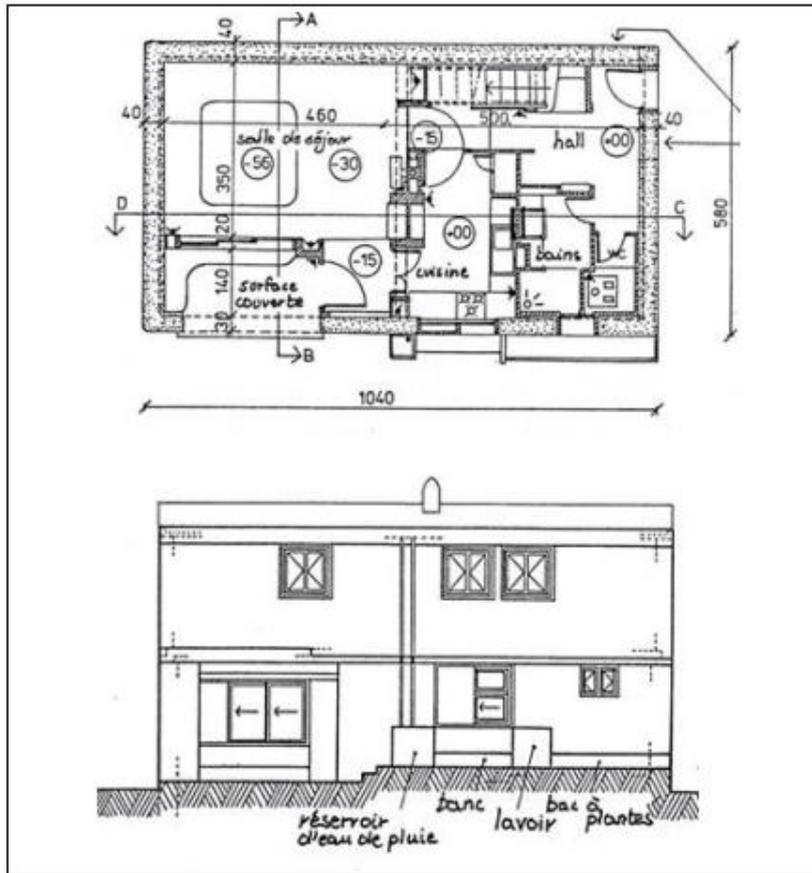


Figure 02 : plan et façade d'une habitation type au village

Mustafa Ben Brahim (Odul,1983)

Ce village fait partie des premières expériences de l'état algérien pour la production architecturale en terre .il a une réputation internationale puisqu'il a été présente dans un rapport de l'Economic of Africa) des nations unies en 1976 (Odul ,1983) , la coopération française dans le cadre d'une politique de soutien au développement indépendant des anciennes colonies .elle contribuait au développement de la recherche et des applications architecturales pilotes dont l'utilisation de la terre crue .

L'Algérie connaissait une expansion industrielle et l'exode rural était devenu un problème social. Des projets construits en terre allaient constituer une main d'œuvre qui ne exercent en ville et de la , freiner l'exode. Les bruts de cette opération étaient (Odul,1983) :

. Vaincre le blocage psychologique et faire accepter le matériau afin de généraliser son utilisation .

.Freiner l'exode rural par l'ouverture de chantier à la main d'ouvrier non qualifiés

. Réduire au minimum l'utilisation du ciment .

Et toujours, selon P.Odul, cette expérience fut échec pour deux raisons essentielles (Odul,1983) :

. D'ordre politique : les priorités politiques ayant changé lors de la réalisation des travaux , les méthodes intensives furent utilisées comme les dames pneumatiques et les coffrages métalliques qui ont donné l'image d'une technologie contradiction avec les objectifs du projet .par la suite , ces méthodes furent abandonnées et le reste des logements du village furent réalisés en blocs de ciment (Odul,1983)

.D'ordre psychologique : le chantier fut arrêté à la suite des rapports officiels des services techniques soumis aux responsables politiques , ces derniers s'opposaient continuellement à l'utilisation de la terre et demandaient sans cesse des assurances sur l'état du bâti des constructions (la décomposition du matériaux , les fissurations et la résistance des bâtiments aux séismes et aux charges d'exploitations)(Odul,1983) le chantier fut arrêté malgré les démonstrations techniques rassurantes réalisées .

L'Algérie voulait suivre le chemin de l'industrialisation pour rattraper les pays occidentaux se détacher du passé colonial ,et effacer les traces de cette ère misérable , les maisons en terre rappelaient ce passé archaïque, de là partaient toutes les objections techniques contre la réalisation du projet (Odul ,1983).

Nous pouvons observer dans cette expérience que les paramètres qui ont fait le succès des expériences étrangères sont complètement absents par cette approche volontariste et élitiste tant technologique qu'humaine ou les travaux de réalisation étaient contraires aux objectifs énoncés de fait que :

. Les matériaux utilisés n'étaient pas forcément locaux mais répondaient à une politique de promotion de produits algériens nationalisés comme la tôle ondulée utilisée de manière intensive pour les toitures, la quantité de béton de ciment utilisée était équivalente à celle de la terre stabilisée (Odul,1983)

. Le chantier faisait surtout appel à la main d'œuvre qualifiée du fait du recours au matériel industriel tel que le damoiseau pneumatique, la technique du pisé stabilisé devenait de ce fait une technologie d'importation (Odul,1983)

. Les habitants sont complètement écartés et la population ne signifiait qu'une main-d'œuvre à exploiter.

. La tradition constructive et le savoir-faire local n'ont pas pu intervenir dans le choix des procédés de production mis en œuvre dans le projet.

. L'absence de toute formation ou sensibilisation ce qui aurait pu éviter l'apparition des objections d'ordre technique, qui étaient la cause directe de l'arrêt des travaux.

Annexe 04 :

Caractérisation des sols utilisés pour la fabrication des BTS :

A. Essais de laboratoire :

Les essais de laboratoire sont plus précis que ceux effectués sur chantier et permettent de déterminer de manière plus précise l'aptitude du sol à l'usage pour la construction et la méthode de stabilisation appropriée.

*La granularité

Elle se fait par tamisage par voie sèche après lavage pour les sols dont les éléments sont supérieurs à $80\mu\text{m}$ et par sédimentation pour les éléments inférieurs ou égaux à $80\mu\text{m}$. L'analyse granulométrique du sol jusqu'au diamètre de $80\mu\text{m}$ se fait en utilisant une série de tamis.

La procédure est la suivante :

1. Commencer par dresser la colonne des tamis. Les ouvertures des tamis doivent être croissantes de bas en haut.
2. Prendre un kilogramme de sol.
3. Verser le sol sur le tamis supérieur puis fermer la colonne par le couvercle.
4. Placer la colonne des tamis sur le vibreur.
5. Procéder à l'agitation pendant 5 min.
6. Procéder à la pesée cumulée des refus de en commençant par le tamis supérieur.



La pesée de l'échantillon de sol



Versement de la terre



Vibration manuelle



Pesée cumulée des refus

Figure 01: Essais de la granularité (Source : Mahdad M'hamed
Attache de Recherche CNERIB
Département Matériaux Juin 2013)

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau. Elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

- en abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissantes ;
- en ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total, de la fraction du sol dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant).

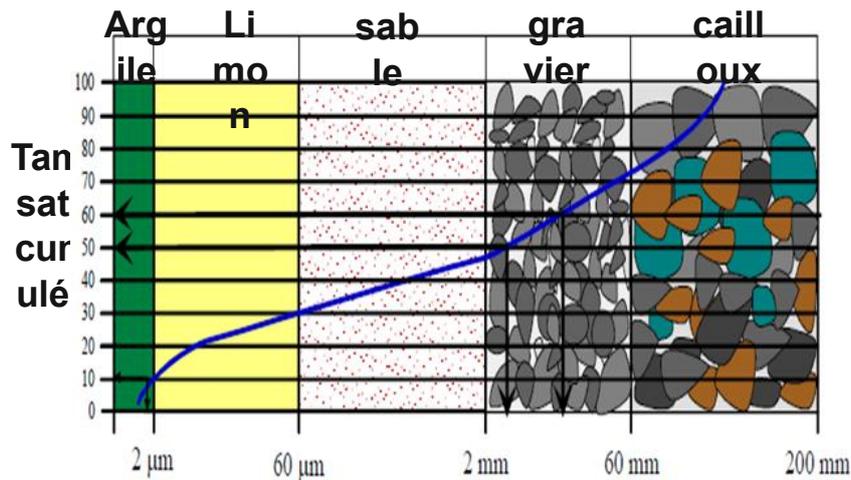


Figure 02: Courbe granulométrique (Source : ANSYS CFX User's Guide, Révision 12.0 Tutorials, Swanson Analysis soil, 2010.)

*La Sédimentométrie :

L'analyse granulométrique du sol pour les particules de sol inférieures ou égales à 80 µm se fait par sédimentation.

La méthode utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des particules fines est fonction de leur dimension. La loi de Stokes donne, dans le cas de **grains sphériques** de même masse volumique que les particules de sol, la relation entre le diamètre des particules et leur vitesse de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux particules de sol pour déterminer leurs **diamètres équivalents**.

B. Essais de terrain :

Il est indispensable d'identifier une terre avec précision si l'on veut réaliser une économie sur la production des matériaux en terre crue et sur leur emploi en construction. Pour des travaux simples, un diagnostic d'identification basé sur l'expérience de terrain peut suffire mais l'on doit s'assurer de la concordance des signes du diagnostic.

Si l'on constate des contradictions, il y aura lieu de pratiquer des tests de laboratoire complémentaires.

***Examen simple de cohésion :**

On peut arriver à établir pratiquement une reconnaissance du type de terre par l'essai de cohésion d'après l'examen suivant :

1. Retirer le gravier de la terre.
2. Humidifier bien et malaxer de façon à obtenir une pâte homogène.
3. Rouler cette pâte entre les mains pour former un rouleau de terre, avec un diamètre de 3 cm.
4. Mesurer la longueur obtenue avant que le ruban ne se casse, interpréter.

Ce test permet d'observer la cohésion d'une terre, donc avant tout les quantités et la qualité d'argiles.

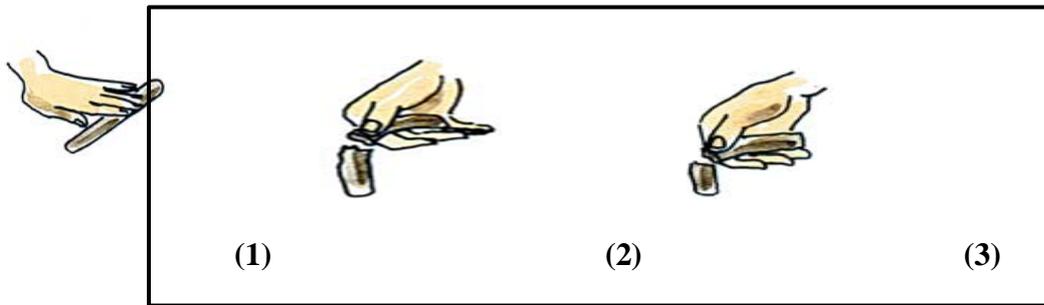


Figure 03: Essai de cohésion (Source : ANSYS CFX User's Guide, Révision 12.0 Tutorials, Swanson Analysis soil, 2010.)

Interprétation des résultats :

- Si le ruban se forme facilement et reste sous la forme d'un ruban stable et large, il s'agit d'une terre **ARGILEUSE**. A ne pas utiliser, sauf en mélange avec des terres trop sableuses
- Si le ruban arrive à se former, mais il se désagrège rapidement, il s'agit d'une terre **PEU ARGILEUSE**. Elle peut être utilisée dans la fabrication de blocs.
- Si le ruban ne se forme pas, il s'agit d'une terre **SABLEUSE**. Cette terre fera de bons blocs.

*** Essai de la pastille :**

Procéder comme l'essai de cohésion, retirer les graviers et bien malaxer afin d'obtenir une pâte homogène.

1. Mouler des pastilles d'environ 3 cm de diamètre et 1 cm d'épaisseur.

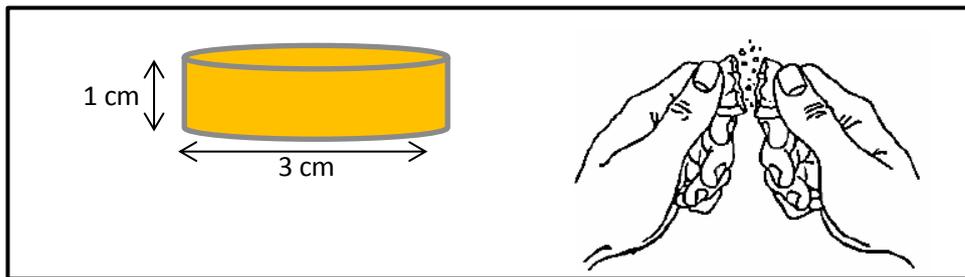


Figure 04: Essai de la pastille (Source : ANSYS CFX User's Guide, Révision 12.0 Tutorials, Swanson Analysis soil, 2010.)

Après séchage, observer d'éventuels phénomènes de retrait par rapport au moule et/ou la présence des fissures.

2. Casser les pastilles afin d'observer leur résistance.

Interprétation :

Retrait

Si la pastille est fissurée ou nettement distante des parois du moule après séchage, la terre est trop argileuse.

Rupture

- Très difficile à casser et rupture avec un claquement : la terre est très argileuse.
- Difficile à casser mais sans trop d'effort et en arrivant à réduire en poudre entre pouce et index ; la terre est sableuse-argileuse, c'est une bonne terre.
- Très facile à casser et réduit très facilement en poudre ; la terre est sableuse ou silteuse

***Essai de sédimentation :**

Dans un flacon cylindrique d'au moins un demi-litre d'eau on met environ un $\frac{1}{4}$ de terre et $\frac{3}{4}$ d'eau.

On agite bien le flacon et en le bouchant avec la main, puis on laisse reposer le flacon au moins 30 mn et après, on observe la sédimentation.

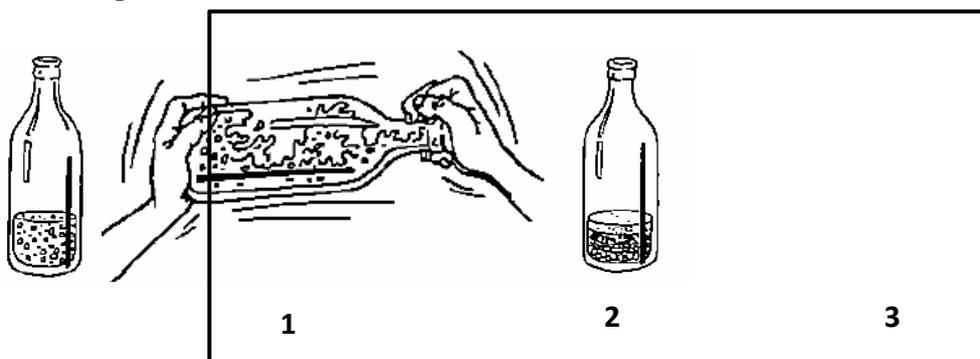


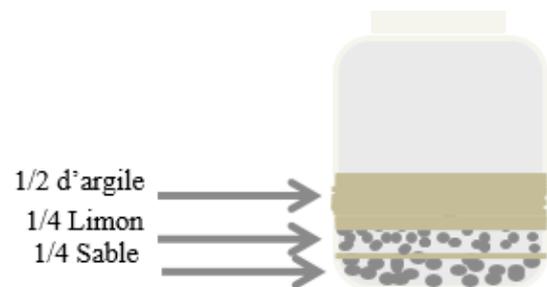
Figure 05: Essai de sédimentation (Source : ANSYS CFX User's Guide, Révision 12.0 Tutorials, Swanson Analysis soil, 2010.)

Interprétation :

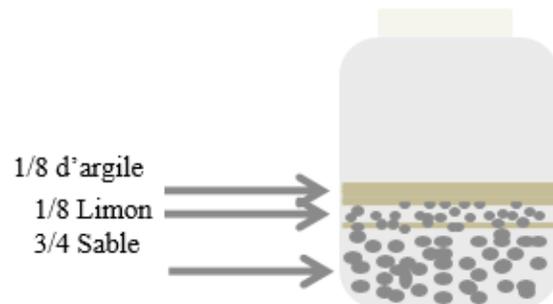
Les grands éléments (graviers) sont déposés au fond ; ils sont recouverts des sables eux-mêmes recouverts des silts et les argiles sont en haut.

On observe les épaisseurs de chaque couche et on obtient des proportions indicatives de chaque constituant.

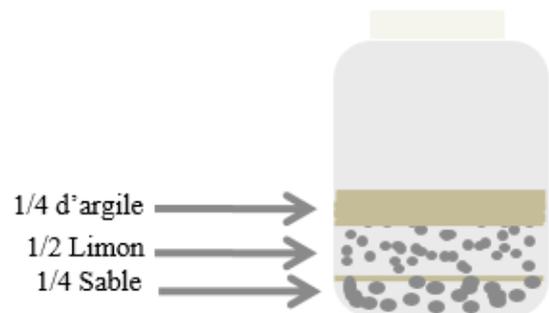
1. Terre argileuse
Terre nécessitant une forte stabilisation
préférentiellement à chaux.



2. Terre sableuse
Excellente pour la stabilisation (fabrication de
bloc de terre stabilisée)



3. Terre limoneuse
A ne pas utiliser



Annexe 05 :

L'appareillages des BTS :

5.1. Principes d'appareillages :

- **Bon harpage des blocs** : assure la jonction des murs (continuité de la maçonnerie)
- **Mortier** :
 - Assure la liaison des blocs entre eux tant en horizontal qu'en vertical.
 - Transmission des charges verticales d'un lit à l'autre.

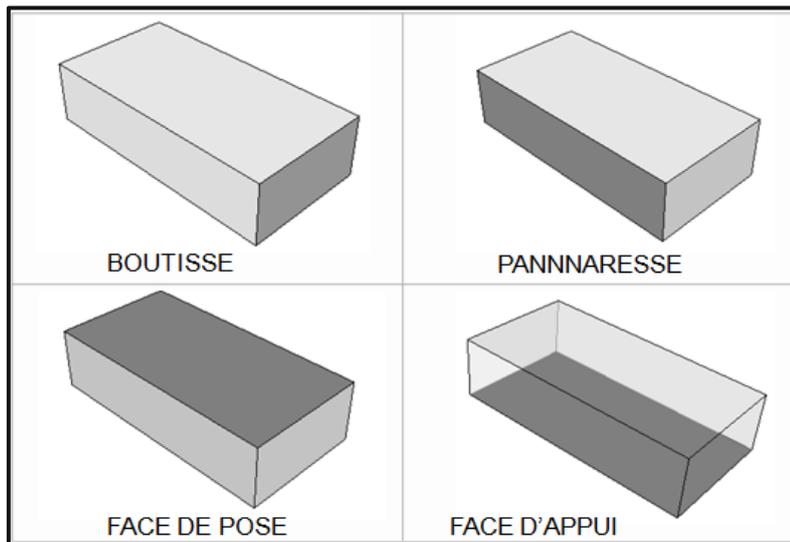


Figure 01 : Description des paries BTS
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

5.2. Techniques d'appareillages :

La diversité des presses et des moules produisent une variété de blocs de terre Stabilisés entraînant des techniques d'appareillage diverses.

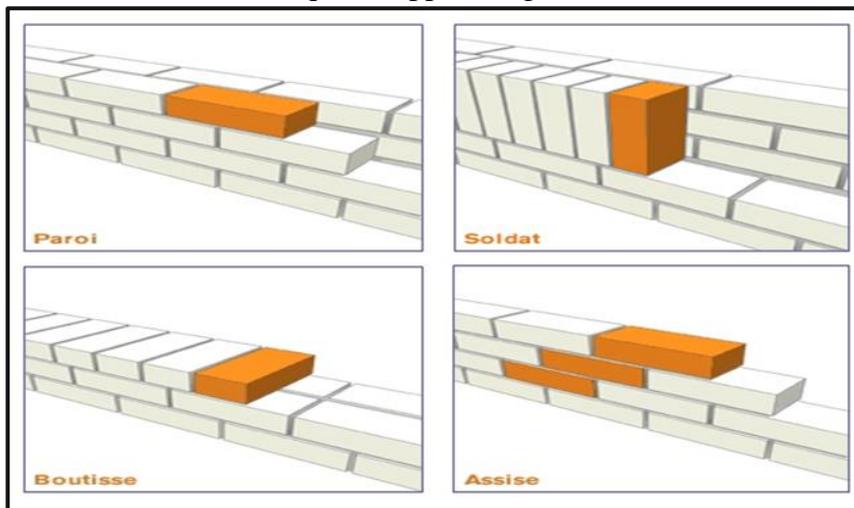


Figure 02 : Techniques d'appareillage BTS
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Règles d'appareillage :

- Expressions des dimensions en plan en fonction de la dimension des blocs : principe du calpinage .
- Non superposition des joints verticaux d'une assise à l'autre (1/3 à 2/3 de bloc).
- Harpage des blocs entre eux 1/2 bloc/3/4 bloc
- L'épaisseur des joints devra être limitée, entre 1 et 2 cm.

Pour réaliser des structures simples en maçonnerie de BTS, tels que des murs, les appareillages les plus courants nécessitent l'emploi de blocs de dimensions de 1/2 et de 3/4, outre l'emploi de blocs de blocs pleins.

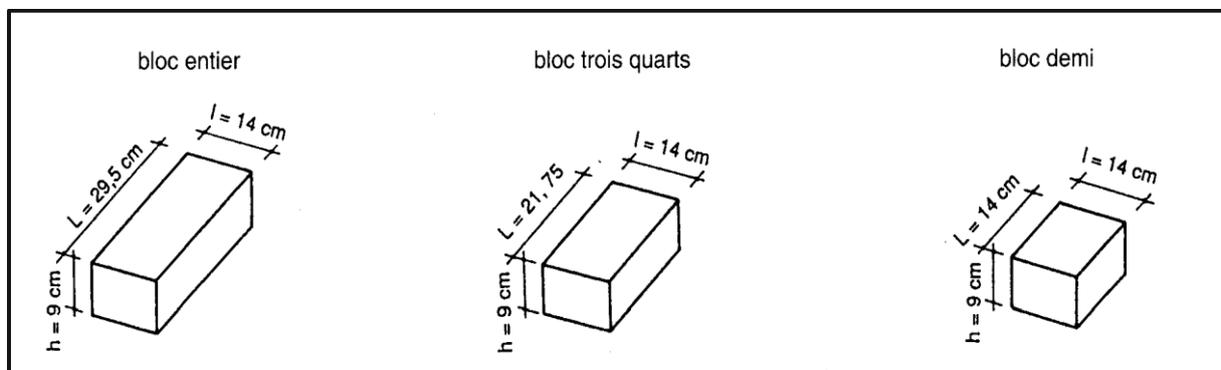


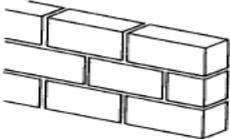
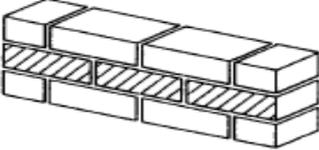
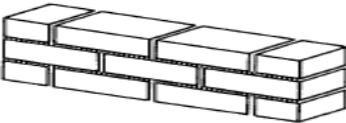
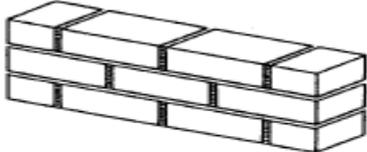
Figure 03: Dimensionnements BTS
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Types d'appareillage :

Tableau 1 : Types appareillages du BTS

(Source : Auteur)

	<p>Blocs disposés en panneresse</p>
	<p>Blocs disposés en boutisse</p>

	<p>Blocs disposés en carreau</p>
	<p>L'assise est un ensemble horizontal en blocs</p>
	<p>Les joints horizontaux liaisonnent deux assises successives de blocs</p>
	<p>Les joints verticaux liaisonnent les blocs d'une même assise</p>

On peut en effet :

- Jouer sur l'épaisseur des murs;
- Améliorer la stabilité des murs minces par des contreforts;
- Améliorer la stabilité des murs minces par des chainages;
- Réaliser des maçonneries armées, horizontalement et verticalement (systèmes parasismiques).

Tableau 2 : Typologies de mur en BTS

(Source : Auteur)

Mur en longueur	Mur d'angle	Mur en T	Croisement des murs

Annexe 06 :

Les isolants thermiques :

A. Le polystyrène expansé (EPS) : On distingue le polystyrène expansé modifié non résistant au feu et le polystyrène expansé modifié résistant au feu. La masse volumique et, donc les propriétés spécifiques d'isolation thermique sont adaptées en cours de fabrication. En effet, la conductivité thermique par exemple est liée à la masse volumique. La masse volumique est fonction de la taille des billes, de leur vitesse d'introduction et du débit de vapeur.

B. Le polystyrène extrudé (XPS) : Le polystyrène extrudé se présente sous forme de panneaux à bords droits, à rainure et languettes ou à butée. Les propriétés spécifiques d'isolation thermique sont adaptées en cours de fabrication. Le produit est obtenu par mélange de granulats de polystyrène et d'additifs (agents expansifs notamment) jusqu'à l'obtention d'une pâte que l'on introduit dans une extrudeuse pour produire l'épaisseur désirée. Le produit doit ses propriétés isolantes spécifiques au type d'agent expansif utilisé ainsi qu'à la vitesse de montée en température et à la vitesse d'intrusion. L'adjonction de l'agent expansif engendre une migration air/agent expansif qui se stabilise avec le temps.

Annexe 07 :

Présentation des axes d'intervention du programme national d'efficacité énergétique :

7.1. L'isolation thermique des bâtiments :

En Algérie, le secteur du bâtiment est le secteur le plus énergivore. Sa consommation représente plus de 42% de la consommation finale.

Les actions de maîtrise de l'énergie proposées pour ce secteur portent notamment sur l'introduction de l'isolation thermique des bâtiments qui permettront de réduire d'environ 40% la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation des logements ⁴³.

7.2. Le développement du chauffe-eau solaire :

La pénétration du chauffe-eau solaire (CES) en Algérie reste embryonnaire mais le potentiel est important.

Il est prévu, dans ce sens, le développement du chauffe-eau solaire en le substituant progressivement au chauffe-eau traditionnel.

L'acquisition d'un chauffe-eau solaire est soutenue par le fonds national pour la maîtrise de l'énergie (FNME).

7.3. La généralisation de l'utilisation des lampes à basse consommation d'énergie :

L'objectif assigné à la stratégie d'action est l'interdiction graduelle de la commercialisation des lampes à incandescence (lampes classiques couramment utilisées par les ménages) sur le marché national à l'horizon 2020.

En parallèle, il est prévu la mise sur le marché de quelques millions de lampes à basse consommation. Par ailleurs, la production locale des lampes à basse consommation sera encouragée, notamment, par le recours au partenariat entre les producteurs locaux et étrangers.

7.4 L'introduction de la performance énergétique dans l'éclairage public :

Le programme de maîtrise de l'énergie dédié aux collectivités locales consiste à substituer la totalité des 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, à l'horizon 2030 et d'alléger la facture énergétique des collectivités.

7.5. La promotion de l'efficacité énergétique dans le secteur industriel :

Le secteur industriel représente environ le quart de la consommation énergétique finale du pays.

Pour plus d'efficacité énergétique, il est prévu :

- le cofinancement des audits énergétiques et des études de faisabilité qui permettront aux entreprises de définir avec précision les solutions technico-économiques les mieux adaptées pour réduire leur consommation énergétique.
- le cofinancement des surcoûts liés à l'introduction de l'efficacité énergétique pour les projets viables techniquement et économiquement.

7.6. La promotion du gaz de pétrole liquéfié carburant (GPL/c) et du gaz naturel carburant (GNC) :

Le programme vise à promouvoir les carburants les plus disponibles et les moins polluants, en l'occurrence, le GPLc et le GNC. L'objectif étant d'enrichir la structure de l'offre des carburants et de contribuer à atténuer les effets des carburants classiques sur la santé et l'environnement.

Ce programme prévoit, à terme, la généralisation de l'utilisation des carburants propres dans les transports individuels et collectifs, notamment, dans les grands centres urbains.

Annexe 08 :

Label BBC (bâtiment basse consommation) :

Définition :

Le bâtiment basse consommation (BBC) est défini par l'arrêté du 8 mai 2007 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « haute performance énergétique ».

Appellation signifiant « Bâtiment de Basse Consommation » et qui désigne un ensemble de normes applicables à une construction dont la consommation énergétique (chauffage, éclairage, eau chaude, climatisation ...) se trouve considérablement réduite. Ces règles portent notamment sur l'isolation du bâtiment, sa ventilation, l'étanchéité de l'air, son exposition à la lumière du soleil (orientation au sud, grands vitrages, etc.)

Le niveau BBC est attribué aux bâtiments de logements neufs consommant au Maximum 50 kW hep/m² par an (à ajuster d'un facteur 0,8 à 1,5 selon l'altitude et la zone climatique). Il impose de contrôler la perméabilité à l'air de la Construction dans le but d'augmenter la qualité de votre logement.

Les grands principes pour atteindre au niveau de BBC :

- ✓ Construire un bâtiment compact en tenant compte de son environnement.
- ✓ Orienter les façades pour profiter des apports solaires et de l'éclairage naturel.

- ✓ Organiser les espaces intérieurs en conséquence.
- ✓ Installer des protections pour préserver le confort d'été.
- ✓ Isoler les parois et traiter l'ensemble des ponts thermiques.
- ✓ Assurer une excellente maîtrise de l'étanchéité du bâtiment.
- ✓ Ventiler pour garantir la qualité sanitaire de l'air et la pérennité du bâtiment utilisé les énergies renouvelables pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Annexe 09 :

Le CT Mètre est un appareil permettant de mesurer la conductivité thermique de matériaux. Sa simplicité d'utilisation et sa taille réduite en font un accessoire portable unique, très pratique pour effectuer les mesures sur le terrain.

Calcul de l'isolation thermique de bâtiments, emballage de conservation des aliments, maintien d'appareils électroniques à température ambiante... Les raisons de mesurer la conductivité thermique sont nombreuses. Tous les laboratoires de recherche et développement de nouveaux produits sont susceptibles d'avoir recours à un CT Mètre pour les mesures de leurs matériaux.

Les CT Mètres sont particulièrement appréciés des entreprises et universités de BTP qui ont besoin de tester la conductivité thermique de leurs matériaux de construction.



Figure 01: Appareil CT mètre
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

Le CT Mètre est un appareil de mesure très simple qui fonctionne avec seulement 2 accessoires :



Figure 02: Accessoire sondes anneaux
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

*Les sondes anneaux ou les sondes fils qui permettent de mesurer la conductivité thermique.



Figure 03: Accessoire la Calbox
(Source : <http://www.appro-techno.be/>)

*La CALBOX qui permet de vérifier la mesure de température et de calibrer le générateur de courant du CT Mètre.

Annexe 10 :

Climagramme d'EMBERGER :

Le climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée. Il est déterminé à partir de la formule : $Q2 = 2000P / M2 - m$, dont

- P: précipitation annuelle (mm)
- M: la température maximale du mois le plus chaud en °C
- m: la température minimale du mois le plus froid en °C

En appliquant la formule suivante élaborée par STEWART pour l'Algérie et le Maroc, soit: $Q2 = 3.43 (P/M-m)$ (STEWART, 1968).

- Q: le quotient pluviométrique d'EMBRGER
- P: Pluviométrie annuelle moyenne en mm.
- M: Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C
- m: Moyenne minimale du mois le plus froid en °C

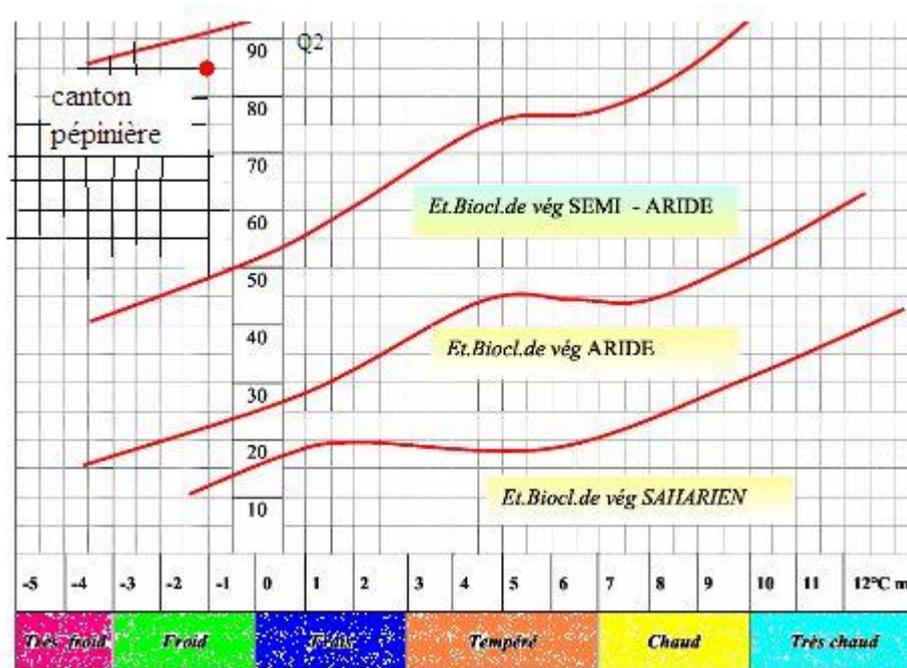


Figure 01: Projection de la zone d'étude dans le climagramme d'EMBERGER.

Annexe 11 :

Mortier chaux :

La fabrication de la chaux La calcination de pierres calcaires à une température de 900°C environ produit de la chaux vive. Pour être employée en construction, celle-ci doit être éteinte, soit par immersion dans l'eau afin d'obtenir de la chaux grasse en pâte, soit par pulvérisation afin d'obtenir de la chaux en poudre.

La norme française NF P 15-311 de janvier 1996 classe les chaux en trois catégories :

- Les chaux aériennes CL (chaux calciques) et DL (chaux dolomitiques) ;
- Les chaux hydrauliques naturelles NHL ;
- Les chaux hydrauliques HL ne sont pas des chaux naturelles car leur formule comporte plus de 20% d'additifs (par exemple des résines de synthèse, un hydrofuge ou du ciment).

Elles sont généralement à éviter pour la réalisation d'enduits extérieurs sur les supports anciens en pierre, en terre crue ou cuite dont elles annuleraient les propriétés perspirantes.

La chaux aérienne Les chaux aériennes CL et DL (anciennement CAEB) font leur prise à l'air, d'où leur nom.

Elles sont gratifiées d'un taux de pureté minimal, visible sur les sacs, qui va de 70 à 90 (CL 70, 80 ou 90 – DL 80 ou 85), c'est-à-dire 70 à 90% minimum d'oxyde de calcium (calcaire cuit) + éventuellement de l'oxyde de magnésium (magnésie cuite).

Les chaux hydrauliques Les chaux hydrauliques NHL font leur prise à l'eau. Elles portent sur les sacs une mention de résistance à la compression de 28 jours (NHL2, NHL3,5 et NHL5). Par exemple : NHL2 équivaut à une résistance de 2N/mm² soit 20 kg/cm².

Elles sont employées pour accélérer les temps de séchage ou pour augmenter la résistance mécanique d'un mortier de chaux.

Certaines d'entre elles sont suivies de la lettre Z (NHL Z) qui signifie « ajout » (généralement 20% de ciment blanc).

Les chaux NHL Z ne sont pas des chaux naturelles et sont également à éviter pour la réalisation d'enduits sur les supports anciens, car comme le ciment, elles annulent les propriétés perspirantes du support.

Avantages et Qualités des mortiers de chaux hydraulique naturelle :

- Économie sur chantier
- Prise en compte de l'écologie (environnement protégé)
- Respect de l'héritage et des couleurs traditionnelles de nos régions
- Mise en valeur déteintes des sables locaux
- Protection durable des supports, grâce à l'épaisseur des mortiers de chaux
- Régulation de l'hygrométrie par la respiration des supports (qualité sanitaire et hygiène du bâti)
- Vieillesse esthétique des mortiers de chaux hydrauliques naturelles
- Expérience millénaire de l'emploi des chaux hydrauliques naturelles



Figure 01: Mortier de Chaux

